 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigente 1993	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(162)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	MARIO ALBERTO RINCÓN CARRASCAL CAROLINA SANTIAGO MANZANO		
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	LEANDRO OVALLOS MANOSALVA		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y CORTE INDIRECTO AL ADICIONARLE FIBRAS DE CABELLO HUMANO		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>LA PRESENTE INVESTIGACIÓN TIENE POR OBJETIVO ANALIZAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO AL ADICIONARLE FIBRAS DE CABELLO HUMANO, ESTUDIANDO EL COMPORTAMIENTO DE DICHA FIBRA, Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN, CABE RESALTAR LA FACILIDAD PARA CONSEGUIR EL CABELLO HUMANO EL CUAL ES DESECHADO DE LAS PELUQUERÍAS Y QUERIENDO DAR UN USO ÚTIL A ESTE MATERIAL DESECHADO.EL PRIMER PASO FUE CONOCER LA RESISTENCIA DEL CABELLO ANTE DISTINTAS SOLUCIONES ACIDAS Y ALCALINAS, SIENDO EL CABELLO SOMETIDO DIRECTAMENTE A ESTAS SOLUCIONES Y BUSCANDO ALTERACIÓN EN SU ESTRUCTURA, COLOR Y OLOR. PRESENTANDO EL CABELLO UN BUEN COMPORTAMIENTO ANTE SUSTANCIAS ACIDAS PERO MUY MAL COMPORTAMIENTO Y RESISTENCIA A SUSTANCIAS ALCALINA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 162	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 11	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y
CORTE INDIRECTO AL ADICIONARLE FIBRAS DE CABELLO HUMANO

AUTORES:

MARIO ALBERTO RINCÓN CARRASCAL

CAROLINA SANTIAGO MANZANO

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Civil

Director:

LEANDRO OVALLOS MANOSALVA

ESPECIALISTA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Noviembre de 2018

Dedicatoria

A Dios, mi mayor fortaleza que ha sido bueno en todo tiempo; un ser tan inexplicable pero tan verdadero que sin verlo ni tocarlo tiene toda mi confianza y fe puesta en EL.

A la memoria de mi padre quien con su estricta educación hizo de mí una persona de bien. Tu amor y tus cuidados permanecerán en mí por siempre papito.

A mi madre, mi ejemplo a seguir; una mujer luchadora que no se rinde ante las adversidades que me ha inculcado valores y la importancia de la sencillez, la humildad y un amor verdadero.

A mis hermanos y hermanas quien a pesar de su rara manera de actuar cada uno luchando por lo suyo propio pero cuando se trata de apoyar a quien realmente quiere salir adelante son los mejores.

Con amor, CAROLINA

Dedicatoria

Este logro se lo dedico a Dios, quien durante mi vida ha sido el eje en cada propósito y sueño que me propongo alcanzar. Quien por medio de sus cuidado y sustento he logrado este logro.

A mi papa Libardo Rincón por su acompañamiento y dedicación al apoyarme en mis estudios, espero que su sueño de ser ingeniero lo vea reflejado en mí y poder llenarlo de orgullo y satisfacción siempre.

A mi mama Ledy Carrascal por su acompañamiento y dedicación durante mi proceso universitario, este logro es también de ella, espero poder llenarla de orgullo y satisfacción siempre.

A mis hermanos quienes han sido un apoyo durante este proceso, quienes me han ayudado, espero ser un ejemplo para ellos y poder siempre devolverles en gran manera todo este esfuerzo.

Con cariño, MARIO RINCÓN

Agradecimientos

A Dios por darme vida y salud para lograr cada una de las metas propuestas.

A mi madre por su amor y apoyo, por confiar en lo que puedo lograr.

A mis hermanos, hermanas y cuñadas por siempre pensar en mi bienestar y darme todo su apoyo.

A mi amiga Elena quien se convirtió en mi otra mamá y me abrió su corazón y las puertas de su casa cuando más lo necesite.

A mis amigos y compañeros por su apoyo y todos los momentos compartidos.

A mi prometido Jorge por su amor, apoyo incondicional y paciencia.

A nuestro director de tesis Leandro Ovallos por su tiempo, y apoyo durante el desarrollo de la tesis.

A nuestros jurados por su acompañamiento y dirección.

Con amor, CAROLINA

Agradecimientos

A Dios por su cuidado, protección y sustento durante todo este proceso de estudio, por siempre tenerme bajo el puño de su mano, espero con mi profesión poder servirle y agradecerle día a día.

A mi papa Libardo Rincón por siempre ser mi ayuda y por darme el mejor regalo que un padre puede dar a su hijo: su ejemplo, enseñándome siempre que el estudio y preparación es la mejor opción, siempre buscare enorgullecerlo y ser un reflejo de ese hombre ejemplar que es él. A mi mama Ledy Carrascal por acompañarme durante mis estudios, madrugando y trasnochando a mi lado, animándome a no desfallecer y a esforzarme cada día más dando lo mejor de mí siempre.

A mis hermanos Alejandro y Samuel por su acompañamiento, por ser esas personas en las cuales uno encuentra ayuda, quienes a pesar de muchas veces no saber temas de la carrera, me ayudaban de la manera más amable y desinteresada que pueda haber, espero poder su apoyo más adelante y que juntos salgamos adelante, siempre conservando ese sentimiento de hermandad que hay entre nosotros.

A Sandra Jaimes (mi ingeniera civil) por ser ese apoyo incondicional, por trasnochar a mi lado, explicarme temas sin entender, madrugar y esforzarse por verme cruzar la meta, espero compartir esta alegría y gozo a tu lado y que Dios nos bendiga siempre.

A mi familia en general por estar animándome, acompañándome y de una u otra manera estando presente en este hermoso proceso de estudio, deseo poder corresponderles siempre.

A mis compañeros por ser esas personas con quienes se trasnochaba, se madrugaba y se estudiaba. Muchas veces salíamos derrotados y tristes, en otras ocasiones salíamos triunfantes, este logro se construyó con su ayuda.

Al director de tesis ingeniero civil Leandro Ovallos por su gran acompañamiento durante este proceso, quien con sus conocimientos ayudo a plasmar esta tesis, agradecerle por su atención y compromiso.

A los directores, ingeniera en sistemas Rocío Alexandra Guevara Gelves y el ingeniero civil Jesús Márquez, por su direccionamiento y acompañamiento durante este proceso. Sin ustedes este logro no sería posible.

Y a todas y cada una de las personas que no he nombrado, pero que llevo en mi corazón, familia, amigos y allegados quienes de una u otra manera han estado acompañándome en este gran proceso.

Con cariño, MARIO RINCÓN

Índice

Capítulo 1. Evaluación de la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto al adicionarle fibras de cabello humano.....	1
1.1 planteamiento del problema.....	1
1.2 formulación del problema.....	2
1.3 objetivos.....	3
1.3.1 objetivo general.....	3
1.3.2 objetivos específicos.....	3
1.4 justificación	4
1.5 delimitaciones.....	4
1.5.1 delimitación geográfica.....	5
1.5.2 delimitación conceptual.....	5
1.5.3 delimitación operativa.....	5
1.5.4 delimitación temporal.....	5
Capítulo 2. Marco referencial	6
2.1 Marco histórico.....	6
2.2 Marco Teórico	8
2.2.1 Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras.....	8
2.2.2 Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar.....	12
2.2.3 Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.).....	17
2.2.4 Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero zp-306 sometido a esfuerzos de compresión.....	19
2.3 Marco conceptual	22
2.3.1 El concreto.....	22
2.3.2 Agregados.....	24
2.3.3 Agua.....	25
2.3.4 Pasta de cemento.....	25
2.3.5 Propiedades del Concreto en estado Fresco.....	26
2.3.6 Tiempo de Fraguado.....	27
2.3.8 Exudación.....	28
2.3.9 Clasificación del Concreto.....	28
2.3.10 Módulo de elasticidad.....	31
2.3.11 Resistencia a la compresión.....	32
2.3.12 Ensayo a la compresión del concreto.....	34
2.3.13 El cabello humano.....	39
2.3.14 Propiedades del cabello.....	41

2.4 Marco contextual	42
2.5 Marco Legal.....	43
Capítulo 3. Diseño Metodológico	45
3.1 Tipo de investigación.....	45
3.2 Metodología de la investigación.....	46
3.3 Población	46
3.4 Muestra	47
Capítulo 4. Presentación de resultados	50
4.1 Conocer las distintas propiedades y características del cabello humano para ser implementado como fibra de refuerzo (resistencia, estructura)	50
4.1.1 El cabello humano.....	50
4.1.2 Cantidad.	50
4.1.3 Composición del cabello.....	51
4.1.4 Estructura del cabello.....	51
4.1.5 Propiedades del cabello.....	52
4.1.6 Propiedades eléctricas.....	53
4.2 Determinar el PH del cabello humano por medio de ensayo de laboratorio	53
4.2.1 Definición de pH.....	54
4.3 Calcular la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto adicionando fibras de cabello humano mediante ensayos de laboratorio contemplados en la norma (NTC 550, NTC 663, NTC 2871, NTC 722).....	59
4.3.1 Resistencia del concreto a compresión..	59
4.3.2 Concreto patrón.....	60
4.3.3 Concreto con 1% de cabello humano.....	63
4.3.4 Concreto con 2% de cabello humano.....	67
4.3.5 Concreto con 3% de cabello humano.....	70
4.3.6 Resistencia del concreto a la tracción o corte indirecto.	74
4.4 Establecer la manejabilidad del concreto al adicionarle fibras de cabello humano por medio del ensayo de asentamiento estipulado en la norma (NTC 396)	101
4.5 Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos (concreto patrón 21mpa vs concreto dosificado con cabello humano) que permita establecer un criterio respecto a las propiedades mecánicas del concreto.....	105
4.6 Estimar la variación del costo de producción y dosificaciones del concreto de 21 MPA al adicionarle cabello humano a través de estudios de A.P.U y diseño de mezclas	116
Capítulo 5. Conclusiones.....	121
Capítulo 6. Recomendaciones.....	123
Referencias	124
Apéndice.....	125

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades de las fibras del bagazo de caña.....	14
Tabla 2. Distribución de la muestra a estudiar	48
Tabla 3. Ensayo del cabello en diferentes pH.	55
Tabla 4. Slump del concreto patrón.	102
Tabla 5. Slump del concreto adicionado con 1% de fibra de cabello humano	103
Tabla 6. Slump del concreto adicionado con 2% de fibra de cabello humano	103
Tabla 7. Slump del concreto adicionado con 3% de fibra de cabello humano	104
Tabla 8. Resultados del análisis resistencia a la compresión del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 7 días.....	106
Tabla 9. Resultados del análisis resistencia a la compresión del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.....	107
Tabla 10. Resumen resultados tipo de falla del ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano.....	108
Tabla 11. Resultados del análisis resistencia a tracción del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 7 días.....	109
Tabla 12. Resultados del análisis resistencia a tracción del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.....	110
Tabla 13. Resultados del análisis concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.	112
Tabla 14. Resultados del análisis concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.	112
Tabla 15. Resumen resultados ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	115
Tabla 16. Análisis de precios unitarios para 1 m ³ de concreto 21mpa.....	116
Tabla 17. Análisis de precios unitarios para 1 m ³ de concreto 21mpa + 1% cabello humano....	117
Tabla 18. Análisis de precios unitarios para 1 m ³ de concreto 21mpa + 2% cabello humano....	118
Tabla 19. Análisis de precios unitarios para 1 m ³ de concreto 21mpa + 3% cabello humano....	119
Tabla 20. Resumen del estudio de análisis de precios unitarios (A.P.U).....	120

Índice de figuras

Figura 1. Curva esfuerzo- deformación a compresión en cilindros estándar	30
Figura 2. Grafica esfuerzo- deformación del concreto.....	30
Figura 3. Grafica esfuerzo- deformación del concreto.....	32
Figura 4. Diagrama de aplicación de carga en el ensayo de flexión del concreto.....	36
Figura 5. Diagrama de aplicación de carga en el ensayo de flexión del concreto.....	36
Figura 6. Diagrama de carga y rotura ensayo de tracción indirecta	37
Figura 7. Estructura del cabello humano.....	40
Figura 8. Estructura del cabello humano.....	51
Figura 9. Cabello sin solución de vinagre.	55
Figura 10. Cabello 7 días después en solución de vinagre.....	56
Figura 11. Cabello sin solución de vino.	56
Figura 12. Cabello 7 días después en solución de vino.....	56
Figura 13. Cabello sin solución de orina humana.	57
Figura 14. Cabello 7 días después en solución de orina humana.	57
Figura 15. Cabello sin solución de límpido.....	57
Figura 16. Cabello 7 días después en solución de límpido.	57
Figura 17. Cabello sin solución de soda caustica.....	58
Figura 18. Cabello 7 días después en solución de soda caustica.....	58
Figura 19. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.....	59
Figura 20. Resultado ensayo a compresión del concreto patrón cilindro.....	60
Figura 21. Gráfica del ensayo a compresión del concreto patrón.	61
Figura 22. Falla del cilindro concreto patrón	61
Figura 23. Resultado del ensayo a compresión del concreto patrón cilindro.....	62
Figura 24. Gráfica del ensayo a compresión del concreto patrón	62
Figura 25. Concreto patrón cilindro	63
Figura 26. Resultado del ensayo a compresión del concreto 1%	64
Figura 27. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 1%	64
Figura 28. Cilindro de Concreto 1% de cabello humano.	65
Figura 29. Resultado del ensayo a compresión del concreto 1%	65
Figura 30. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 1%	66
Figura 31. Falla presentada en el espécimen de concreto 1% cilindro	66
Figura 32. Resultado del ensayo a compresión del concreto 2%	67
Figura 33. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 2%	68
Figura 34. Falla presentada por el cilindro de Concreto 2%	68
Figura 35. Resultado del ensayo a compresión del concreto 2%	69
Figura 36. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 2%.	69
Figura 37. Falla presentada por el cilindro de Concreto con 2% de cabello humano.	70
Figura 38. Resultado del ensayo a compresión del concreto 3%	71
Figura 39. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 3%	71
Figura 40. Falla presentada por la probeta de Concreto con 3% de cabello humano	72
Figura 41. Resultado del ensayo a compresión del concreto 3%	72
Figura 42. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 3%	73
Figura 43. Falla del cilindro de Concreto 3%	73
Figura 44. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.....	74

Figura 45. Resultado del ensayo a tracción del concreto patrón	75
Figura 46. Gráfica del ensayo a tracción del concreto patrón	75
Figura 47. Concreto patrón al ser sometido a corte indirecto.	76
Figura 48. Resultado del ensayo a tracción del concreto patrón	76
Figura 49. Gráfica del ensayo a tracción del concreto patrón	77
Figura 50. Concreto patrón cilindro al ser sometido a corte indirecto.	77
Figura 51. Resultado del ensayo a tracción del concreto 1%	78
Figura 52. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 1%	78
Figura 53. Falla presentada al realizar el ensayo de las probetas de Concreto 1%	79
Figura 54. Resultado del ensayo a tracción del concreto 1%	79
Figura 55. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 1%	80
Figura 56. Cilindro de Concreto 1% de cabello humano	80
Figura 57. Resultado del ensayo a tracción del concreto 2%	81
Figura 58. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 2% cilindro #3	81
Figura 59. Cilindro de Concreto con adición del 2% de cabello humano	82
Figura 60. Resultado del ensayo a tracción del concreto 2%	82
Figura 61. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 2%	83
Figura 62. Cilindro de Concreto con 2% de cabello humano	83
Figura 63. Resultado del ensayo a tracción del concreto 3%	84
Figura 64. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 3%	85
Figura 65. Falla del Cilindro de Concreto con 3% de cabello humano	85
Figura 66. Resultado del ensayo a tracción del concreto 3%	86
Figura 67. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 3%	86
Figura 68. Ensayo a tracción del cilindro de concreto 3%	87
Figura 69. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.	88
Figura 70. Resultado del ensayo a flexión del concreto patrón	89
Figura 71. Gráfica del ensayo a flexión del concreto patrón	89
Figura 72. Ensayo de viga de Concreto patrón	90
Figura 73. Resultado del ensayo a flexión del concreto patrón	90
Figura 74. Gráfica del ensayo a flexión del concreto patrón	91
Figura 75. Falla de la viga de Concreto patrón	91
Figura 76. Resultado del ensayo a flexión del concreto 1%	92
Figura 77. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 1%	92
Figura 78. Falla de la viga de Concreto 1% de cabello humano.	93
Figura 79. Resultado del ensayo a flexión del concreto 1%	93
Figura 80. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 1%	94
Figura 81. Falla de la viga de Concreto 1%	94
Figura 82. Resultado del ensayo a flexión del concreto 2%	95
Figura 83. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 2%	95
Figura 84. Falla presentada en la viga Concreto 2%	96
Figura 85. Resultado del ensayo a flexión del concreto 2%	96
Figura 86. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 2%	97
Figura 87. Falla de la viga de Concreto 2%	97
Figura 88. Resultado del ensayo a flexión del concreto 3%	98
Figura 89. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 3%	98
Figura 90. Falla de la viga de Concreto 3%	99
Figura 91. Resultado del ensayo a flexión del concreto 3%	99

Figura 92. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 3%	100
Figura 93. Falla de la viga de Concreto 3%	100
Figura 94. Adición de la mezcla al cono	101
Figura 95. Slump del concreto patrón	102
Figura 96. Slump del concreto adicionado con 1% de fibra de cabello humano.	103
Figura 97. Slump del concreto adicionado con 2% de fibra de cabello humano.	104
Figura 98. Slump del concreto adicionado con 3% de fibra de cabello humano.	104
Figura 99. Grafica ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	107
Figura 100. Diagrama del ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	108
Figura 101. Grafica ensayo a tracción del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	110
Figura 102. Diagrama del ensayo a tracción del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	111
Figura 103. Grafica ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	113
Figura 104. Diagrama ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano	114

Índice de apéndices

Apéndice a. diseño de mezcla por el método american concrete institute (aci).....	126
---	-----

Resumen

La presente investigación tiene por objetivo analizar la resistencia del concreto al adicionarle fibras de cabello humano, estudiando el comportamiento de dicha fibra, y su influencia en la resistencia a la compresión, tracción y flexión, cabe resaltar la facilidad para conseguir el cabello humano el cual es desechado de las peluquerías y queriendo dar un uso útil a este material desechado.

El primer paso fue conocer la resistencia del cabello ante distintas soluciones acidas y alcalinas, siendo el cabello sometido directamente a estas soluciones y buscando alteración en su estructura, color y olor. Presentando el cabello un buen comportamiento ante sustancias acidas pero muy mal comportamiento y resistencia a sustancias alcalina.

Se establecieron datos base por medio de cilindros y vigas de un concreto de 21 mpa llamado en esta investigación como concreto patrón, teniendo un diseño de mezclas proyectado para una resistencia de 21 mpa y asentamiento de 5cm, con estos datos se pudo hacer un análisis comparativo, en el estudio previo se realizó un diseño de mezclas que incluía cabello humano en las distintas dosificación de 1%, 2%, y 3%, estos porcentajes dependían del peso total del cemento.

También se determinó la baja manejabilidad del concreto con adiciones de cabello, haciendo de este mismo un material más denso y difícil de manipular, logrando los valores de asentamiento deseados pero bajando la manejabilidad del mismo.

De otra parte se realizó un análisis de precios unitarios para así determinar la variación en el costo de fabricación de este tipo de concretos, sin alterar en gran medida el valor del m³ de concreto.

En los análisis y ensayos se logró determinar que dicha fibra no es favorable a la hora de aumentar la resistencia del concreto como también alterando las fallas presentadas normalmente en las probetas y vigas, debido a la alta concentración de azufre en el cabello que al reaccionar con los materiales alcalinos del cemento impactan de manera negativa la resistencia del concreto y afecta la manera en que fallan al ser sometidos a fuerzas externas, obteniendo resultados negativos en la presente investigación.

Introducción

La presente investigación busca estudiar la resistencia a la compresión, tracción y flexión de concreto con adición de fibras de cabello humano, y así poder determinar si el cabello humano afecta de manera positiva o negativa cada una de las propiedades del concreto como lo es su resistencia a la compresión, tracción y flexión.

El proyecto lleva el nombre de “EVALUACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y CORTE INDIRECTO AL ADICIONARLE FIBRAS DE CABELLO HUMANO”.

El proyecto está dividido en varios capítulos donde se detalla la investigación, estudio y análisis de los resultados para obtener unas conclusiones finales, también detalla el planteamiento del problema como su justificación de donde planteamos unos objetivos necesarios para la correcta ejecución del proyecto. También podemos encontrar la investigación teórica bajo la cual nos basamos para la elaboración de este proyecto, así mismo cada uno de los ensayos realizados al cabello, a los especímenes de concreto y los materiales utilizados.

Se detalla de igual manera el análisis de los resultados obtenidos y así poder proporcionar unas conclusiones objetivas y basadas en la realidad y veracidad del estudio, dejando esta investigación como base para futuros análisis de esta fibra y su posible vinculación en las obras de construcción.

Capítulo 1. Evaluación de la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto al adicionarle fibras de cabello humano

1.1 Planteamiento del problema

El uso del concreto como elemento constructivo ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días.

Paralelamente han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material como la propia puesta en obra del mismo, los ensayos que se realizan sobre éste para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio concreto.

En la actualidad son muchos los factores que intervienen en el resultado de la resistencia final del material, de entre los que se van destacar la temperatura ambiente en el momento de su elaboración, los aditivos empleados y los ensayos a los que se somete el concreto. (Cordero, Abrio, & Maqueda, 2017)

El concreto hecho con cemento Portland es relativamente resistente a la compresión, pero el problema radica en su fragilidad y debilidad al momento de ser sometido a esfuerzos de corte y tensión, produciendo fisuras en el concreto que afectan directamente la durabilidad de las estructuras, haciendo indispensable la implementación de medidas que permitan superar o mitigar esta deficiencia. La debilidad en tensión puede ser superada por el uso de refuerzo convencional de varilla y, en cierta medida, por la inclusión de un volumen suficiente de fibras existentes en el mercado. (Construsol Medellin, 2012)

Como dice (Silva, 2017). Las fibras no alteran considerablemente la contracción libre de concreto y, si son empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras. Las fibras utilizadas en el concreto generalmente son de acero, plástico, vidrio, de materiales naturales (Celulosa de madera) y sistemas múltiples, disponibles en una amplia variedad de formas, tamaños y espesores. (Construsol Medellin, 2012)

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe resaltar el gran problema y dificultad que se presenta al momento de obtener la materia prima sin desconocer los altos costos del procesamiento de estos materiales donde muchos de ellos proceden del reciclaje como el plástico y vidrio aliviando la contaminación pero generando grandes gastos económicos al momento de ser procesados y adecuados para su reutilización en las estructuras. Asimismo hay fibras que tienen un impacto primario y secundario en el ambiente como lo son las fibras naturales (celulosa de madera) que promueven la tala de árboles y altas horas de energía en máquinas industriales para el procesamiento y elaboración de las mismas, sin nombrar las fibras de acero y su extenuante proceso de producción y fabricación. Surgiendo la necesidad de encontrar una alternativa en fibras tanto ecológica como económica que brinde eficiencia y seguridad al momento de ser utilizadas en las diferentes estructuras en concreto.

1.2 Formulación del problema

¿Cuáles son las características o propiedades del concreto que se mejoran con la adición del cabello humano?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Evaluar la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto al adicionarle fibras de cabello humano.

1.3.2 Objetivos Específicos. Conocer las distintas propiedades y características del cabello humano para ser implementado como fibra de refuerzo (resistencia, estructura).

Determinar el Ph del cabello humano por medio de ensayo de laboratorio.

Calcular la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto adicionando fibras de cabello humano mediante ensayos de laboratorio contemplados en la norma (NTC 550, NTC 663, NTC 2871, NTC 722).

Establecer la manejabilidad del concreto al adicionarle fibras de cabello humano por medio del ensayo de asentamiento estipulado en la norma (NTC 396).

Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos (concreto patrón 21MPa Vs concreto dosificado con cabello humano) que permita establecer un criterio respecto a las propiedades mecánicas del concreto.

Estimar la variación del costo de producción y dosificaciones del concreto de 21 Mpa al adicionarle cabello humano a través de estudios de A.P.U y diseño de mezclas.

1.4 Justificación

La siguiente investigación se enfocara en poder dar una nueva alternativa en el control a la fisuración en las diferentes estructuras durante su vida útil y brindar mayor resistencia a la fatiga, como también un incremento en la resistencia al impacto. Al mismo tiempo se busca brindar una nueva opción en fibras de refuerzo, ya que las diferentes especies de fibras en el mercado no ofrecen un método conveniente, ecológico, práctico y económico para mejorar algunas propiedades del concreto, Siendo la fibra de cabello humano, un material orgánico alternativo y disponible de manera abundante y a un bajo costo, cabe resaltar que en muchos lugares esta fibra es desechada en los diferentes salones de estética. Pero debido a la falta de estudios en nuestro país desconocemos las propiedades del concreto a flexión, compresión y corte indirecto con adiciones de fibras de cabello humano, haciendo imposible su implementación.

Surgiendo la necesidad de este estudio y así determinar la resistencia de este tipo de concreto, evaluando si estos valores cumplen con lo establecido en las diferentes normas y de esta manera darle un adecuado uso conociendo en que porcentaje adicionar esta fibra, como también el valor monetario para diseñar y producir concretos con adiciones de fibra de cabello humano.

1.5 Delimitaciones

Las siguientes son las cuatro delimitaciones formuladas para el desarrollo de la investigación propuesta.

1.5.1 Delimitación Geográfica. El proyecto se llevó a cabo en la ciudad de Ocaña Norte de Santander, $8^{\circ} 14' 15''$ latitud norte y $73^{\circ} 2' 26''$ longitud este y su altura sobre el nivel del mar es 1202m. Por el norte limita con el municipio de Gonzales (departamento del Cesar), por el occidente limita con el municipio de Rio de Oro (departamento del Cesar), por el sur limita con San Martin (departamento del Cesar). Sus límites municipales son: por el oriente limita con los municipios de San Calixto, la Playa y Abrego; por el norte limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen y por el sur con el municipio de Abrego. (Cucuta nuestra.com, 2017)

1.5.2 Delimitación Conceptual. Este trabajo abarco conceptos fundamentales como: flexión, compresión, resistencia, concreto, diseño de mezcla, fraguado, curado, esfuerzo, deformación, cabello humano, fisuración.

1.5.3 Delimitación Operativa. El proyecto se desarrolló en el laboratorio de resistencia de materiales para el ensayo de las probetas y vigas de concreto con su respectivo estudio y análisis de resultados, al mismo tiempo en el laboratorio de suelos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se realizara el respectivo diseño de mezcla con las dosificaciones de 1%, 2%, 3% de cabello humano respecto al peso total del cemento.

La recolección de cabello humano se realizó en los centro de estética y belleza Jhon's y en el centro de estética y belleza Ocaña ubicados en la ciudad de Ocaña Norte de Santander.

1.5.4 Delimitación Temporal. El proyecto se desarrolló en un total de cuatro (4) meses contando a partir de la aprobación del anteproyecto por parte del comité.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

De acuerdo con algunas investigaciones, los hallazgos más antiguos de los que se tiene conocimiento sobre el uso de mezclas cementantes datan de los años 7000 y 6000 a. C. cuando en las regiones de Israel y la antigua Yugoslavia respectivamente, se encontraron vestigios de los primeros pisos de concreto a partir de calizas calcinadas. Posteriormente, cerca al año 2500 a. C., se emplearon mezclas de calizas y yesos calcinados para pegar los grandes bloques de piedra que se utilizaron para la construcción de las pirámides de Giza en Egipto. En el año 1950 a. C. se emplearon mezclas similares para rellenar muros de piedra, así se construyó el mural de Tebas en Egipto; años después estas mezclas empezaron a ser utilizadas como material estructural.

En el Mediterráneo occidental, cerca al año 500 a. C., los antiguos griegos adoptaron el arte de hacer concreto y más tarde, en el año 300 a. C. la civilización romana copió algunas técnicas para construir varias de sus obras, entre ellas el Foro Romano. Durante el siglo 11 a. C. en la población de Puzzoli, mezclando caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico se desarrolló el cemento puzolánico. Esta mezcla fue empleada para la construcción del Teatro de Pompeya en el año 75 a. C. Posteriormente, utilizando rocas de origen volcánico como agregado liviano y jarrones de barro incrustados para aligerar el concreto, se construyó el Coliseo Romano y el domo del Panteón con 50 metros de diámetro. Con la caída del Imperio Romano, el uso del concreto desapareció y fue recuperado por los ingleses hacia el año 700 a. C. (Concreto, 2017).

En el siglo XVIII el concreto cobró gran importancia y fue cuando el ingeniero John Smeaton aceptó el encargo de reconstruir el Faro de Edystone con un material resistente al viento, al fuego y al oleaje. Así, empezó a investigar diferentes mezclas de mortero hasta desarrollar un cemento hidráulico. El 21 de octubre de 1824, Joseph Apsdin patenta el primer cemento portland, llamado así por su color grisáceo, similar al color de las rocas explotadas en la bahía de Portland en Inglaterra. La primera fábrica de cemento se instaló dos años después en Wakefield (Inglaterra).

Posteriormente, Isaac Johnson mejora el proceso de producción incrementando la temperatura de calcinación, por lo que se le conoce como el padre moderno del cemento portland. La primera referencia conocida sobre el uso de concreto reforzado es del año 1830, cuando se embebió en el concreto una malla de barras de acero para la conformación de un techo. En 1835, se empleó por primera vez el concreto a gran escala para la construcción de muros, tejas, marcos de ventana y trabajos de decoración en una edificación para vivienda en Swanscombe (Inglaterra). En Francia, en 1887 fue desarrollado el primer cemento blanco y en Estados Unidos, en 1903 fue perfeccionado logrando un portland blanco de mayor calidad. En Colombia, hasta 1909 la totalidad del cemento utilizado era importado. (Concreto, 2017)

El uso de las fibras en materiales de construcción se remonta hasta antes de la aparición del cemento Pórtland y del concreto. Fibras naturales como pasto, fique, junco y pelo animal han sido tradicionalmente agregadas al adobe para disminuir su tendencia a la fisuración y mejorar el desempeño del material a esfuerzos de tensión. La introducción de “agregados” de forma específica y una resistencia a la tracción superior a la matriz en la que están embebidos, ha conferido cualidades adicionales que no alcanzarían, sin dicho refuerzo, el adobe, el yeso, el

estuco, la cerámica o el concreto. Durante los últimos cincuenta años el empleo y estudio de las fibras en la construcción ha llevado al desarrollo y fabricación de tipos específicos de fibras que responden a diferentes necesidades. Hoy, existen, y se usan dentro de la composición del concreto, fibras de vidrio (especialmente resistentes a los álcalis), polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otros. (Noticreto, 2007).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibras en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras. Según (Rodriguez Lozano, Juan Segura, Elena, Julio 2013), los hormigones y morteros de cemento tienen como característica principal su elevada resistencia a compresión, pero escasa resistencia a tracción. Dichos hormigones y morteros son reforzados con armaduras convencionales de acero para soportar esfuerzos de tracción, generando un refuerzo continuo de gran efectividad y utilidad en la construcción de estructuras para edificación y obra civil.

De otra parte el ACI 116R-00. El hormigón reforzado con fibras es una combinación de cemento hidráulico, agua, áridos finos y gruesos, aditivos, adiciones y fibras dispersas orientadas aleatoriamente.

Las fibras pueden ser naturales o artificiales según su naturaleza y tienen como fin reforzar la masa del hormigón incrementando la resistencia a la tracción disminuyendo la fisuración y aumentando la tenacidad mediante la transmisión de esfuerzos a través de la sección

fisurada. Por otro lado la adición de fibras disminuye los efectos de la retracción por fraguado y aumenta la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga.

La norma ASTM C 1116 define las fibras como: “Filamentos finos y alargados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco.”

A su vez, la norma ACI 544 considera como fibras para el hormigón los filamentos discontinuos de acero, las fibras sintéticas, las de vidrio y las naturales. Además de las normas americanas, anteriormente mencionadas, en el ámbito europeo encontramos las Normas UNE EN. Entre las cuales cabe destacar las siguientes:

UNE EN 14845-1: “Métodos de ensayo para fibras para hormigón. Parte 1: Homigones de referencia.”

UNE EN 14845-2: “Métodos de ensayo para fibras para hormigón. Parte 1: Efecto en la resistencia del hormigón.”

UNE EN 14889-1: “Fibras para hormigón. Parte 1: Fibras de acero. Definiciones, especificaciones y conformidad.”

UNE EN 14889-1: “Fibras para hormigón. Parte 1: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad.”

UNE EN 12390-3: “Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.”

UNE EN 12390-5: “Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5: Resistencia a flexión de probetas.”

UNE EN 14651: “Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual).”

A efectos del Anejo 14 de la EHE-08, los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa.

Mediante el avance progresivo de la tecnología se ha logrado crear una gran cantidad de materiales sintéticos, siguiendo la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros.

Las cantidades por volumen usadas de fibras en el hormigón varían dependiendo del tipo de fibra y de la finalidad del hormigón.

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas.

De una manera general se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa o fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros. (Anejo 14. EHE-08).

Las características geométricas de las fibras (Longitud (l_f), Diámetro equivalente (d_f), Esbeltez (λ)), se establecerán de acuerdo con UNE 83500-1 y UNE 83500-2. (Anejo 14. EHE-08).

De acuerdo con su naturaleza las fibras se clasifican en:

Fibras de acero.

Fibras poliméricas.

Otras fibras orgánicas.

Se define además la longitud crítica, L_c , como la longitud de la fibra que cumple las siguientes hipótesis. Si, LL_c , la fibra fallará por tracción. La adherencia es mayor en fibras de superficie rugosa que presenten extremos agrandados. La orientación de la fibra también es un factor importante para su efectividad siendo máximo el beneficio cuando la fibra está posicionada y paralelamente al esfuerzo de tracción aplicado y es de menor influencia cuando se orientan al azar en tres dimensiones.

Las fibras de acero, en dosificaciones que oscilan entre 2% y 0,25 en volumen de hormigón, han mostrado dar al hormigón mejoras en la resistencia, flexo tracción y una mayor

ductilidad cuando el mismo está solicitado a compresión, así como importantes beneficios en caso de impacto.

Un hormigón reforzado con fibras puede soportar cargas de flexión mayores que aquella en la cual aparece la primera fisura en la matriz, incrementando además su tenacidad entendida como la capacidad que posee el hormigón de soportar carga (área bajo la curva carga-deformación).

En los últimos cuarenta años han salido al mercado una gran variedad de fibras sintéticas entre las que se pueden mencionar las fibras acrílicas, de carbono, de poliéster, de vidrio, de polietileno, de nylon, de polipropileno, entre otras.

2.2.2 Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. En consecuencia con el desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales alternativos de construcción, que permitan reducir la extracción y uso de materiales convencionales, se presenta la necesidad de continuar investigando en el campo de materiales que permitan no solamente reducir costos sino que brinden seguridad en cuanto a sus propiedades y necesidades de resistencia según sus usos.

Para tales efectos, existe la posibilidad de uso de fibras naturales en concretos y morteros las cuales han tenido un amplio estudio desde los años 70's, entre las cuales se tienen las fibras de coco, plátano, bagazo de caña y algunos tipos de bambúes.

Un hormigón o concreto es un material compuesto de partículas grandes formado por una matriz continua cementante que une a un agregado de partículas (agregado u árido fino o arena, y agregado o árido grueso).

En este sentido amplio, la matriz cementante o aglutinante podrá ser de naturaleza cerámica (cementos Pórtland, yeso, cal hidratada, arcilla, azufre entre otros), polimérica (resina epóxica, acrílico, polipropileno, betún, brea o asfalto, etc), y metálica (un metal puro o una aleación) (Sanchez de Guzmán , 1993)

Se denomina bagazo al residuo de materia después de extraído su jugo. Una clase de bagazo es el residuo leñoso de la caña de azúcar. En estado fresco estos bagazos contienen un 40% de agua. Suelen utilizarse como combustible de las propias azucareras.

La fibra de la caña de azúcar tiene una significación particular, por cuanto constituye, además de un material combustible para la industria azucarera y otras, una valiosa materia prima para otras industrias tales como la del papel, maderas artificiales entre otros.

El uso de la fibra de bagazo para material manufacturado, es otra alternativa de solución para el uso de este tipo de materiales. Si se compara el uso de las fibras naturales con materiales sintéticos, estas tienen dos grandes ventajas, su baja densidad y su reutilización. (J.M.L Reis, 2006)

Según Sera (1990), las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, lo catalogan como un material adecuado para ser usado como Fibro refuerzo.

En la Tabla 1, se dan a conocer las propiedades más significativas del bagazo de caña, las cuales sirven de base para el aprovechamiento y manipulación de este tipo de material.

Tabla 1.

Propiedades de las fibras del bagazo de caña

Especificaciones	Bagazo
Continuo/Disperso	Disperso
Orientación	Aleatoria
Matriz	Cemento
Longitud mm	26
Diámetro promedio (mm)	0.24
Gravedad específica (g/cm ³)	1.25
Absorción de humedad %	78.5
Contenido de humedad %	12.1
Resistencia ultima MPa	196.4
Modulo de elasticidad Gpa	16.9
Resistencia a la adherencia Mpa	0.84

Nota. La tabla muestra las propiedades más significativas del bagazo de caña, las cuales sirven de base para el aprovechamiento y manipulación de este tipo de material

Fuente. (Sampieri, 2010)

La necesidad de obtener materiales alternativos al concreto reforzado convencional se han incrementado; y, en esa búsqueda de alternativas, el concreto reforzado con fibras presenta las características de una solución con viabilidad técnica y económica. Así, se han utilizado ya, fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de carbón, fibras minerales y naturales (madera, yute, bambú, coco, henequén, asbesto, lana, entre otros), fibras de polipropileno y muchas otras fibras sintéticas como el Nylon y Poliéster. (Cepeda, R, 1997)

La alta alcalinidad de la pasta de cemento Pórtland, aunque protege a las fibras de acero de la corrosión afecta a otros tipos de fibras deteriorándolas con el paso del tiempo como es el caso de las fibras de vidrio y las fibras naturales celulósicas. Este último ocurre por la degradación que sufre la fibra natural debida al ataque químico que con el tiempo le produce el agua alcalinizada por los elementos alcalinos contenidos en el cemento. (Gram & Hans, 1998)

Los procesos de mineralización (petrificación) mejora indudablemente la adherencia entre la fibra y la matriz. De este modo, la fibra se rigidiza y fragiliza a medida que transcurre el tiempo, aunque se hace más resistente. Como consecuencia, disminuye la alta tenacidad o capacidad de absorción de energía producida en el compuesto inicialmente por la incorporación de las fibras. Sin embargo, la Resistencia a la Flexión y el Módulo de Elasticidad se incrementan comparativamente (Gram & Hans, 1998).

Se han obtenido algunas prácticas con el fin de minimizar los procesos de deterioro de las fibras vegetales en la matriz de concreto por efectos de alcalinidad, y buscando que el fraguado del cemento no se vea afectado, utilizando para ello el lavado del material. (Beraldo, 1997).

Para evitar estos agrietamientos en las matrices concreto-fibras naturales como es el bambú, tanto en los procesos de armado y curado, se han utilizado varios tipos de tratamientos con diferentes grados de usos, entre los cuales se encuentran algunas cloruros y capas finas de Igol-T o negrolin, los cuales han mejorado la relación entre la interfase bambú-concreto por encima del 90%. (Pereira da Rosa, 2002).

Igualmente, Beraldo (2004), realizó experimentos con partículas de fibras naturales como son el bambú para evitar la incompatibilidad en la matriz cemento-bambú, utilizando para ello varios tipos de tratamientos, donde se obtuvo como mejor resultado el lavado realizado con solución de cloruro de calcio al 5% por 24 horas en el cual fueron inmersas las fibras de bambú.(p.6).

Esta investigación, corresponde a los resultados de una primera fase de un proyecto global que se viene adelantando en el Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos de La Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el cual tiene como objetivo la caracterización de los concretos reforzados con fibras de bagazo de caña, con el fin de recomendar ampliamente su uso, principalmente a nivel rural. Para ello es indispensable continuar adelantando una serie de investigaciones que permitan encontrar la incidencia de algunos parámetros en la resistencia final del concreto y su comportamiento en el tiempo, como lo son los tipos de tratamientos inhibidores de reacciones químicas en la matriz entre el cemento y el material vegetal, el tipo de arenas, el tipo de cemento a utilizar, las relaciones agua cemento entre otros.

Se pretendió entonces, a partir de este trabajo conocer el comportamiento a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, aprovechando los grandes volúmenes de desechos provenientes de la agroindustria de beneficio de caña de azúcar, que se generan en algunas zonas del país, especialmente en las regiones del Valle, Santander y algunas zonas de Antioquia. (Osorio, Varón , & Herrera, 2007)

2.2.3 Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. El estudio realizado por (Quintero García & Gonzáles Salcedo, 2006)

Demostó lo siguiente: El coco en su exterior se conforma 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 esta parte estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa, como agregado ligero en la industria del concreto aligerado. Se le atribuyen dos fines importantes: disminuir el peso de las estructuras, y proporcionar un grado aceptable de resistencia.

Esta fibra se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina (fibra de esteras o hilo); una más tosca (fibra de cerda), y una fibra más corta (fibra para colchones). Es importante la capacidad que tiene el bonote de elongarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga. Resulta además una fibra económica. El rendimiento varía según el tamaño de los cocos, madurez, variedad y método de preparación. En general puede considerarse que existe un promedio de 130 kg de fibra por cada 1,000 cáscaras.

Entre otras cosas, el estudio desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira), evaluó las propiedades físico-mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0.5 y 1.5% y longitudes de dicha fibra de 2 y 5 cm. Para la preparación de la mezcla se utilizó Cemento Portland, agua, arena de río, grava de canto rodado de 19 mm de tamaño máximo (también de río) y cal para blanquear.

Se elaboraron cinco tipos de mezclas de concreto: una sin fibra y otras cuatro en donde se consideraron como variables la longitud de la fibra y el porcentaje de adición de la misma. Para todas las mezclas se trabajó con una misma matriz de concreto. Con cada tipo de mezcla se elaboraron dos tipos de especímenes: cilindros y vigas. Con base en éstos se evaluaron las diferentes propiedades. Cabe decir que todas las muestras, cilíndricas y vigas, permanecieron sumergidas en un tanque con agua, por espacio de dos días. Seguidamente se procedió a desmoldar y a continuar con el curado, hasta cumplir con la edad de ensayo requerida para las diferentes pruebas.

En las muestras se realizaron los siguientes ensayos: determinación del peso unitario y pruebas de resistencia mecánica; resistencia a la compresión; tensión indirecta, así como resistencia a la flexión. En general, puede resumirse de este estudio, que las más bajas deformaciones se obtuvieron en mezclas con longitud de fibra de 5 cm, siendo inferior para un volumen de adición de 1.5%. Asimismo, la resistencia a la compresión más elevada se obtuvo con los compuestos reforzados con volumen de fibra 1.5%, siendo superior para la longitud de 2 cm. La única mezcla que presentó resistencia a la tensión indirecta mayor que el concreto fue la que contenía fibra de 5 cm, en un volumen de 0.5%. Puede afirmarse que la adición de fibra incidió positivamente sobre la resistencia a la flexión; el mayor valor de resistencia a la flexión lo presentó el concreto de volumen 0.5% y longitud de fibra de 5 cm.

Estos resultados concuerdan con lo obtenido en estudios anteriores en los que se corrobora que el reforzamiento del concreto mediante fibras, mejora la tenacidad de la matriz. De acuerdo con el efecto que sobre las propiedades mecánicas del concreto puede tener la adición de

fibra de estopa, una buena aplicación de este tipo de reforzamiento, puede ser la construcción de elementos sometidos a flexión (vigas y losas).

2.2.4 Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero zp-306 sometido a esfuerzos de compresión. El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) ha evolucionado desde un material de construcción hasta una alternativa usada para mejorar tanto el concreto convencional simple, como el concreto reforzado con barras o malla electro soldada. Es evidente que el comportamiento a tensión del concreto simple (CS) es deficiente, lo cual se podría mejorar con la adición de fibras al concreto. En general, las fibras controlan la fisuración y mejoran la tenacidad del concreto.

Varias investigaciones y proyectos prácticos se han llevado a cabo con éxito para caracterizar y estudiar el comportamiento del CRFA. A pesar de esta amplia experiencia, muchos diseñadores no conocen el comportamiento y las ventajas del CRFA. Una de las principales causas de la poca utilización del CRFA en las construcciones de Colombia, ha sido la ausencia de recomendaciones prácticas para estimar el comportamiento del CRFA. Aunque el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) permite el uso de fibras de acero en el concreto para resistir cortante en vigas, NSR-10 excluye su uso en otros elementos tales como muros de concreto. Adicionalmente, en NSR-10 no se indican ecuaciones para estimar las propiedades mecánicas del CRFA.

El uso de fibras de acero en el concreto contribuye a mejorar el proceso constructivo y el comportamiento sísmico de elementos estructurales, lo que redundará en viviendas más

económicas y seguras. Por tal motivo, en este artículo se presentan los resultados de una investigación experimental y analítica para estudiar el desempeño del CRFA elaborado con fibra ZP-306, y sometido a esfuerzos de compresión. Las propiedades que se incluyen son resistencia a compresión, módulo de elasticidad, relación de Poisson y, en general, la curva completa esfuerzo-deformación. Inicialmente, se presentan los resultados de una revisión de las metodologías propuestas en la literatura. Luego se presentan los resultados de un estudio experimental sobre 48 muestras de CRFA en forma de cilindros. Por último, se presentan recomendaciones prácticas para caracterizar el comportamiento del CRFA sometido a esfuerzos de compresión. (Gallo, Gonzales, & Carrillo, 2013)

La adición de fibras al hormigón ha impulsado un gran desarrollo en la tecnología del hormigón. Como se expone anteriormente, el hormigón es un material que presenta muy buenas características ante compresión, pero ofrece escasa resistencia a otros esfuerzos como tracción o flexión. Es por ello que desde hace mucho tiempo, se ha trabajado en el desarrollo de soluciones que permitan solventar esta carencia, que supone una gran limitación del hormigón como material de construcción. El desarrollo más notable es el conocido Hormigón Armado. Se trata de un refuerzo del hormigón con barras de acero en las zonas de tracción, que supone una importante solución para el uso del hormigón como elemento estructural, pero cuyas dimensiones, peso y forma de puesta en obra es aún un inconveniente para muchas otras aplicaciones.

Por este motivo, las investigaciones se direccionaron en la búsqueda de soluciones mediante el uso de Fibras de Refuerzo que permitieran aligerar y reducir el espesor del hormigón. Desde entonces, son numerosas las clases de fibras que se han desarrollado, tanto orgánicas

(nylon, polipropileno, etc), como inorgánicas (carbono, vidrio, acero, aluminio), resultando la fibra de vidrio la mejor en relación coste y propiedades.

En 1967 el Dr. A. J. Majundar, del Building Research Establishment (BRE) demostró cómo mediante la adición de fibra de vidrio a cemento Portland se conseguía aumentar su resistencia y además la resistencia que presentaba ante un medio alcalino, como es el cemento Portland.

El uso de fibras de vidrio en el hormigón polimérico ha resultado muy conveniente. Diversos estudios han revelado que el uso de fibras, además de aumentar las prestaciones mecánicas, también mejora sustancialmente la respuesta del material una vez se ha producido la fractura. La resistencia tanto a compresión como a impacto se ven aumentadas con el aporte de fibra de vidrio, si bien es en cuanto a la flexión donde se aprecia una enorme diferencia debido a la adición de fibra.

Actualmente, el uso GRC (Glass Reinforced Concrete) está bastante extendido en multitud de aplicaciones como la construcción de postes, farolas, escaleras. Es su versatilidad y su mayor conocimiento y su precio lo que está dando lugar a su puesta en marcha. (Gallo, Gonzales, & Carrillo, 2013)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 El concreto. El concreto es básicamente una mezcla de agregados y pasta. La pasta está compuesta de Cemento Portland y agua, la cual une los agregados fino y grueso para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua. La pasta está compuesta por Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente.

El concreto es un material muy frecuente en la construcción ya que tiene la capacidad de resistir grandes esfuerzos de compresión. Sin embargo, no se desempeña bien ante otros tipos de esfuerzos, como la flexión o la tracción. Por lo tanto, el concreto suele utilizarse en conjunto con el acero, en un compuesto que recibe el nombre de hormigón armado. El Porcentaje aproximado en volumen de los componentes del concreto: 70% de Agregados, 15% de Agua, 12% de Cemento, 3% de Aire. (Biblioteca virtual UDEP, Perú)

A continuación se enumeran los componentes del concreto:

Cemento Portland. Es un aglomerante hidráulico y proviene de la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos y posterior molienda muy fina del “Clinker” que es el material resultante de la calcinación, con una pequeña adición de yeso, menores al 1% del peso total. El cemento posee la propiedad que al mezclarlo con agua forma una pasta aglomerante, que unido a los agregados y a medida que transcurre el tiempo va aumentando su resistencia y volviéndose más rígida. (Quintana, 2013)

Los tipos de cemento que existen son los tradicionales:

Cemento Portland Tipo 1. El tipo de cemento «corriente» y que comúnmente se vende en los depósitos. Es el destinado para la construcción de obras de concreto en general y al que no se le exigen propiedades especiales. También se le conoce como cemento gris. (Quintana, 2013)

Cemento Portland Tipo 2. Tiene la característica de resistir ataques no muy fuertes (moderados) de los sulfatos y desarrollar bajo calor de hidratación. Estas propiedades hacen que sea aconsejable para estructuras subterráneas sujetas a la acción del nivel freático con concentraciones no muy altas de sulfatos; también se puede utilizar en estructuras de masa considerable como muros de contención, donde se prevea un moderado desarrollo de calor de hidratación. (Quintana, 2013)

Cemento Portland Tipo 3. Desarrolla altas resistencias iniciales por lo que se aconseja utilizarlo en obras donde se requiera quitar las formaletas rápidamente o cuando la estructura debe estar en servicio lo más pronto posible. También se recomienda para climas fríos por cuanto las bajas temperaturas tienden a retrasar los procesos de hidratación. Es ideal para estructuras prefabricadas y concretos pres esforzados. (Quintana, 2013)

Cemento Portland Tipo 4. Se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas. La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto

con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo. (Quintana, 2013)

Cemento Portland Tipo 5. Presenta alta resistencia al ataque por sulfatos, por tanto su uso es casi imprescindible en estructuras con suelos yesíferos (sulfato de calcio) o sujetas a la acción de residuos industriales o materia orgánica con concentraciones altas de sulfatos. (Quintana, 2013)

2.3.2 Agregados. Los agregados por su tamaño generalmente se dividen en dos grupos: Agregado fino y Agregado grueso. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pasan la malla N°. 4 (4.75 mm) y los agregados gruesos consisten en grava o agregado triturado y son aquellas partículas retenidas en la malla No. 4 (4.75 mm). El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. (Quintana, 2013)

Existen muchas propiedades que deben cumplir los agregados, tales como propiedades físicas y mecánicas, así mismo propiedades térmicas, morfológicas, etc. A continuación detallamos alguna de ellas:

Propiedades Mecánicas: Densidad, Dureza y Adherencia

Propiedades Físicas: Granulometría, Peso unitario suelto y varillado, Peso específico, Contenido de humedad y Porcentaje de absorción.

Los Ensayos realizados a los agregados son:

Granulometría

Peso Unitario

Peso Específico

Contenido de Humedad

Capacidad de Absorción

2.3.3 Agua. El agua es un elemento indispensable en la elaboración de la mezcla de concreto ya que sirve para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades. Esta agua debe cumplir ciertos requisitos para que no sea perjudicial al concreto. Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. (Quintana, 2013)

2.3.4 Pasta de cemento. Como la pasta de cemento o simplemente pasta, se conoce a la mezcla de agua y cemento. En ocasiones se acostumbra a denominar a la pasta de cemento como matriz, termino muy utilizado por aquellas personas dedicadas al estudio de concreto. La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto: (Quintana, 2013)

Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.

Separar las partículas de agregado.

Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.

Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

Las propiedades de la pasta dependen de:

Las propiedades físicas y químicas del cemento.

Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla.

El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua.

2.3.5 Propiedades del Concreto en estado Fresco. Manejabilidad. La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la Manejabilidad va asociado al término plasticidad, definido como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde. (Quintana, 2013)

Los factores que influyen en la trabajabilidad son:

El contenido del agua de secado, es el principal factor que influye en la manejabilidad del concreto; se expresa en kg o litros por m³ del concreto.

La fluidez de la pasta, debido a que para una cantidad determinada de pasta y de agregado, la plasticidad de la mezcla dependerá de las proporciones de cemento y agua en la pasta.

El contenido de aire, bien sea naturalmente atrapado o adicionado, aumenta la manejabilidad de la mezcla porque sus burbujas actúan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad.

La buena gradación de los agregados, los agregados gruesos con partículas planas y alargadas o de forma cubica con superficie rugosa, disminuyen la manejabilidad de la mezcla.

Bajo contenido de arena en proporción con el contenido de agregado grueso determina una mezcla poco manejable. Pero si el contenido de arena es elevado hay necesidad de añadir agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación o exudación.

Algunas condiciones de clima y temperatura pueden alterar la manejabilidad de la mezcla.

Algunas condiciones de producción y colocación del concreto.

2.3.6 Tiempo de Fraguado. Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final. (Quintana, 2013)

Los Factores que más inciden en los Tiempos de Fraguado

Composición química del cemento.

Finura del cemento; entre más fino sea, es mayor la velocidad de hidratación.

Mientras mayor sea la cantidad de agua de amasado, dentro de ciertos límites, más rápido es el fraguado.

A menor temperatura ambiente, las reacciones de hidratación son más lentas.

2.3.7 Segregación. Es la separación de los materiales que constituyen una mezcla de cemento. Entre los principales factores que producen segregación están la diferencia en tamaños de las partículas y la mala distribución granulométrica de los agregados. Otras causas se refieren a los inadecuados procesos del concreto: Mezclado, transporte, colocación y compactación. La segregación se produce en dos formas: Las partículas gruesas tienden a separarse de las otras por

acción de la gravedad, esto ocurre generalmente con mezclas secas y poco plásticas. La otra forma es la separación de la pasta (cemento y agua) lo que ocurre con mezclas muy fluidas. (Quintana, 2013)

2.3.8 Exudación. Se conoce también como sangrado y consiste en que parte del agua de mezclado tiende a subirse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado. La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de la evaporación es menor que la velocidad de la exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de la exudación se pueden producir grietas de contracción. La exudación puede ser controlada con aditivos inclusores de aire, cementos más finos y un control de agregado fino. (Quintana, 2013)

2.3.9 Clasificación del Concreto. El concreto se puede clasificar de dos maneras:

Por Peso. Normal: 2240 a 2400 kg/m³, Ligero: menores a 1850kg/m³, Pesado: mayores a 3200kg/m³

Por resistencia. Resistencia baja: menores a 20MPa, Resistencia Moderada: entre 20 y 40 Mpa, Resistencia Alta: mayores a 40MPa. (Quintana, 2013)

2.3.10 Deformación. Se conoce como deformación cuando un cuerpo cambia de tamaño y de forma a través de un esfuerzo interno producido o a través de fuerzas efectuadas sobre él. La deformación se mide a través de la magnitud que es conocida como deformación unitaria o deformación axial. Esta deformación se consigue determinando el cambio de longitud por unidad

de longitud. Estos son perfectos para expresar los cambios de longitud de un prisma mecánico o de un cable. (REVISTA ARQHYS., 2012)

2.3.11 Esfuerzo. Como esfuerzo denominamos la fuerza que aplicamos contra algún impulso o resistencia, para contrarrestarlo o revertirlo. Asimismo, se llama esfuerzo a la energía o el vigor que se pone en la realización de algo, venciendo obstáculos (REVISTA ARQHYS., 2012)

2.3.12 Curva esfuerzo- deformación del Concreto. La curva esfuerzo-deformación tiene como características generales que en su rama inicial es relativamente lineal aproximadamente hasta la mitad de la resistencia máxima a compresión, después de que se supera esta primera rama, la curva tiende a hacerse horizontal hasta alcanzar su resistencia máxima. En las curvas esfuerzo-deformación del concreto de alta resistencia su forma tiende a ser puntiaguda cerca de la resistencia máxima, mientras que las curvas de concreto de baja resistencia tienen mesetas planas y amplias después de superar la zona elástica lineal. Como se muestra en las figuras 1 y 2 la pendiente de la última rama de la curva es negativa debido a que después de que se alcanza la ϵ_{cmax} , el concreto no es capaz de tomar esfuerzos adicionales y por lo tanto la resistencia decrece, la curva termina donde se alcanza la deformación unitaria de aplastamiento del concreto ϵ_{cCult} . También se ha observado que la deformación unitaria asociada a la resistencia máxima ϵ_{cmax} es aproximadamente igual a 0.002. (Osorio J. , 2011)

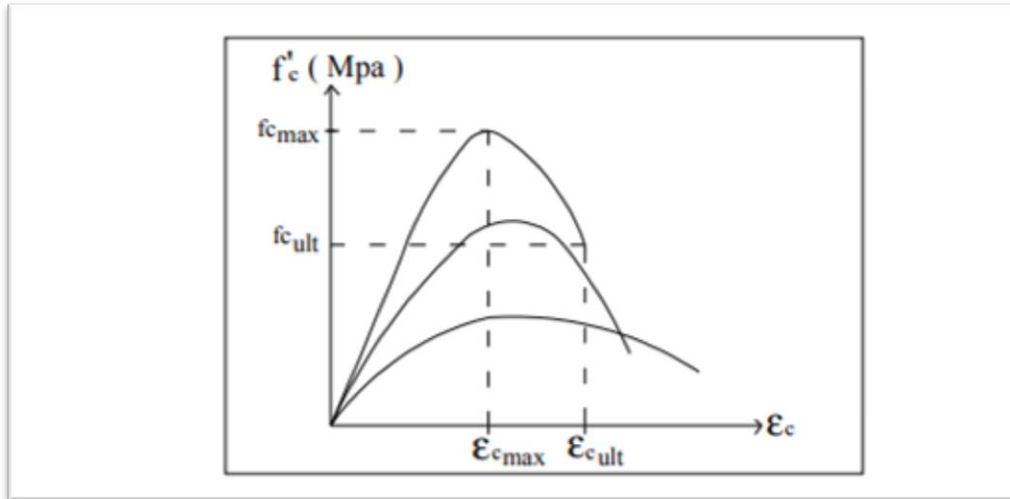


Figura 1. Curva esfuerzo- deformación a compresión en cilindros estándar

Fuente: (Paulay y Priestley, 1992)

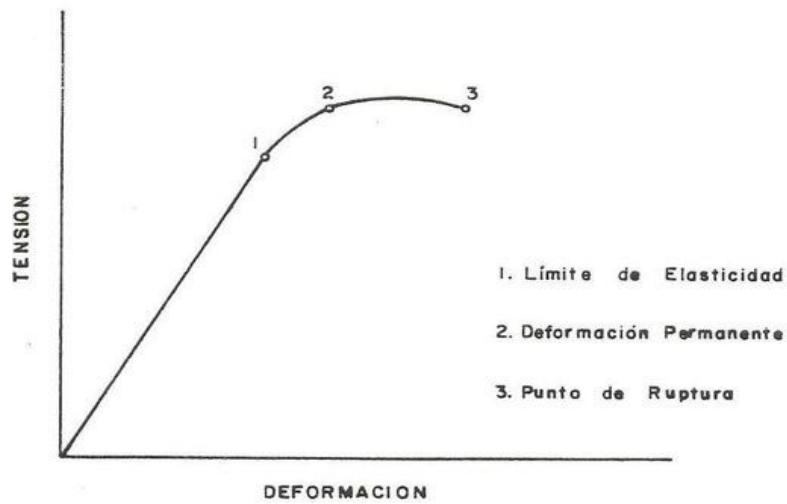


Figura 2. Grafica esfuerzo- deformación del concreto

Fuente: (Osorio J. , 2011)

2.3.13 Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la Norma técnica Colombiana 4025 que tiene como antecedente la ASTM C 469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto.

Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interface agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto.

En la figura. 3, se observan ciertas propiedades de la relación esfuerzo-deformación. En primer lugar, se puede ver que el término módulo de elasticidad, puede aplicarse estrictamente en la parte recta. En segundo lugar, el incremento en la deformación unitaria, mientras actúa la carga durante el ensayo, se debe en parte a algo de elasticidad y en parte a la fluencia del concreto, en consecuencia se determina que el concreto no es un material completamente elástico. (Osorio J. , 2011)

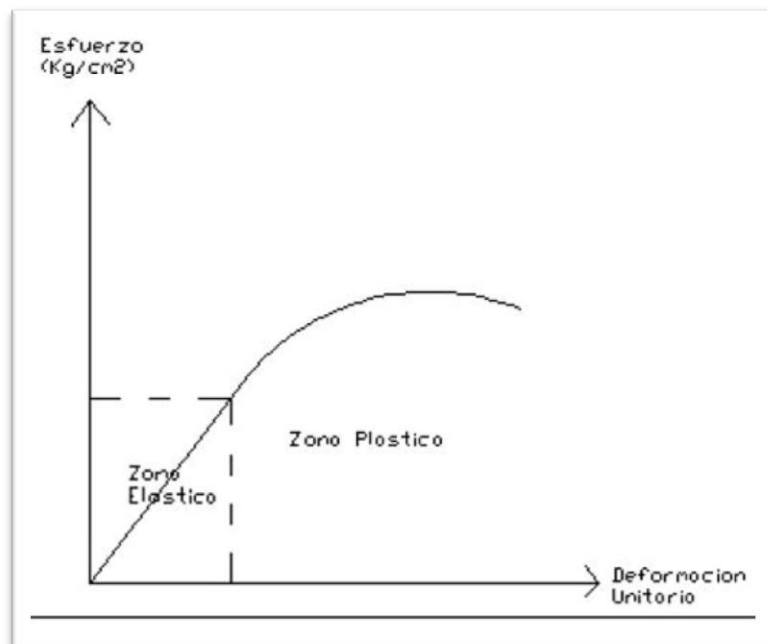


Figura 3. Grafica esfuerzo- deformación del concreto

Fuente: (Osorio J. , 2011)

2.3.14 Resistencia a la compresión. En cuanto a este tema (Osorio J. , 2011) afirma que la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente.

Desde el momento en que los granos del cemento inician su proceso de hidratación comienzan las reacciones de endurecimiento, que se manifiestan inicialmente con el “atiesamiento” del fraguado y continúan luego con una evidente ganancia de resistencias, al principio de forma rápida y disminuyendo la velocidad a medida que transcurre el tiempo.

En la mayoría de los países la edad normativa en la que se mide la resistencia mecánica del concreto es la de 28 días, aunque hay una tendencia para llevar esa fecha a los 7 días. Es frecuente determinar la resistencia mecánica en periodos de tiempo distinto a los de 28 días, pero suele ser con propósitos meramente informativos. Las edades más usuales en tales casos pueden ser 1, 3, 7, 14, 90 y 360 días. En algunas ocasiones y de acuerdo a las características de la obra, esa determinación no es solo informativa, si no normativa, fijado así en las condiciones contractuales.

La edad de 28 días se eligió en los momentos en que se comenzaba a estudiar a fondo la tecnología del concreto, por razones técnicas y prácticas. Técnicas porque para los 28 días ya el desarrollo de resistencia está avanzado en gran proporción y para la tecnología de la construcción esperar ese tiempo no afectaba significativamente la marcha de las obras. Prácticas porque 28 días es un múltiplo de los días de la semana y evita ensayar en día festivo un concreto que se vació en días laborables. Pero las razones técnicas han cambiado sustancialmente porque con los métodos constructivos actuales 28 días puede significar un decisivo adelanto de la obra por encima de los volúmenes de concreto cuya calidad no se conoce.

La velocidad de ganancia de resistencia mecánica del concreto depende de numerosas variables y resultan muy diferentes entre unos y otros concretos. De esas variables, la más

importante puede ser la composición química del cemento, la misma finura, la relación agua/cemento, que cuanto más baja sea favorece la velocidad, la calidad intrínseca de los agregados, las condiciones de temperatura ambiente y la eficiencia de curado. Esto hace que los índices de crecimiento de la resistencia no pueden ser usados en forma segura o precisa con carácter general para cualquier concreto.

2.3.15 Ensayo a la compresión del concreto. Para (Osorio J. , 2011) . Es de vital importancia que se cumpla con todos los requerimientos presentes en las normas mencionadas, pues como hemos visto la resistencia del concreto se encuentra influenciada por muchas variables tanto internas como externas, por tanto es indispensable que los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de los mismos sean estándares para evitar incluir otra variable más a los resultados de resistencia. A continuación se presentan los aspectos más importantes a tener en cuenta durante los procesos de elaboración, curado y ensayo de los especímenes, de acuerdo con la NTC673, NTC 550 y NTC 1377:

Se debe garantizar que los moldes para la elaboración de los cilindros produzcan especímenes con las dimensiones establecidas en la norma.

Antes de colocar el concreto en los moldes, estos se deben impregnar en su interior con un material que evite que el concreto se adhiera a la superficie del molde.

Los cilindros se deben confeccionar en tres capas iguales, apisonando cada capa de acuerdo con los requerimientos de la norma.

Los cilindros recién elaborados deben permanecer en reposo en un sitio cubierto y protegido de cualquier golpe o vibración, para ser desencofrados a las 24 horas +/- 8 horas.

Una vez desencofrados, los cilindros se deben curar a una temperatura de $23\text{oC} \pm 2\text{oC}$ y a una humedad relativa $>95\%$, hasta el día del ensayo.

Las tapas del cilindro se deben refrendar para garantizar que la superficie del cilindro sea totalmente plana, de lo contrario se pueden presentar concentraciones de esfuerzos que disminuyen la resistencia del cilindro.

La carga se debe aplicar a una velocidad que se encuentre dentro del intervalo de 0.14 Mpa/s a 0.34 Mpa/s y la velocidad escogida se debe mantener al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista del ciclo de ensayo.

2.3.16 Resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por el momento de una viga o una losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150mm x 150mm) de sección transversa y con una luz de como mínimo tres veces el espesor. La carga se aplica en el centro de la luz como se muestra en la figura 5 o en los tercios medios de la viga a ensayar véase figura 4. (National Ready Mixed Association, 2016)

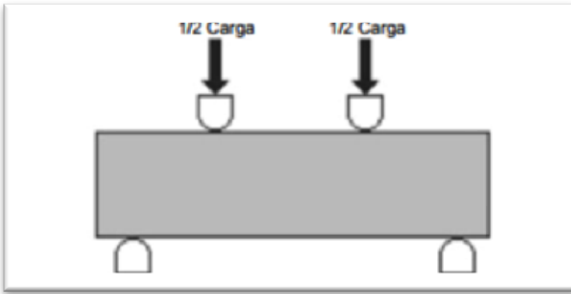


Figura 4. Diagrama de aplicación de carga en el ensayo de flexión del concreto

Fuente: (National Ready Mixed Association, 2016)

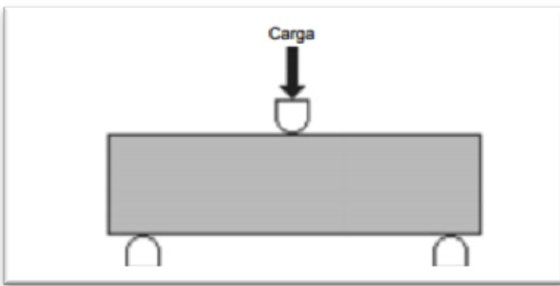


Figura 5. Diagrama de aplicación de carga en el ensayo de flexión del concreto.

Fuente: (National Ready Mixed Association, 2016)

2.3.17 Resistencia al corte indirecto. Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura véase Figura 6.

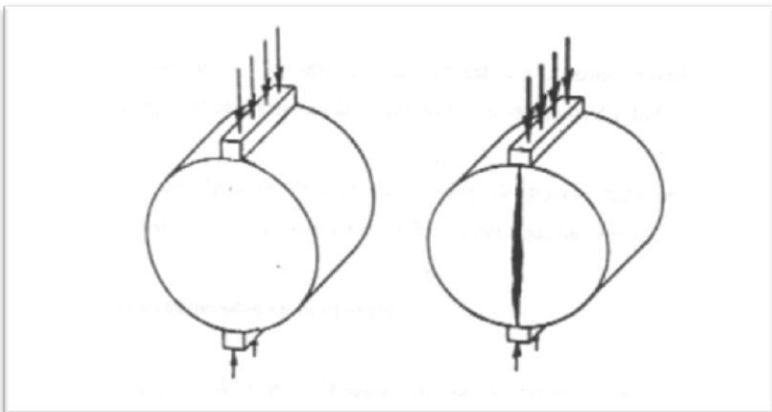


Figura 6. Diagrama de carga y rotura ensayo de tracción indirecta

Fuente: (Villar, 2012)

Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral.

La probeta es cargada a compresión según un plano diametral vertical de la misma. Para poder cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical, se requiere un dispositivo de sujeción de la probeta a través del cual se materialice dicho plano de carga. Como parte de este dispositivo, y en contacto directo con dos generatrices diametralmente opuestas de la probeta, existen dos elementos encargados de evitar la rotura local de la probeta durante el ensayo. Se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, de 12,7 o 25,4 mm de ancho, para que la distribución de tensiones no se altere significativamente y para que los cálculos del módulo de elasticidad y la relación de Poisson se faciliten manteniendo constante el ancho de carga, en lugar de un ancho de carga variable durante el ensayo, que ocurriría con una placa de carga plana.

Por la norma la velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme e igual a 50,8 mm/min, igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall.

Como la respuesta del material es altamente dependiente de la temperatura, la temperatura será una variable más para el ensayo. El ensayo de tracción indirecta tiene validez para materiales de comportamiento fundamentalmente elástico y lineal. La norma indica el uso de una temperatura de 25 ± 1 °C, pero permite el uso de otras temperaturas para analizar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio y sugiere que no se utilicen temperaturas superiores al punto de reblandecimiento del ligante por ser predominante el carácter viscoso de las mezclas.

Como se ha comentado anteriormente, la principal ventaja del método es la sencillez de su metodología. Este es un factor muy valorado por todas aquellas instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, fiable y económica los pavimentos que gestionan. El Departamento de carreteras del Estado de Texas impulsó unos estudios dirigidos por Tomas Kennedy de la Universidad de Austin en los cuales presentó las principales ventajas del ensayo: Es un ensayo relativamente sencillo.

Presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall.

El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.

La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta.

La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.

El coeficiente de variación de los resultados del ensayo es relativamente bajo comparado con otros métodos.

El ensayo puede utilizarse bajo carga estática o dinámica, modificando la prensa en función del tipo de estudio que se realice.

El ensayo de tracción indirecta no sólo da información de la resistencia a tracción indirecta, sino que también nos informa sobre propiedades elásticas resilientes (módulo de elasticidad estático o dinámico en función del tipo de carga aplicada), fisuración térmica, fisuración por fatiga, deformación permanente y puede utilizarse para evaluar el efecto de la humedad en mezclas bituminosas. (Villar, 2012)

2.3.18 El cabello humano. El cabello por definición es la continuación de la piel cornificada, formada por una fibra de queratina y constituida por una raíz y un tallo. El cabello se distribuye por todo el cuerpo humano con la única excepción de las zonas llamadas palmoplantares (es decir las palmas de las manes y las plantas de los pies), el ombligo y las mucosas, también hay que destacar que aunque le llamamos cabello a todo, en realidad cabello es lo que denominamos al que nos aparece en cualquier parte del cuerpo exceptuando al que nos aparece en la cabeza, a ese lo denominamos cabello. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Cantidad. Cada cabello consiste en una raíz que está ubicada en un folículo piloso y un tallo que sobresale por encima de la epidermis, es decir el tallo es la parte visible que vemos del cabello. La zona papilar del cabello está compuesta de tejido conjuntivo y vasos sanguíneos, que es lo que nutre al cabello y posibilita su crecimiento. Cada ser humano adulto puede contar aproximadamente con unos 5.000.000 de cabello, de los cuales entre 100.000 y 150.000 corresponden al cuero cabelludo. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Composición del cabello. El cabello está compuesto de un 85% de queratina, la cual es muy rica en azufre, un elemento muy utilizado en productos cosméticos por sus múltiples

beneficios. El resto de elementos esenciales que componen nuestro cabello son el hierro, calcio, zinc, magnesio, proteínas y el yodo. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Estructura del cabello. Cada cabello crece aproximadamente 4 milímetros por debajo del cuero cabelludo en un pequeño tubo denominado folículo piloso.

Según va creciendo nuestro pelo sale de la raíz, fuera del folículo piloso, a través de la piel, donde puede ser visto perfectamente. La zona de nuestro cabello que podemos observar que forma la fibra de nuestro cabello (denominado eje) realmente esta biológicamente muerta. Esta estructura es muy compleja ya que está formada por una estructura interna o núcleo (denominado corteza) y una serie de capas protectoras en el exterior (denominado cutícula). (Instituto Clinico Capilar, 2012) Véase figura. 7

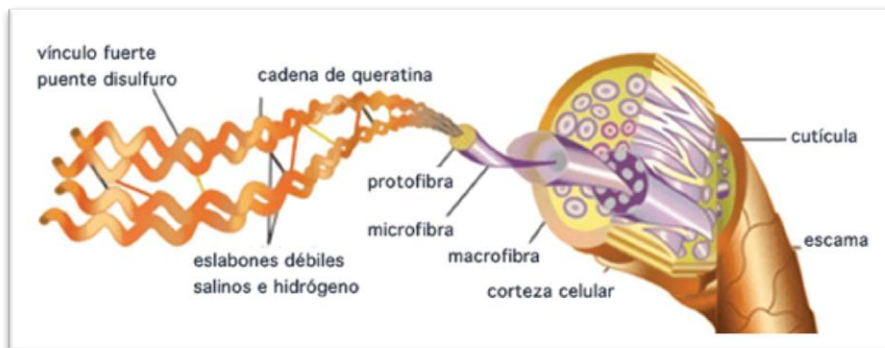


Figura 7. Estructura del cabello humano

Fuente: (Instituto Clinico Capilar, 2012)

2.3.19 Propiedades del cabello. Las propiedades del cabello se deben a la estructura filamentososa de la queratina. Son: elasticidad, resistencia, propiedades eléctricas y permeabilidad. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Elasticidad. Si se estira la fibra del cabello moderadamente, tanto húmeda como seca, y se deja después en reposo, recupera su longitud original. Esta propiedad se mantiene siempre y cuando el grado de estiramiento no supere el 30%, a partir del cual se provoca una deformación permanente de la fibra. En los procedimientos de peluquería nunca se deben realizar estiramientos superiores al 25%. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Resistencia. El pelo es fuerte porque las células cuticulares están unidas entre sí, con una sustancia química compleja que actúa como cemento y las mantiene también unidas al córtex. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

El cabello es resistente a:

La rotura: Un cabello sano puede soportar una carga de 50-100 g. Puede verse alterada por algunos agentes químicos.

El calor. Un cabello resiste temperaturas de 140 °C cuando está seco; cuando está mojado resiste hasta 200 °C.

La putrefacción. La estructura de la queratina y su contenido en azufre hacen el cabello muy resistente.

Los cambios de PH. Cuando la fibra capilar se somete a soluciones ácidas extremas o alcalinas extremas se debilita.

Propiedades eléctricas. El cabello seco no es un buen conductor de la electricidad y presentan una alta resistencia eléctrica. Cuando se aplica peinado o cepillado el cabello acumulan electricidad estática y se repelen entre sí. Para evitar esto se aconseja: (Instituto Clinico Capilar, 2012)

No usar peines de material plástico.

Humedecer ligeramente el cabello.

Utilizar acondicionadores que recubran el cabello.

Tener un protector a la mano para cada ocasión.

No cepillarte el cabello cuando has andado en el sol ya que acumula más electricidad.

Permeabilidad. Es la capacidad que tiene el cabello de absorber líquidos. La absorción de agua produce un hinchamiento de la fibra con un incremento de un 15-20% en el diámetro y solo un 0.5-1% en su longitud. El pelo mojado es un poco más largo que seco y más esponjoso. La absorción de agua y el hinchamiento de la fibra dependen sobre todo del pH del medio. El pH alcalino favorece el hinchamiento de la fibra capilar. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

2.4 Marco contextual

El siguiente proyecto se llevara a cabo en dos fases: la primera será la investigativa con el objetivo de recolectar la información, teorías y conceptos necesarios a fin de obtener el conocimiento adecuado del tema, investigando y estudiando las propiedades del concreto y del cabello humano, y sus respectivos ensayos de laboratorio. Ya la segunda fase se ejecutara de una manera práctica teniendo su inicio en la recolección de cabello humano en las distintas

peluquerías de la ciudad y así contar con la cantidad necesaria para la correcta aplicación y dosificación de las mezclas. Contando con una cantidad prudente de cabello humano nos dirigiremos al laboratorio de suelos de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña ubicado en la antigua sede de INVIAS con el propósito de hacer los respectivos diseños de mezclas para concretos con una resistencia de 21Mpa el cual estará dosificado con fibras de cabello humano al 1%, 2% y 3% del peso total del cemento. Se preparan probetas y vigas de ensayo teniendo una muestra de referencia y también muestras para las diferentes dosificaciones de cabello, paralelamente se llevara a cabo el ensayo de asentamiento con la finalidad de evaluar la manejabilidad del concreto. Las muestras tomadas serán llevadas al tanque de curado ubicado en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en la antigua sede de INVIAS para su respectivo curado durante un tiempo de 7 y 28 días a fin de realizar los ensayos a flexión, compresión y corte indirecto por medio de los equipos que se encuentran en este sitio, los datos obtenidos se evaluaran de una manera objetiva y así poder determinar las propiedades alcanzadas por el concreto al adicionarle este tipo de fibras.

2.5 Marco Legal

Hay un cierto número de normas y de criterios que son utilizados en Colombia para la implementación de diseños de mezclas, ensayos y diseños estructurales, dando una guía y un margen para que los ingenieros civiles puedan realizar sus labores de manera profesional, ética y adecuadamente, dependiendo de muchos aspectos y situaciones que se puedan presentar.

Se utilizaran las siguientes normas y guías en la ejecución del proyecto:

Se utilizara el método de la A.C.I (American Concrete Institute) para el diseño de mezcla del concreto de 21 Mpa y sus dosificaciones en cemento, agregados, agua y cabello humano.

Para calificar la manejabilidad del concreto al adicionarle fibras de cabello humano utilizaremos el ensayo de asentamiento estipulado en la norma (NTC 396).

Para estimar la resistencia a compresión utilizaremos el ensayo de laboratorio contemplado en la norma (NTC 673).

Para estimar la resistencia a flexión utilizaremos el ensayo de laboratorio contemplado en la norma (NTC 2871).

Para estimar la resistencia de corte indirecto utilizaremos el ensayo de laboratorio contemplado en la norma (NTC 722).

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

Según (Sampieri, 2010) Investigar significa llevar a cabo una serie de acciones o estrategias con el fin de descubrir algo. Dado esto dichos actos se deben dirigir a obtener y aplicar nuevos conocimientos, logrando de esta manera explicar una realidad específica o a obtener maneras de resolver cuestiones y situaciones de interés. La investigación es por excelencia la base del conocimiento científico, si bien no toda investigación es de carácter científica de por sí.

Para que un conocimiento pueda ser considerado como científico se hace necesario que la investigación desarrollada se haga de forma sistemática, la cual contenga unos objetivos claros y que estos objetivos puedan ser comprobados y replicados. Los resultados que se obtengan como resultado del proceso investigativo deben ser analizados de una forma objetiva y observando siempre las diversas variables que pueden estar afectando al fenómeno objeto de estudio.

Esta investigación se encamina a obtener resultados concretos dirigidos fundamentalmente a la resolución de problemas. Sus resultados ayudaran a la toma de decisiones. Siendo esta investigación de tipo aplicada.

3.2 Metodología de la investigación

En la historia de la Ciencia han surgido múltiples corrientes de pensamiento tales como el empirismo, el materialismo dialectico, el positivismo, la fenomenología, el estructuralismo, también diversos marcos interpretativos tales como la etnografía y el constructivismo, los cuales han originado diferentes rutas en el proceso de la construcción o búsqueda del conocimiento. (Grinnell, 1997) Argumenta que en términos generales los enfoques (cuantitativo y cualitativo), pueden ser tomados como paradigmas de la investigación científica .

Esta investigación puede ser clasificada como una investigación de tipo aplicada, con un enfoque cualitativo pues se fundamentan de un proceso deductivo, al plantear hipótesis para su posterior comprobación; permitir medir variables que pueden describirse en valores numéricos; emplear el análisis estadístico para responder las preguntas de investigación y pretender generalizar los resultados obtenidos a través de muestras representativas a la población.

3.3 Población

Descripción de la población. Es la colección de datos que corresponde a las características de la totalidad de individuos, objetos, cosas o valores en un proceso de investigación. (administracion, 2010)

La población de la presente investigación está conformada por los especímenes de concreto dividido en concreto patrón de 21 Mpa y el concreto de 21 Mpa con las distintas dosificaciones de cabello humano.

3.4 Muestra

“Es una parte representativa de la población que es seleccionada para ser estudiada, ya que la población es demasiado grande para ser estudiada en su totalidad” Allen Webster.

(administracion, 2010)

La muestra, para la presente investigación, está conformada por el concreto, adicionado con fibra de cabello humano; los cuales serán sometidos a las pruebas de compresión, flexión y corte indirecto de la siguiente manera:

El número de probetas circulares para el ensayo de resistencia a la compresión será de 6 por dosificación.

El número de vigas rectangulares para el ensayo de resistencia a la flexión será de 6 por dosificación.

El número de probetas circulares para el ensayo de resistencia a la tracción o corte indirecto será de 6 por dosificación.

Número de elementos de evaluación muestra es: 72

Tabla 2.*Distribución de la muestra a estudiar*

DISTRIBUCION DE LA MUESTRA A ENSAYAR								
PRUEBA	Concreto Patrón		Concreto + 1% de Fibra de Cabello Humano		Concreto + 2% de Fibra de Cabello Humano		Concreto + 3% de Fibra de Cabello Humano	
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
Compresión	3	3	3	3	3	3	3	3
Flexión	3	3	3	3	3	3	3	3
Corte Indirecto	3	3	3	3	3	3	3	3

PRUEBA	TOTAL
Pruebas a compresión	24
Pruebas a flexión	24
Pruebas a corte indirecto	24

TOTAL: 72

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Dentro del estudio del tamaño de la muestra se tuvo en cuenta una serie de parámetros como lo fueron la duración del curado de los cilindros y vigas de 7 y 28 días, además de una muestra representativa arbitraria de 3 probetas por dosificación, obteniendo el siguiente resultado:

numero de ensayos

$$= (\textit{parametro duracion de curado})^1 * (\textit{muestra representativa})^1$$

numero de ensayos = $2^1 * 3^1 = 6$ Especimenes por tipo de ensayo

Siendo 3 especímenes para 7 días de curado y otro 3 especímenes por 28 días de curado.

El resultado anterior está respaldado por lo establecido en las normas NTC (673, 2871, 722) en el capítulo: **Precisión y Sesgo.**

Capítulo 4. Presentación de resultados

4.1 Conocer las distintas propiedades y características del cabello humano para ser implementado como fibra de refuerzo (resistencia, estructura)

4.1.1 El cabello humano. El cabello por definición es la continuación de la piel cornificada, formada por una fibra de queratina y constituida por una raíz y un tallo. El cabello se distribuye por todo el cuerpo humano con la única excepción de las zonas llamadas palmoplantares (es decir las palmas de las manes y las plantas de los pies), el ombligo y las mucosas, también hay que destacar que aunque le llamamos cabello a todo, en realidad cabello es lo que denominamos al que nos aparece en cualquier parte del cuerpo exceptuando al que nos aparece en la cabeza, a ese lo denominamos pelo. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

4.1.2 Cantidad. Cada pelo consiste en una raíz que está ubicada en un folículo piloso y un tallo que sobresale por encima de la epidermis, es decir el tallo es la parte visible que vemos del pelo. La zona papilar del pelo está compuesta de tejido conjuntivo y vasos sanguíneos, que es lo que nutre al pelo y posibilita su crecimiento. Cada ser humano adulto puede contar aproximadamente con unos 5.000.000 de pelo, de los cuales entre 100.000 y 150.000 corresponden al cuero cabelludo. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

4.1.3 Composición del cabello. El cabello está compuesto de un 85% de queratina, la cual es muy rica en azufre, un elemento muy utilizado en productos cosméticos por sus múltiples beneficios. El resto de elementos esenciales que componen nuestro cabello son el hierro, calcio, zinc, magnesio, proteínas y el yodo. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

4.1.4 Estructura del cabello. Cada cabello crece aproximadamente 4 milímetros por debajo del cuero cabelludo en un pequeño tubo denominado folículo piloso.

Según va creciendo nuestro pelo sale de la raíz, fuera del folículo piloso, a través de la piel, donde puede ser visto perfectamente. La zona de nuestro cabello que podemos observar que forma la fibra de nuestro cabello (denominado eje) realmente esta biológicamente muerta. Esta estructura es muy compleja ya que está formada por una estructura interna o núcleo (denominado corteza) y una serie de capas protectoras en el exterior (denominado cutícula). (Instituto Clinico Capilar, 2012) Véase figura. 8

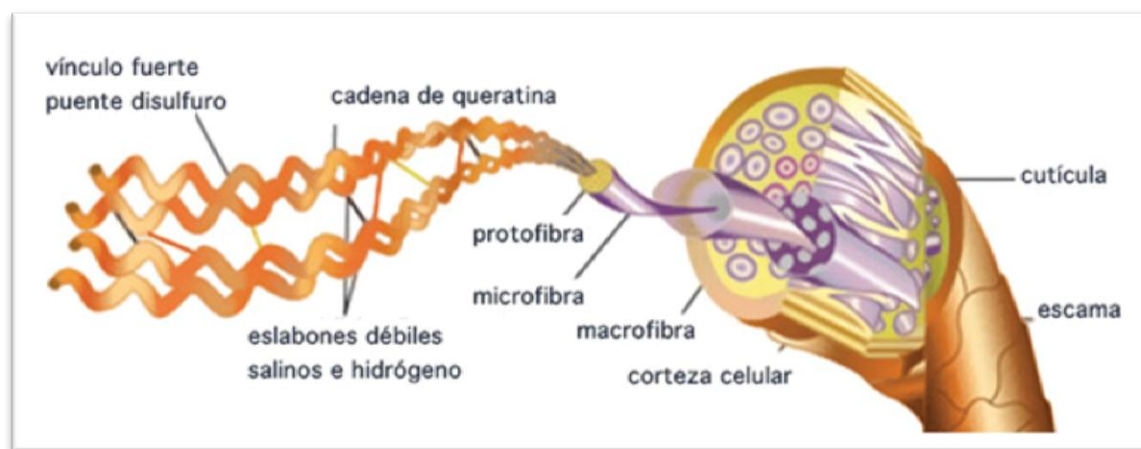


Figura 8. Estructura del cabello humano

Fuente: (Instituto Clinico Capilar, 2012)

4.1.5 Propiedades del cabello. Las propiedades del cabello se deben a la estructura filamentosa de la queratina. Son: elasticidad, resistencia, propiedades eléctricas y permeabilidad. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Elasticidad. Si se estira la fibra del cabello moderadamente, tanto húmeda como seca, y se deja después en reposo, recupera su longitud original. Esta propiedad se mantiene siempre y cuando el grado de estiramiento no supere el 30%, a partir del cual se provoca una deformación permanente de la fibra. En los procedimientos de peluquería nunca se deben realizar estiramientos superiores al 25%. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

Resistencia. El pelo es fuerte porque las células cuticulares están unidas entre sí, con una sustancia química compleja que actúa como cemento y las mantiene también unidas al córtex. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

El cabello es resistente a:

La rotura: Un cabello sano puede soportar una carga de 50-100 g. Puede verse alterada por algunos agentes químicos.

El calor. Un cabello resiste temperaturas de 140 °C cuando está seco; cuando está mojado resiste hasta 200 °C.

La putrefacción. La estructura de la queratina y su contenido en azufre hacen el cabello muy resistente.

Los cambios de PH. Cuando la fibra capilar se somete a soluciones ácidas extremas o alcalinas extremas se debilita.

4.1.6 Propiedades eléctricas. El cabello seco no es un buen conductor de la electricidad y presentan una alta resistencia eléctrica. Cuando se aplica peinado o cepillado el cabello acumulan electricidad estática y se repelen entre sí. Para evitar esto se aconseja: (Instituto Clinico Capilar, 2012)

No usar peines de material plástico.

Humedecer ligeramente el cabello.

Utilizar acondicionadores que recubran el cabello.

Tener un protector a la mano para cada ocasión.

No cepillarte el cabello cuando has andado en el sol ya que acumula más electricidad.

Permeabilidad. Es la capacidad que tiene el cabello de absorber líquidos. La absorción de agua produce un hinchamiento de la fibra con un incremento de un 15-20% en el diámetro y solo un 0.5-1% en su longitud. El pelo mojado es un poco más largo que seco y más esponjoso. La absorción de agua y el hinchamiento de la fibra dependen sobre todo del pH del medio. El pH alcalino favorece el hinchamiento de la fibra capilar. (Instituto Clinico Capilar, 2012)

4.2 Determinar el PH del cabello humano por medio de ensayo de laboratorio

Para tener un mejor panorama de la resistencia del cabello se utilizaron distintas soluciones acidas con diferente (pH), con el fin de establecer el comportamiento del cabello humano al ser sometidos a acidez y alcalinidad altas, evaluando las variaciones en su estructura, color y resistencia.

Las soluciones seleccionadas para dicho estudio fueron:

Vino tinto: esta solución posee un pH entre 3.3 y 3.6

Orina humana: esta solución posee un pH entre 4.6 y 8.0

Vinagre: esta solución posee un pH entre 2.4 y 3.4

Detergente líquido (límpido Clorox): esta solución posee un pH de 10.0

Soda caustica: esta solución posee un pH de 14

Se realizó la comparación del comportamiento del cabello en las distintas soluciones, además se tuvo en cuenta el pH del cemento el cual ronda el valor de 12.5, y de esta manera dar valores más cercanos a la realidad.

4.2.1 Definición de pH. Es una forma en la que se expresa la acidez o alcalinidad de una sustancia. Esto se hace a partir de la concentración molar que ella tenga. Es entonces una unidad de medida para expresar y comprender la concentración de hidrógeno.

Realizando estudios en el agua, se logró determinar una escala que va desde 0 hasta 14. A partir de ella se estableció entonces que los números menores a 7 son correspondientes a la acidez. Aquellos valores mayores a 7 expresan la alcalinidad de la sustancia y el 7 demuestra un valor neutro. (Queesel/la...?)

En la tabla 3, se describe los resultados obtenidos al introducir el cabello en las distintas soluciones durante el periodo de 7 días.

Se pudo observar la variación en la estructura del cabello al ser sometido a soluciones alcalinas y teniendo un comportamiento normal en soluciones acidas.

Tabla 3.

Ensayo del cabello en diferentes pH.

Solución	Ph	Clasificación según el pH	Descripción del cabello antes de ser introducido en la solución	Descripción del cabello después de 7 días de ser introducido en la solución.
vinagre	3.0	Acido	Cabello natural, color natural, estructuralmente sano.	El cabello conservo su color natural y su estructura sana.
Vino	3.5	Acido	Cabello natural, color natural, estructuralmente sano.	El cabello conservo su color natural y su estructura sana.
Orina humana	5.0	Acido	Cabello natural, color natural, estructuralmente sano.	El cabello conservo su color natural y su estructura sana.
Límpido	10.0	Alcalino	Cabello natural, color natural, estructuralmente sano.	Se observó degradación en el color y en la estructura del cabello.
Soda caustica	14.0	Alcalino	Cabello natural, color natural, estructuralmente sano.	Se observó una degradación total del cabello, quedando totalmente disuelto en la solución.

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio evaluando la resistencia del cabello a diferentes pH.

Fuente: (UFPSO, 2018)

En las siguientes imágenes se logra apreciar los cambios en la estructura y color del cabello humano al ser sometido a diferentes soluciones ácidas y alcalinas durante un tiempo de 7 días.



Figura 9. Cabello sin solución de vinagre.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 10. Cabello 7 días después en solución de vinagre.
Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 11. Cabello sin solución de vino.
Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 12. Cabello 7 días después en solución de vino.
Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 13. Cabello sin solución de orina humana.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 14. Cabello 7 días después en solución de orina humana.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 1. Cabello sin solución de límpido.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 16. Cabello 7 días después en solución de límpido.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 17. Cabello sin solución de soda caustica.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)



Figura 182. Cabello 7 días después en solución de soda caustica.

Fuente: (Autores del proyecto 2018)

4.3 Calcular la resistencia del concreto a compresión, flexión y corte indirecto adicionando fibras de cabello humano mediante ensayos de laboratorio contemplados en la norma (NTC 550, NTC 663, NTC 2871, NTC 722)

4.3.1 Resistencia del concreto a compresión. El ensayo para determinar la resistencia a compresión se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander, los resultados de los ensayos fueron suministrados en un formato, véase figura 19, y se abrevio la muestra del mismo en el informe para poder visualizar de manera más detallada las tablas y graficas del ensayo.


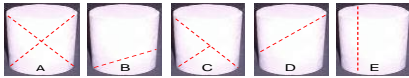
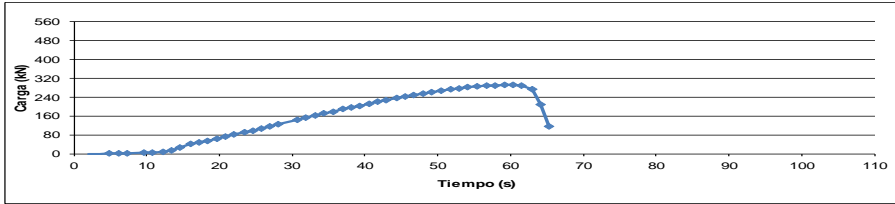


UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011
Dependencia	Aprobado	Revisión	Pág.
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENTO	A	1(1)
COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)			
		Ensayo No.: 9168	
		Fecha de Ensayo: 8/11/2017	
CLIENTE: UFPSO			Muestra número: 01 CIL
OBRA: Concreto Corriente			F. Mustreo: 30/10/2017
TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente			F. Recepción: 8/11/2017
DESCRIPCION:			Slump (cm): 5
LOCALIZACION:			
Resistencia Esperada: 21 Mpa	Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)		
Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	310		
Diametro (mm)	152		
Area (mm ²)	18146		
Edad (días)	9		
Carga (kN)	290,1		
Resistencia Real (Mpa)	15,99		
Desarrollo (%)	76,12		
Tipo de Falla			
 Tipo de fallas			
			
Observaciones: Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
CEMENTO:			
ARENA:			
TRITURADO:			
Laboratorista: Iván Darío Bustos Arias	Revisó: Romel Gallardo I.C. Ms.C.		
Máquina de ensayos: Pinzuar Ltda.	Rango: 1000 kN	No. se serie: 109	Fecha de Calibración: 10/08/2017
 VIA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL OCAÑA N. DE S. Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088 www.ufps.edu.co			

Figura 19. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.2 Concreto patrón. Este concreto se realizó para tener una muestra representativa de concreto sin incluirle cabello humano, esperando una resistencia de 21 Mpa, evaluándose a los 7 y 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayos a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 20. Teniendo una resistencia real de 18 Mpa.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	294		
Diametro (mm)	152		
Area (mm ²)	18146		
Edad (días)	9		
Carga (kN)	326,7		
Resistencia Real (Mpa)	18,00		
Desarrollo (%)	85,73		
Tipo de Falla			

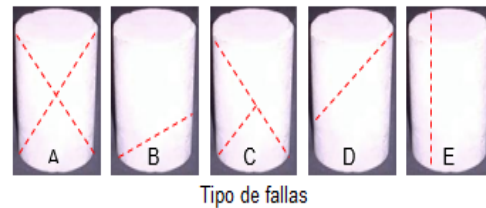


Figura 203. Resultado ensayo a compresión del concreto patrón cilindro

Fuente. (UFPSO, 2018)

También el ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen durante el tiempo del ensayo, siguiendo la deformación de la probeta al aplicar la carga, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s) y arrojando la curva que caracteriza este tipo de materiales. figura 21.

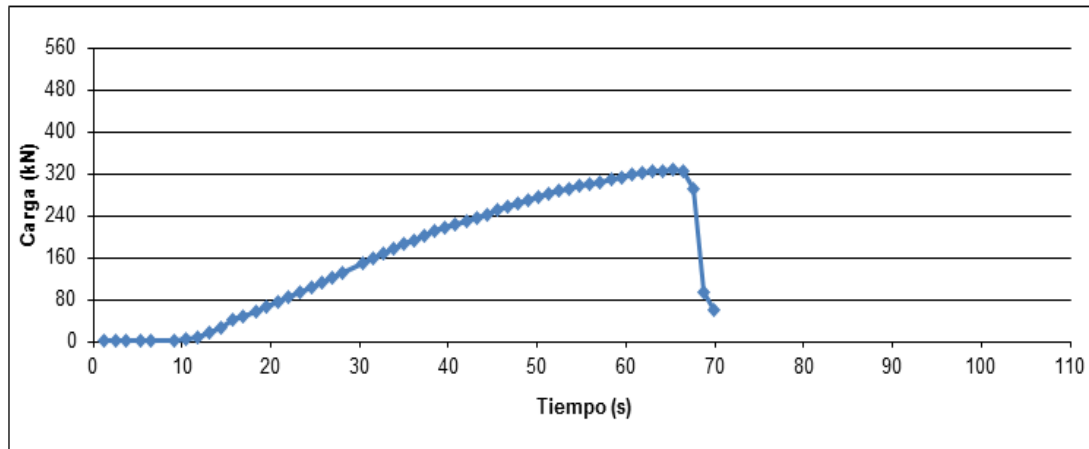


Figura 21. Gráfica del ensayo a compresión del concreto patrón.

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, mostrada en el formato de ensayo del laboratorio, teniendo de manera visual la forma en que la probeta fallo siendo esta del tipo C. figura 22.



Figura 22. Falla del cilindro concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. En la figura 23. Observamos el resultado del ensayo a compresión a los 28 días, obteniendo como resistencia más alta 24,62 Mpa.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	305		
Diametro (mm)	152		
Area (mm ²)	18146		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	446,8		
Resistencia Real (Mpa)	24,62		
Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
Desarrollo (%)	117,26		
Tipo de Falla			

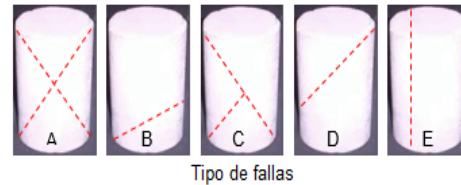


Figura 234. Resultado del ensayo a compresión del concreto patrón cilindro

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una grafica donde se observa el comportamiento del espécimen durante el tiempo del ensayo, siguiendo la deformación de la probeta al aplicar la carga, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s) y arrojando la curva que caracteriza este tipo de materiales. figura 24.

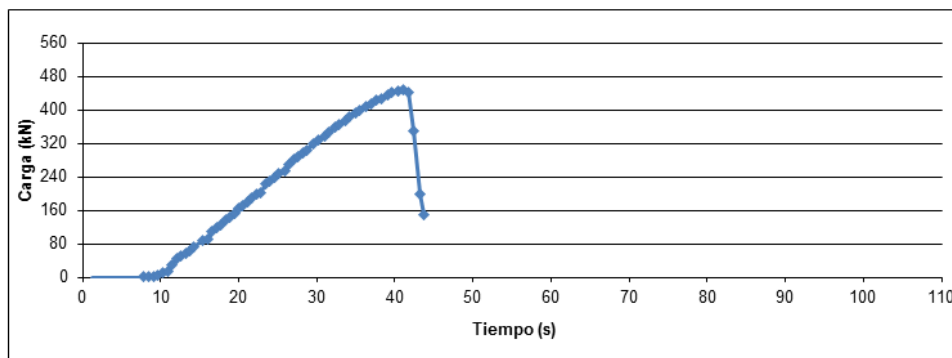


Figura 24. Gráfica del ensayo a compresión del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 25. Podemos observar con más detalle el tipo de falla presentado por el espécimen, siendo esta del tipo D.

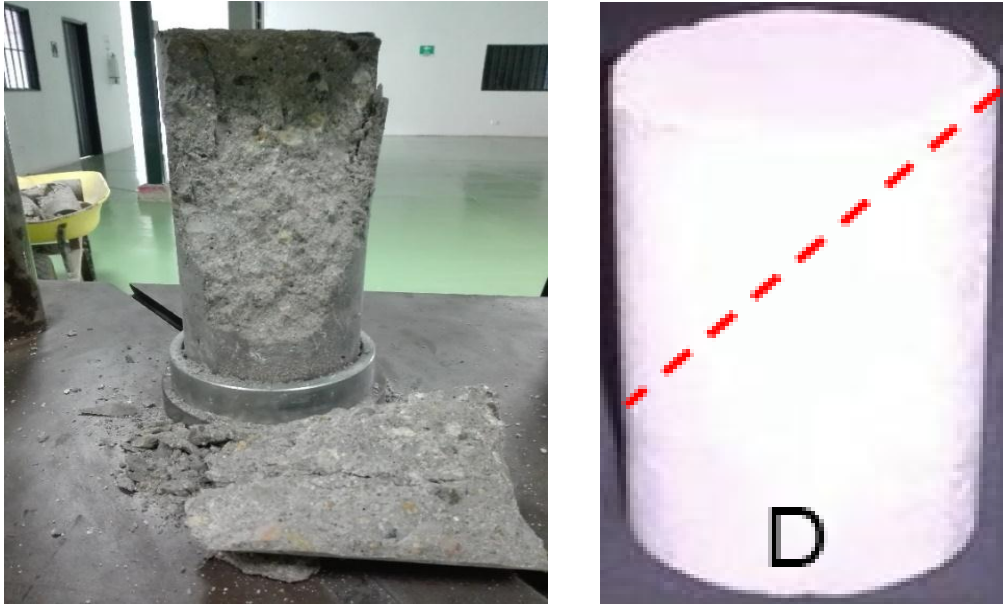


Figura 25. Concreto patrón cilindro

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.3 Concreto con 1% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, esperando también una resistencia de 21 Mpa. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 26.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	297		
Diametro (mm)	148		
Area (mm ²)	17203		
Edad (días)	8		
Carga (kN)	269,0		
Resistencia Real (Mpa)	15,63		
Desarrollo (%)	74,45		
Tipo de Falla			

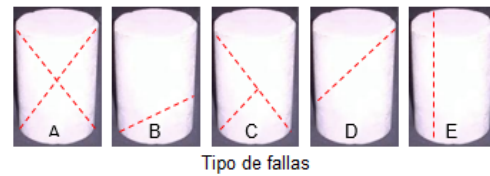


Figura 26. Resultado del ensayo a compresión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo mostro una grafica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 27.

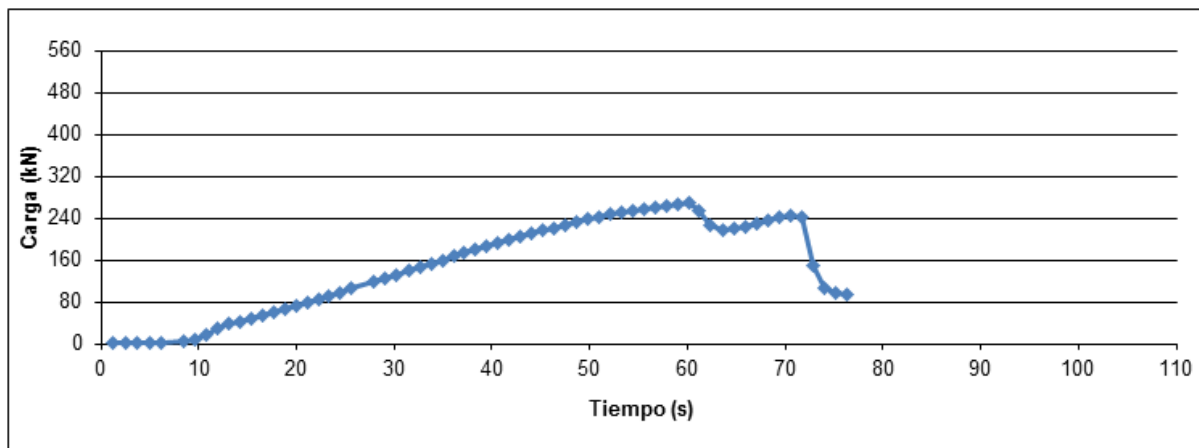


Figura 27. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también mostro el tipo de falla presentada por el cilindro, siendo esta del tipo D. figura 28.

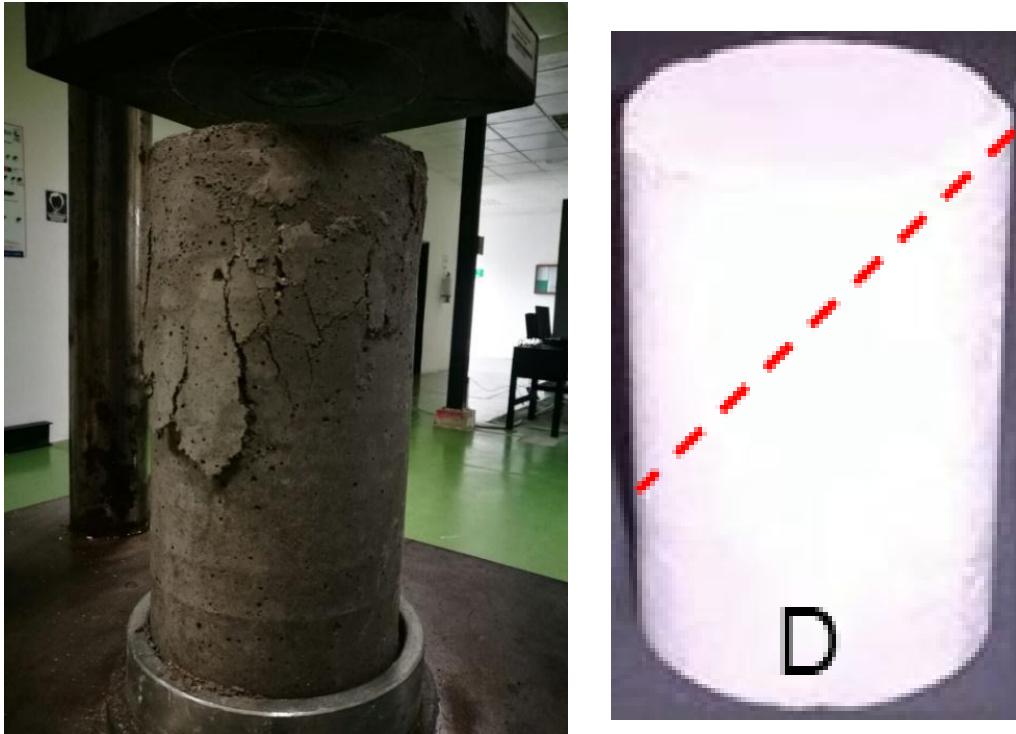


Figura 28. Cilindro de Concreto 1% de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. En la figura 29. Observamos el resultado del ensayo a compresión a los 28 días, obteniendo como resistencia máxima 20,39 Mpa.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	305		
Diametro (mm)	150		
Area (mm ²)	17672		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	360.2		
Resistencia Real (Mpa)	20,39		
Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
Desarrollo (%)	97,07		
Tipo de Falla			

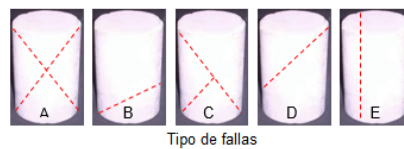


Figura 29. Resultado del ensayo a compresión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En el ensayo se obtuvo una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen durante el tiempo del ensayo, siguiendo la deformación de la probeta al aplicar la carga, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s) y arrojando la curva que caracteriza este tipo de materiales. figura 30.

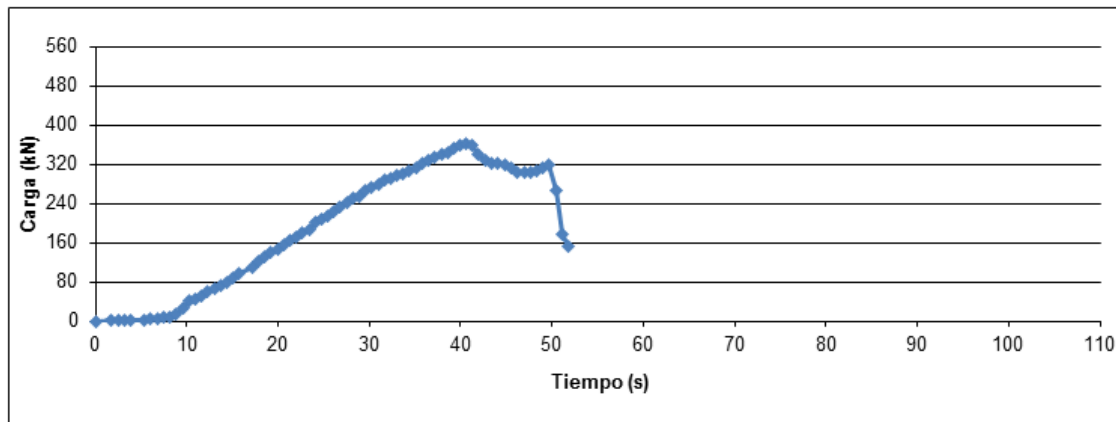


Figura 30. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también nos permitió observar el tipo de falla presentada por el cilindro, mostrada en el formato de ensayo del laboratorio, siendo esta del tipo de falla D. figura 31.

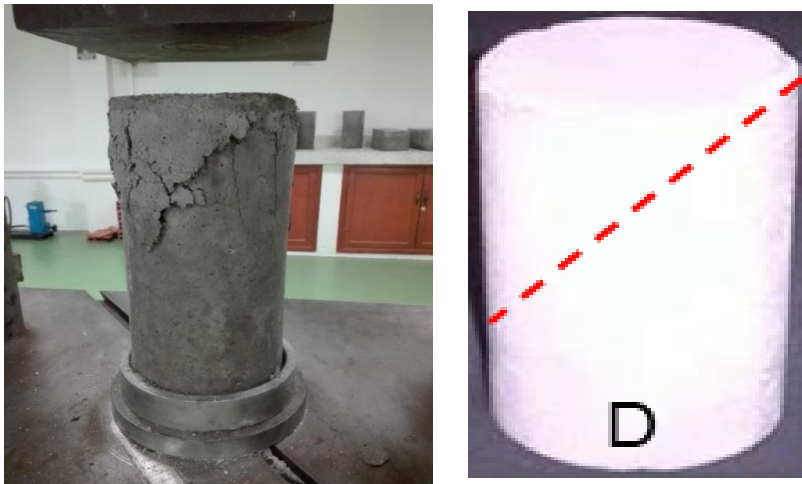


Figura 31. Falla presentada en el espécimen de concreto 1% cilindro

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.4 Concreto con 2% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 2% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, esperando también una resistencia de 21 Mpa o mayor a ella. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los cilindros.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 32. Teniendo como resistencia máxima 10,92 Mpa.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	296		
Diametro (mm)	151		
Area (mm ²)	17908		
Edad (días)	7		
Carga (kN)	195,6		
Resistencia Real (Mpa)	10,92		
Desarrollo (%)	52,00		
Tipo de Falla			

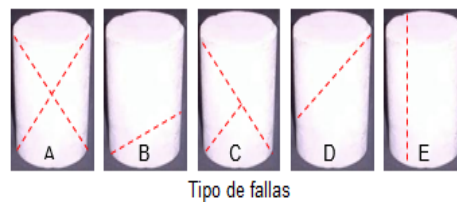


Figura 32. Resultado del ensayo a compresión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2017)

El ensayo arrojó una grafica donde se observa el comportamiento del cilindro durante el ensayo en la maquina universal, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 33.

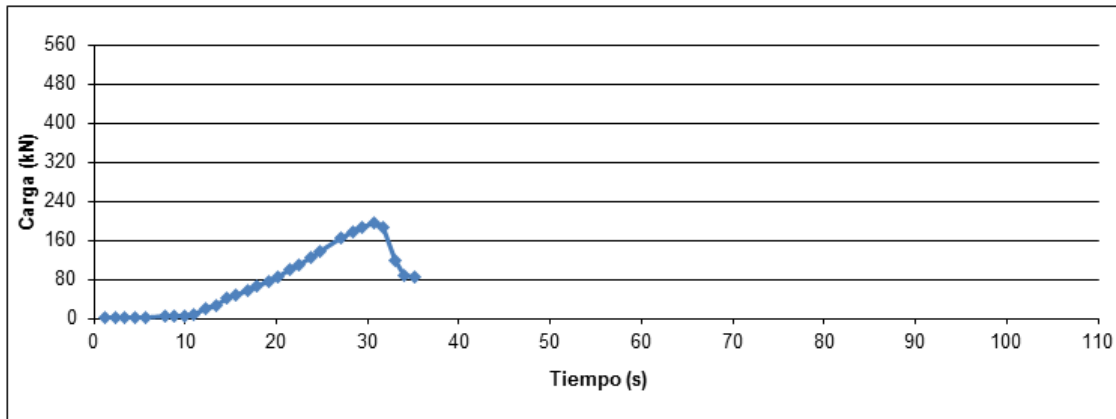


Figura 33. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también mostro el tipo de falla presentada por el cilindro, siendo esta del tipo D según nos muestra el formato de ensayo de la universidad francisco de paula Santander Ocaña.

Figura 34.

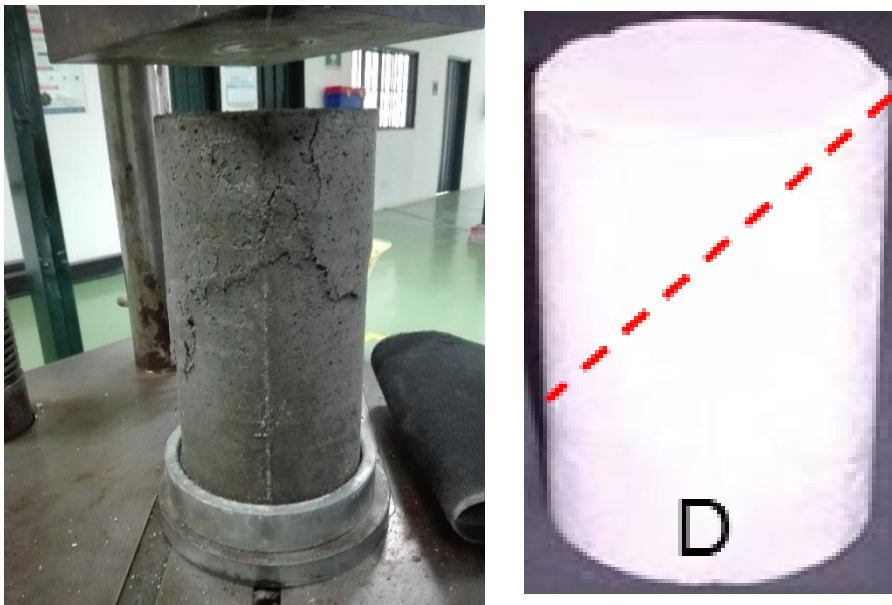


Figura 34. Falla presentada por el cilindro de Concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. En la figura 35. Observamos el resultado del ensayo a compresión a los 28 días para el concreto con 2% de cabello humano, obteniendo como resistencia máxima 17,53 Mpa.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	306		
Diametro (mm)	151		
Area (mm ²)	17908		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	313,9		
Resistencia Real (Mpa)	17,53		
Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
Desarrollo (%)	83,48		
Tipo de Falla			

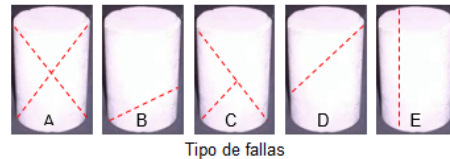


Figura 35. Resultado del ensayo a compresión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una grafica donde se observa el comportamiento del cilindro, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s), figura 36.

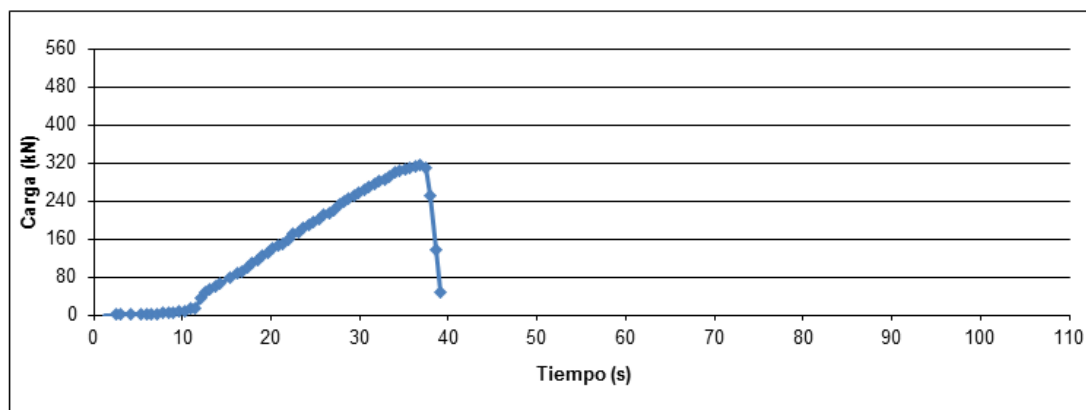


Figura 36. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 2%.

Fuente: (UFPSO, 2018)

Se logró determinar el tipo de falla presentada por el cilindro, siendo esta del tipo D.

figura 37.

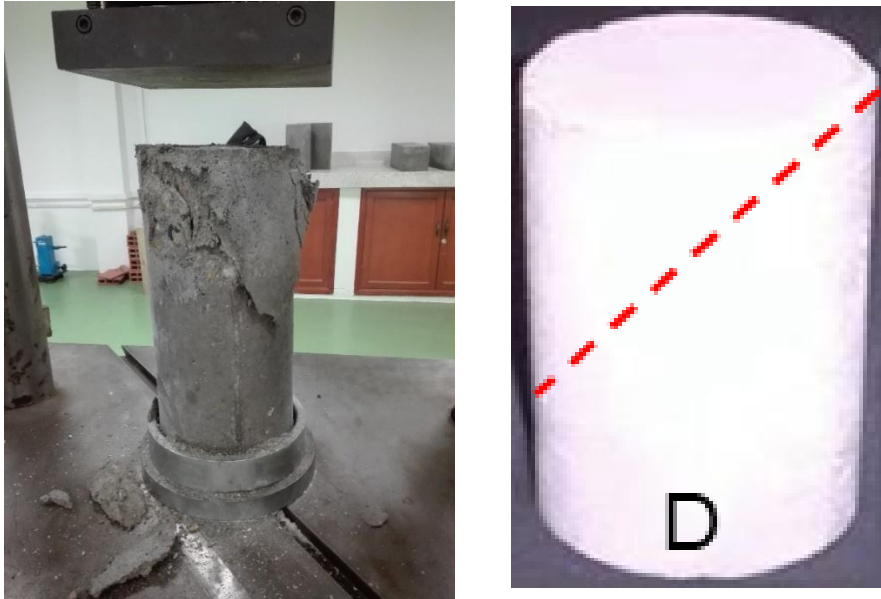


Figura 37. Falla presentada por el cilindro de Concreto con 2% de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.5 Concreto con 3% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, esperando también una resistencia de 21 Mpa o mayor a ella. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 38.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	293		
Diametro (mm)	152		
Area (mm ²)	18146		
Edad (días)	9		
Carga (kN)	216,1		
Resistencia Real (Mpa)	11,91		
Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
Desarrollo (%)	56,70		
Tipo de Falla			

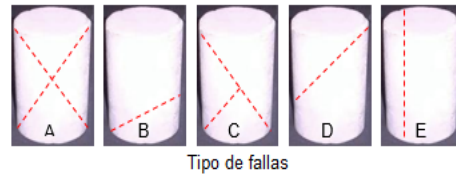


Figura 38. Resultado del ensayo a compresión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del especimenes, los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 39.

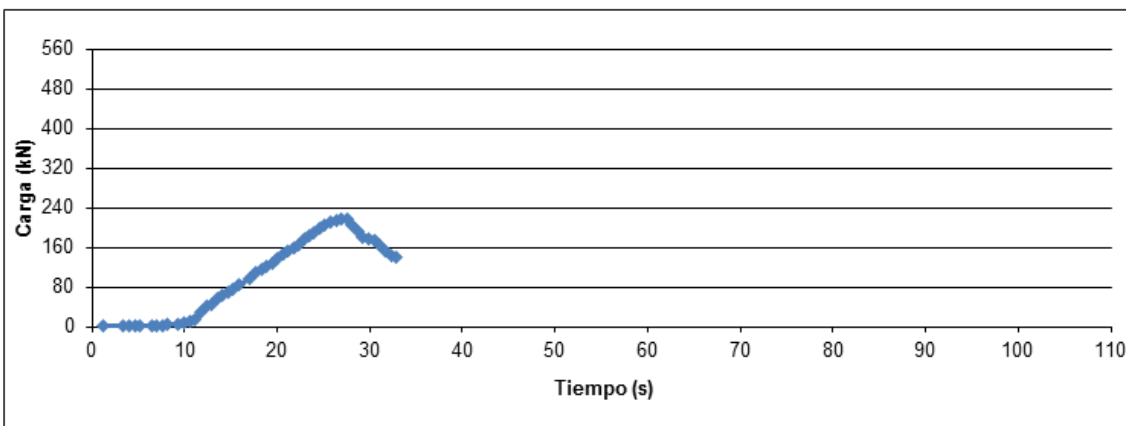


Figura 39. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también mostro el tipo de falla presentada por el cilindro, siendo esta del tipo D. figura 40.

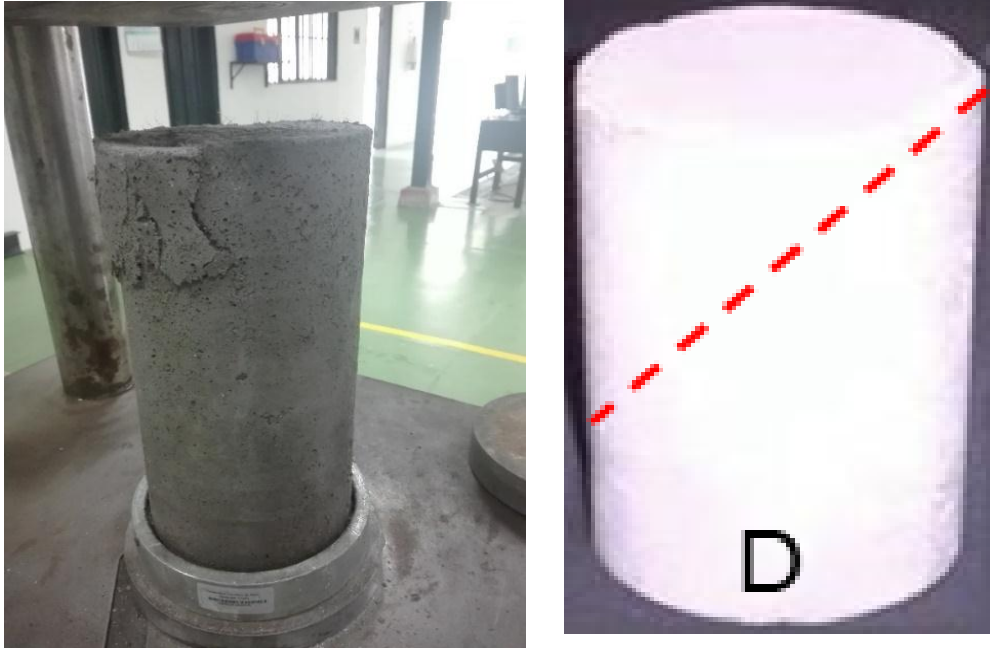


Figura 40. Falla presentada por la probeta de Concreto con 3% de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 41.

Resistencia Esperada: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	300		
Diametro (mm)	151		
Area (mm ²)	17908		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	304,2		
Resistencia Real (Mpa)	16,99		
Resistencia proyectada a los 28 días Mpa			
Resistencia (psi):			
Desarrollo (%)	80,88		
Tipo de Falla			

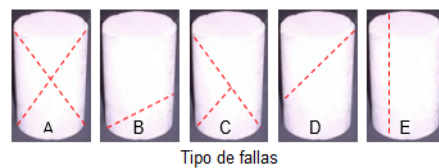


Figura 41. Resultado del ensayo a compresión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del espécimen durante el tiempo del ensayo, siguiendo la deformacion de la probeta al aplicar la carga, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s) y arrojando la curva que caracteriza este tipo de materiales. figura 42.

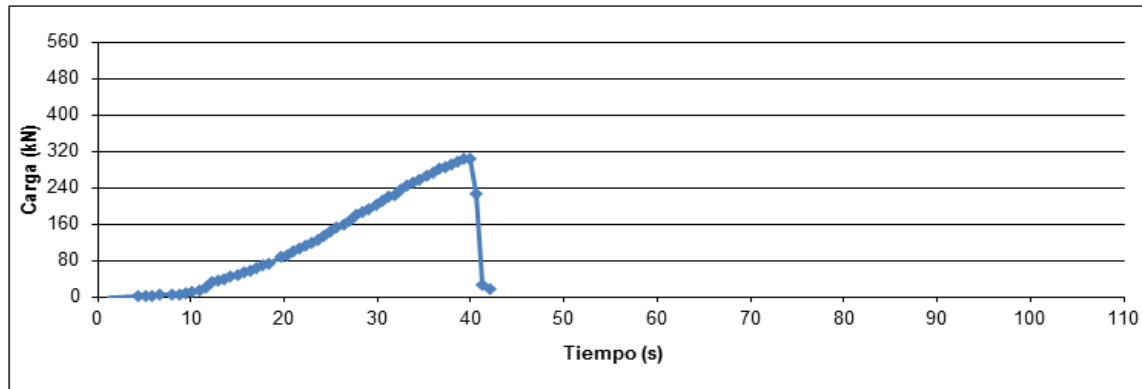


Figura 42. Gráfica del ensayo a compresión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también mostro el tipo de falla presentada por el cilindro, siendo esta del tipo E. figura 43.

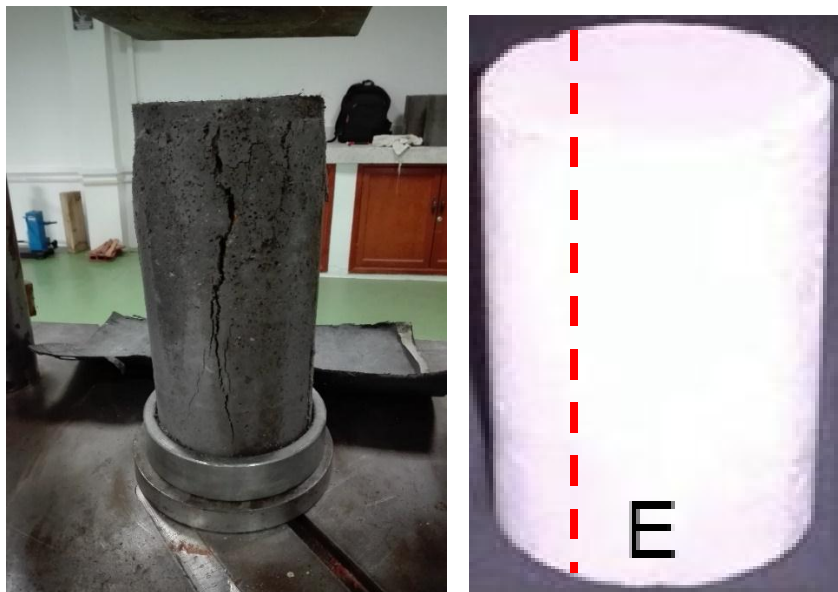



Figura 43. Falla del cilindro de Concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.6 Resistencia del concreto a la tracción o corte indirecto. El ensayo para determinar la resistencia a la tracción o corte indirecto se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander, los resultados de los ensayos fueron suministrados en un formato (figura 44), y se abrevio la muestra del mismo en el informe para poder visualizar de manera más detallada las tablas y graficas del ensayo.



LABORATORIO DE MECANICA DE SOLIDOS UFPS Ocaña

Formato de registro de ensayos	Rev 0
Código: Formatos-004	2010-08-02

TRACCIÓN INDIRECTA EN CILINDROS NORMALES DE CONCRETO (NTC 722 -ASTM C-496)

CLIENTE: UFPSO

OBRA: Concreto Corriente

TIPO DE MEZCLA: Concreto Corriente

DESCRIPCIÓN: _____

LOCALIZACIÓN: _____

Ensayo No.: 9171

Fecha de Ensayo 8/11/2017

Muestra número: 1

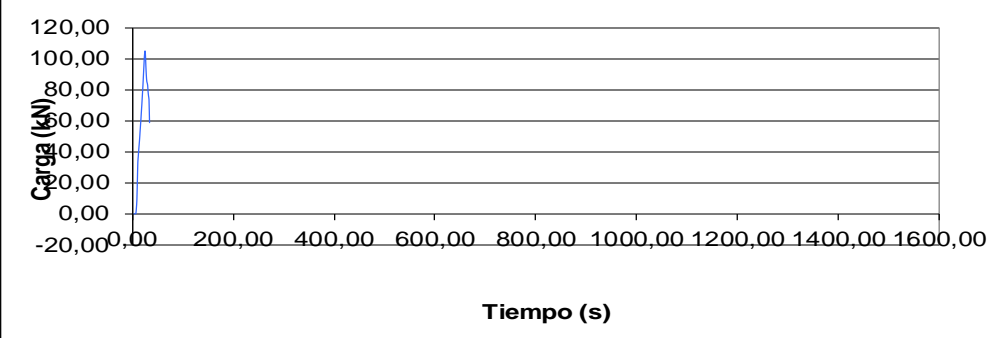
F. Mustreo: 30/10/2017

F. Recepción: 8/11/2017

Slump (cm): 5

Resistencia Nominal: 21 Mpa Vel Ensayo: 0,25 (MPa/s)

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	294		
Diametro (mm)	149		
Area (mm ²)	17437		
Edad (días)	9	9	9
Carga (kN)	104,7		
Resistencia Real (Mpa)	6,01		
Desarrollo	28,60		
Tipo de Falla			



Observaciones: _____

Observaciones: _____

Observaciones: _____

Laboratorista: Iván Darío Bustos A.

Jefe de Laboratorio: Romel Gallard

Máquina de ensayos: Pinzuar Ltda. Rango: 1000 kN No. se serie: 109 Calibración: 13/07/2017

Figura 44. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto patrón. Este concreto se realizó para tener una muestra representativa de concreto sin incluirle cabello humano, evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción se puede observar en la figura 45.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m³)			
Altura (mm)	294		
Diametro (mm)	149		
Area (mm²)	17437		
Edad (días)	9	9	9
Carga (kN)	136,4		
Resistencia Real (Mpa)	7,83		
Desarrollo	37,26		
Tipo de Falla			

Figura 45. Resultado del ensayo a tracción del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del especimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 46.

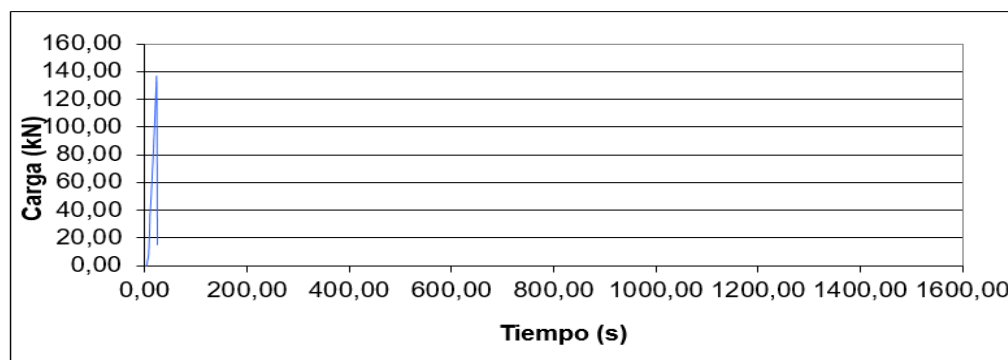


Figura 46. Gráfica del ensayo a tracción del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 47. Se puede apreciar la falla del cilindro al ser sometido a carga en posición horizontal.



Figura 47. Concreto patrón al ser sometido a corte indirecto.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a compresión se puede observar en la figura 48

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	299		
Diametro (mm)	151		
Area (mm ²)	17908		
Edad (días)	28	28	28
Carga (kN)	164,0		
Resistencia Real (Mpa)	9,16		
Desarrollo	43,60		
Tipo de Falla			

Figura 48. Resultado del ensayo a tracción del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 49.

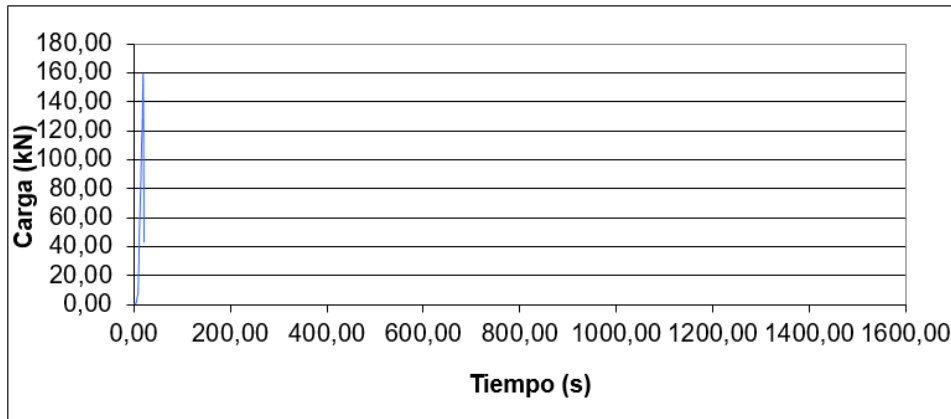


Figura 49. Gráfica del ensayo a tracción del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo también mostro el tipo de falla presentada por el cilindro al ser sometido a corte indirecto. Figura 50.



Figura 50. Concreto patrón cilindro al ser sometido a corte indirecto.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 1% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción se puede observar en la figura 51.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	293,5		
Diametro (mm)	150		
Area (mm ²)	17672		
Edad (días)	8	8	8
Carga (kN)	105,4		
Resistencia Real (Mpa)	5,96		
Desarrollo	28,40		
Tipo de Falla			

Figura 51. Resultado del ensayo a tracción del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del especimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 52

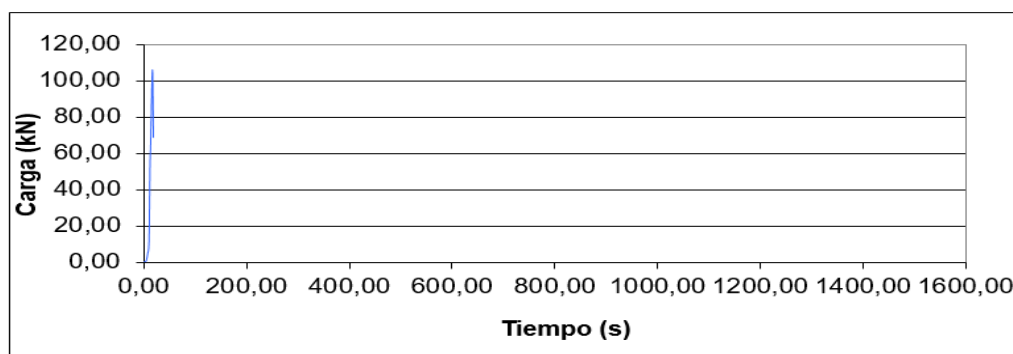


Figura 52. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 53. Podemos apreciar la falla presentada al realizar el ensayo de corte indirecto.



Figura 53. Falla presentada al realizar el ensayo de las probetas de Concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción se puede observar en la figura 54. Obteniendo una carga máxima de 7,85 Mpa.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m³)			
Altura (mm)	307		
Diametro (mm)	149		
Area (mm²)	17437		
Edad (días)	28	28	28
Carga (kN)	136,9		
Resistencia Real (Mpa)	7,85		
Desarrollo	37,39		
Tipo de Falla			

Figura 54. Resultado del ensayo a tracción del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del especimen, teniendo los valores de carga aplicada (kn) vs tiempo (s). Figura 55

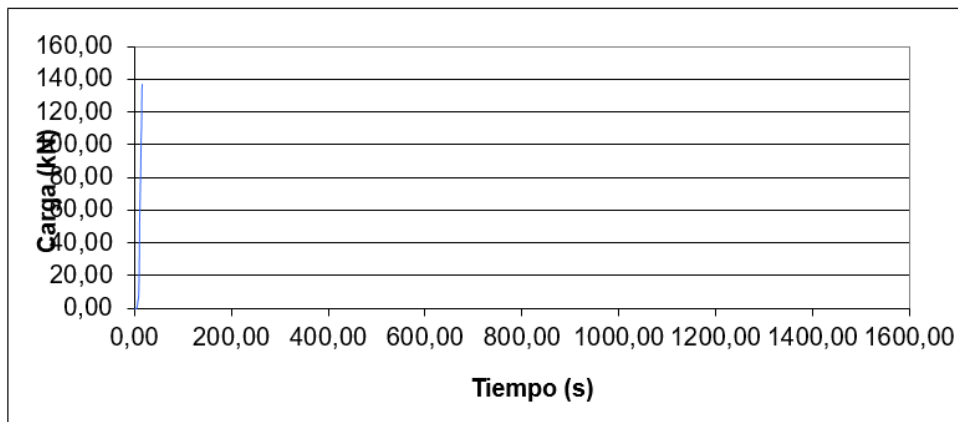


Figura 55. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 56. Podemos apreciar de forma más detallada la falla presentada en el espécimen en el ensayo de corte indirecto.



Figura 56. Cilindro de Concreto 1% de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 2% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 2% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción se puede observar en la figura 57. Obteniendo una carga máxima de 5,48 Mpa.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	295		
Diametro (mm)	150		
Area (mm ²)	17672		
Edad (días)	7	7	7
Carga (kN)	96.9		
Resistencia Real (Mpa)	5.48		
Desarrollo	26,10		
Tipo de Falla			

Figura 57. Resultado del ensayo a tracción del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una grafica donde se observa el comportamiento del especimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 58

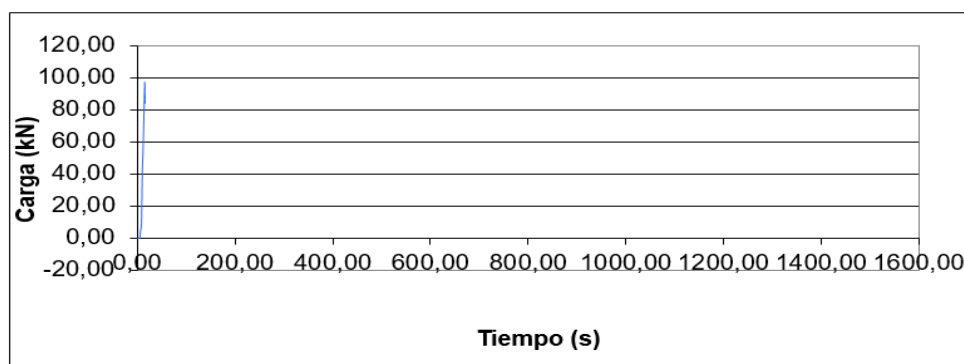


Figura 58. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 2% cilindro #3

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 59. Podemos apreciar de forma más detallada la falla presentada por el cilindro al ser sometido al ensayo a tracción.



Figura 59. Cilindro de Concreto con adición del 2% de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción de las probetas a los 28 días de fraguado se puede observar en la figura 60.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m³)			
Altura (mm)	293		
Diametro (mm)	150		
Area (mm²)	17672		
Edad (días)	28	28	28
Carga (kN)	94,7		
Resistencia Real (Mpa)	5,36		
Desarrollo	25,53		
Tipo de Falla			

Figura 60. Resultado del ensayo a tracción del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del especimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 61.

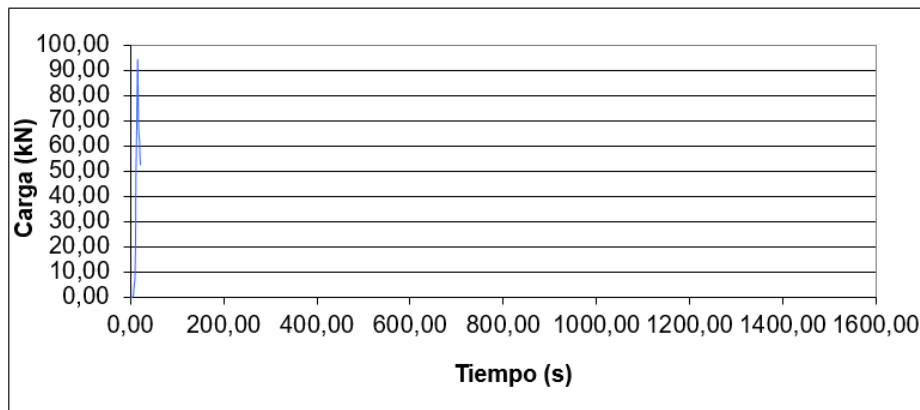


Figura 61. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 62 podemos apreciar la falla presentada en el espécimen al ser sometido al ensayo de tracción indirecta.



Figura 62. Cilindro de Concreto con 2% de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 3% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a tracción con 3% de adición de cabello humano se puede observar en la figura 63. Con una resistencia máxima de 5,71 Mpa.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m³)			
Altura (mm)	305		
Diametro (mm)	152		
Area (mm²)	18146		
Edad (días)	9	9	9
Carga (kN)	103,6		
Resistencia Real (Mpa)	5,71		
Desarrollo	27,19		
Tipo de Falla			

Figura 63. Resultado del ensayo a tracción del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 64

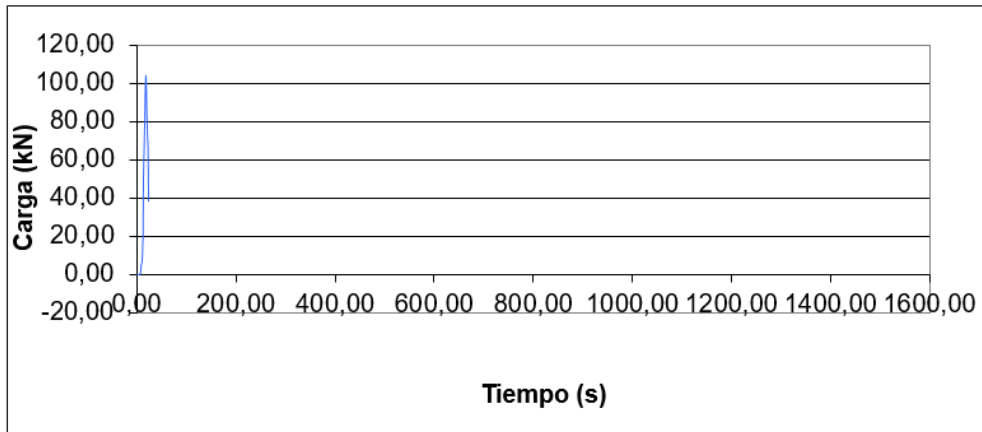


Figura 64. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 65. Se puede observar la falla del cilindro al llevarse a cabo el ensayo de corte indirecto.



Figura 65. Falla del Cilindro de Concreto con 3% de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a los 28 días de fraguado de las probetas a tracción se puede observar en la figura 66.

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)			
Densidad (kg/m ³)			
Altura (mm)	298		
Diametro (mm)	152		
Area (mm ²)	18146		
Edad (días)	28	28	28
Carga (kN)	108,6		
Resistencia Real (Mpa)	5,98		
Desarrollo	28,49		
Tipo de Falla			

Figura 66. Resultado del ensayo a tracción del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 67.

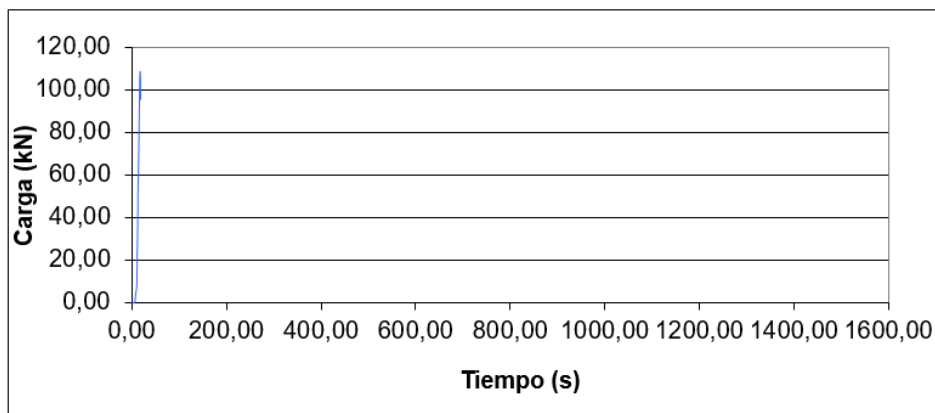


Figura 67. Gráfica del ensayo a tracción del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)


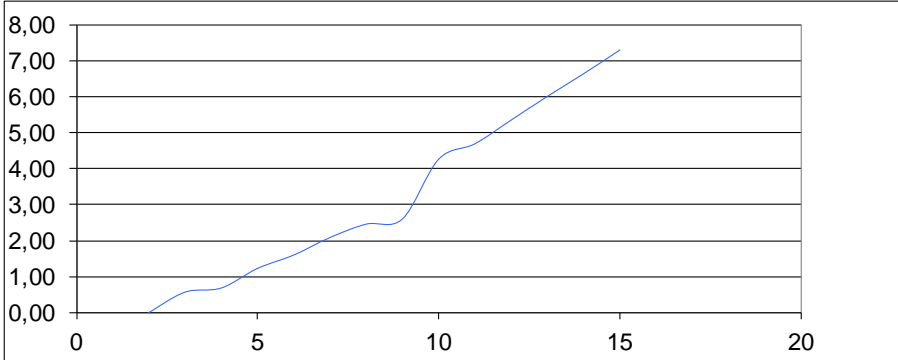
En la siguiente figura 68. Se muestra el cilindro después de haber sido ensayado y presentando la falla correspondiente.



Figura 68. Ensayo a tracción del cilindro de concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.3.7 Resistencia del concreto a la Flexión. El ensayo para determinar la resistencia a la flexión se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander, los resultados de los ensayos fueron suministrados en un formato (figura 69), y se abrevio la muestra del mismo en el informe para poder visualizar de manera más detallada las tablas y graficas del ensayo.

 LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SÍSMICA UFPSO										
Formato de registro de ensayos	Rev 0									
Código: Formatos-003	2010-07-31									
FLEXIÓN CON CUATRO APOYOS (NTC 2871)										
Ensayo No.: 9174										
Fecha de ensayo: 8/11/2017										
CLIENTE: UFPSO	Número de la Muestra: 1									
OBRA: _____	Fecha de producción: 30/10/2017									
TIPO DE MEZCLA: <u>Concreto Corriente</u>	F. Recepción: 8/11/2017									
DESCRIPCIÓN: _____	0									
LOCALIZACIÓN: _____	RESISTENCIA NOMINAL: 21 Mpa									
	Vel de ensayo : 0,017 Mpa/Seg									
Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	134,9									
Ancho 'b' (mm)	154,9									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Área Transv. Efect.(mm ²)	5752,8									
Carga Máxima (kN)	16,320885									
Esfuerzo Real (Mpa)	2,84									
										
Gráfico : Fuerza Vs Tiempo										
Observaciones: _____										

Laboratorista: Iván Darío Bustos Arias					Jefe de Laboratorio: Romel Gallardo I.C. MsC					
Iván Darío Bustos A.										
Máquina de ensayos: Pinzuar Ltda. Rango: 1000 kN No. se serie: 109 Calibración: 28/12/2010										

Figura 69. Formato de ensayo del laboratorio de resistencia de materiales.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto patrón. Este concreto se realizó para tener una muestra representativa de concreto sin incluirle cabello humano, esperando una resistencia de 21 Mpa, evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión se puede observar en la figura 70.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	134,9									
Ancho 'b' (mm)	154,9									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Área Transv. Efect.(mm ²)	5752,8									
Carga Máxima (kN)	16,320885									
Esfuerzo Real (Mpa)	2,84									

Figura 70. Resultado del ensayo a flexión del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). observando el mal comportamiento del concreto al ser sometido a fuerzas de flexión. figura 71.



Figura 71. Gráfica del ensayo a flexión del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 72 podemos apreciar la falla presentada en la viga sobre el tercio medio de la misma.

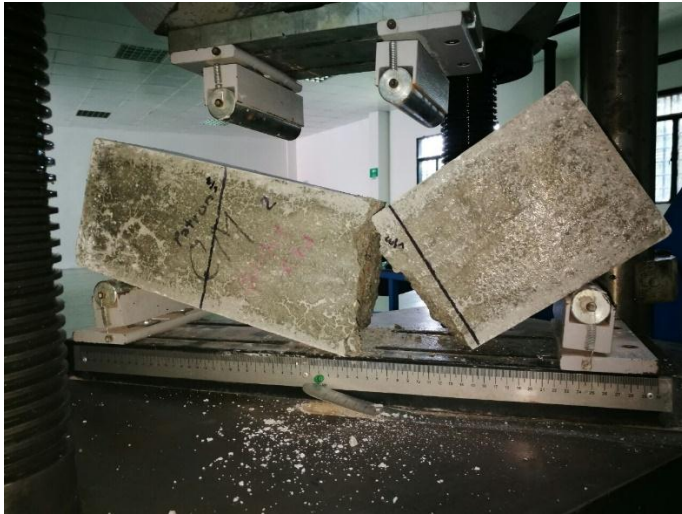


Figura 72. Ensayo de viga de Concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión a los 28 días de curado, se puede observar en la figura 73. Arrojando una carga máxima de 4,04 Mpa.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	145									
Ancho 'b' (mm)	152									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	494									
Área Transv. Efect.(mm ²)	6469,23									
Carga Máxima (kN)	26,148738									
Esfuerzo Real (Mpa)	4,04									

Figura 73. Resultado del ensayo a flexión del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 74.

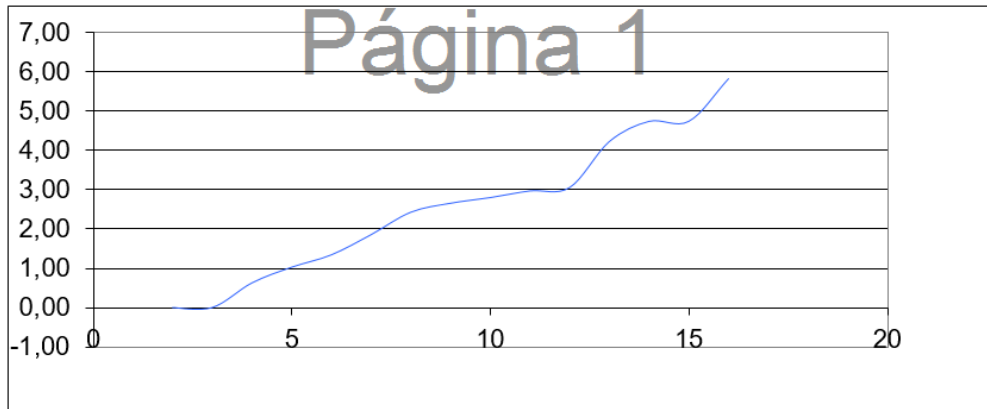


Gráfico : Fuerza Vs Tiempo

Figura 74. Gráfica del ensayo a flexión del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 75 se observa la falla presentada, esta se localizó en el borde del tercio medio de la viga.



Figura 75. Falla de la viga de Concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 1% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión a los 7 días de curado se puede observar en la figura 76.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	142,5									
Ancho 'b' (mm)	154,5									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	495									
Área Transv. Efect.(mm ²)	6338,01									
Carga Máxima (kN)	15,976096									
Esfuerzo Real (Mpa)	2,52									

Figura 76. Resultado del ensayo a flexión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 77.

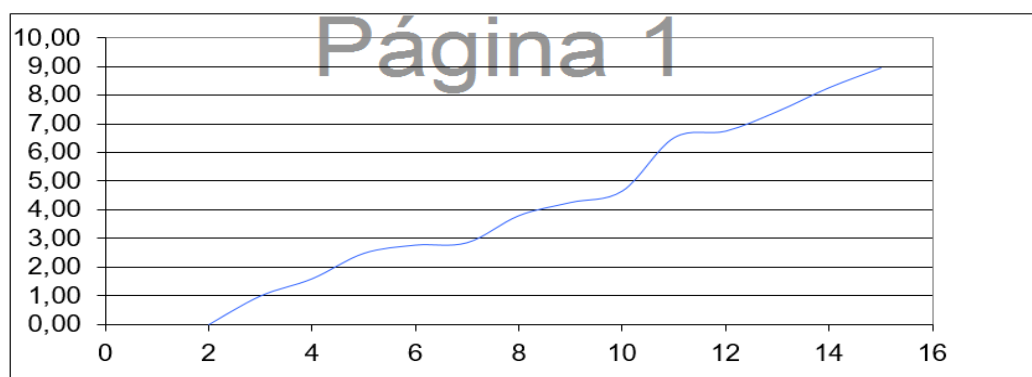


Figura 77. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 78. Se muestra la falla presentada en el tercio medio de la viga.



Figura 78. Falla de la viga de Concreto 1% de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión se puede observar en la figura 79.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	151									
Ancho 'b' (mm)	153									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7119.5									
Carga Máxima (kN)	23,227092									
Esfuerzo Real (Mpa)	3,26									

Figura 79. Resultado del ensayo a flexión el concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arroja una grafica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 80.

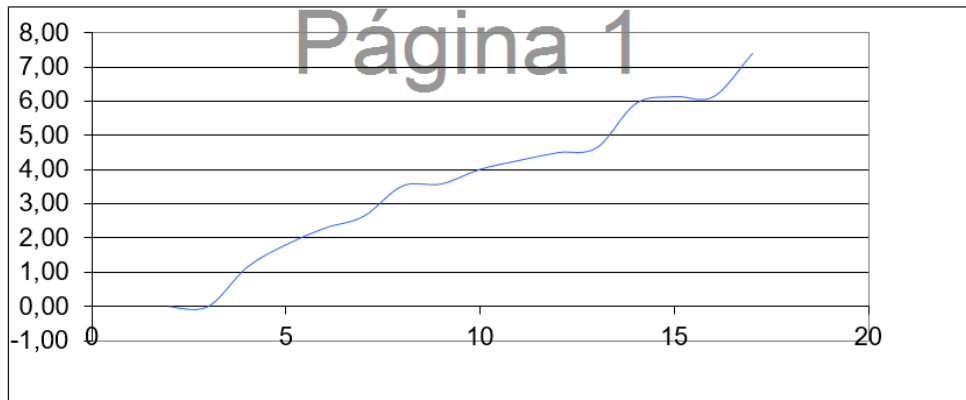


Gráfico : Fuerza Vs Tiempo

Figura 80. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 81. Se aprecia la falla presentada en el tercio medio de la viga.



Figura 81. Falla de la viga de Concreto 1%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 2% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 2% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión se puede observar en la figura 82.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	154									
Ancho 'b' (mm)	152									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	480									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7510,07									
Carga Máxima (kN)	11,341301									
Esfuerzo Real (Mpa)	1,51									

Figura 82. Resultado del ensayo a flexión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 83.

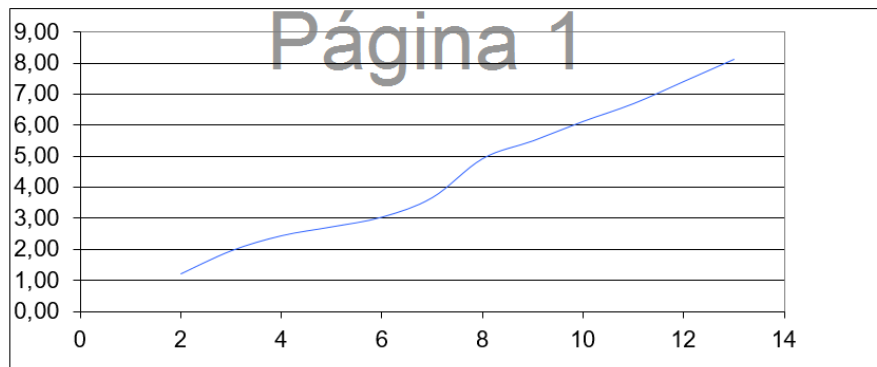


Figura 83. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 84 apreciamos la falla presentada en el tercio medio de la viga.



Figura 84. Falla presentada en la viga Concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión después de 28 días de fraguado se puede observar en la figura 85. Con una resistencia máxima de 2,52 Mpa

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	154									
Ancho 'b' (mm)	151									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7308.4									
Carga Máxima (kN)	18.399734									
Esfuerzo Real (Mpa)	2.52									

Figura 85. Resultado del ensayo a flexión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 86.

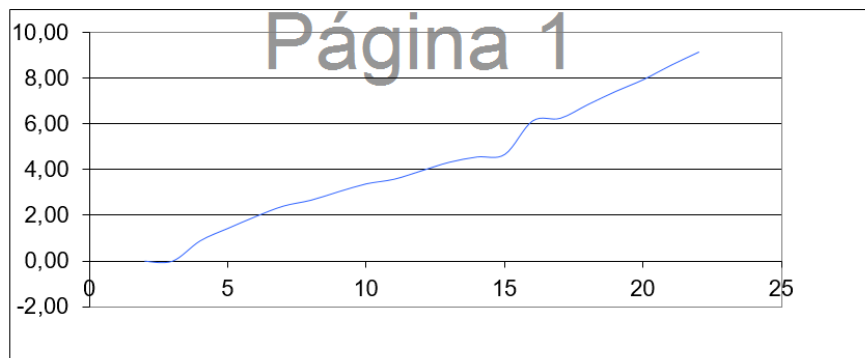


Gráfico : Fuerza Vs Tiempo

Figura 86. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 87 se aprecia la falla presentada en el tercio medio de la viga.



Figura 87. Falla de la viga de Concreto 2%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Concreto con 3% de cabello humano. Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de cabello humano respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla. Evaluándose a los 7 días de curado y a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de los especímenes.

Ensayo a 7 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión se puede observar en la figura 88.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	153									
Ancho 'b' (mm)	152									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Area Transv. Efect.(mm ²)	7261,57									
Carga Máxima (kN)	9,7543161									
Esfuerzo Real (Mpa)	1,34									

Figura 88. Resultado del ensayo a flexión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 89.

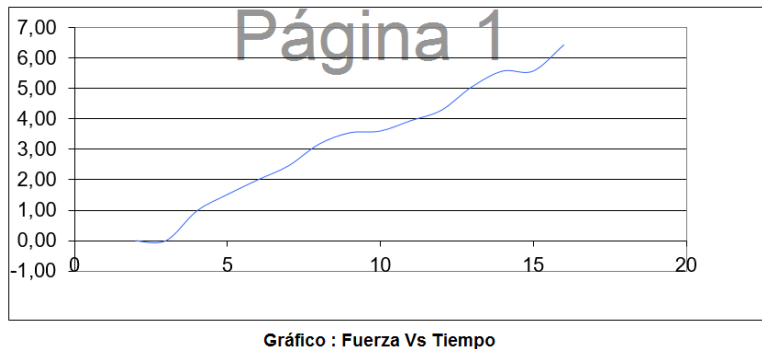


Figura 89. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 90. Se puede observar la falla presentada sobre el tercio medio de la viga.



Figura 90. Falla de la viga de Concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado obtenido del ensayo a flexión se puede observar en la figura 91.

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	153									
Ancho 'b' (mm)	153									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7309,34									
Carga Máxima (kN)	19,017264									
Esfuerzo Real (Mpa)	2,60									

Figura 91. Resultado del ensayo a flexión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

El ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento del espécimen, teniendo los valores de carga aplicada (kN) vs tiempo (s). figura 92.

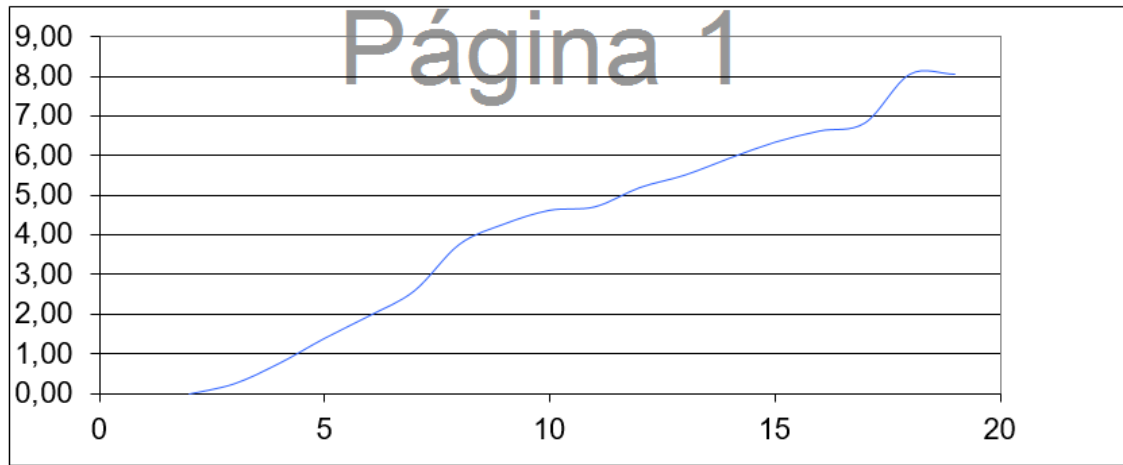


Gráfico : Fuerza Vs Tiempo

Figura 92. Gráfica del ensayo a flexión del concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

En la figura 93. Se aprecia la falla ocurrida en el tercio medio de la viga.



Figura 93. Falla de la viga de Concreto 3%

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.4 Establecer la manejabilidad del concreto al adicionarle fibras de cabello humano por medio del ensayo de asentamiento estipulado en la norma (NTC 396)

Trabajabilidad del concreto. Para determinar la consistencia y fluidez de la mezcla se ha realizado el ensayo de asentamiento con el cono o slump, estipulado por la Norma Técnica Colombiana (NTC 396); procediendo de la siguiente manera:



Figura 94. Adición de la mezcla al cono

Fuente. (UFPSO, 2018)

Se ubicó el cono de Abrahams sobre una superficie plana y húmeda, se sostuvo de manera firme y se agregó una capa de concreto hasta una tercera parte del volumen del cono, posteriormente se aplicaron 25 golpes con una varilla de una manera uniforme.

Posteriormente se colocaron las otras dos capas, se repitió el procedimiento anterior haciendo que la varilla penetrara en la capa inmediata inferior.

Con la tercera capa se llenó totalmente el cono y luego enrazo con la espátula.

Después en sentido vertical se retiró el cono con mucho cuidado.

Finalmente se calculó la diferencia entre la altura del cono y la altura de la muestra, obteniendo como resultado la medida del asentamiento.

Para este ensayo se consideró determinar 3 mediciones para una mejor precisión que posteriormente se promediaron, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 4.

Slump del concreto patrón.

CONCRETO	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	PROMEDIO
Concreto Patrón	4.8 cm	5.3 cm	5.4 cm	5.17 cm

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)



Figura 95. Slump del concreto patrón

Fuente. (UFPSO, 2018)

Tabla 5.

Slump del concreto adicionado con 1% de fibra de cabello humano

COBRETO	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	PROMEDIO
Concreto Adicionado con 1% de Fibra de Cabello Humano	4.0 cm	4.5 cm	5.4 cm	4.63 cm

Nota. Fuente. (UFPSO, 2018)

Figura 96. Slump del concreto adicionado con 1% de fibra de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Tabla 6.

Slump del concreto adicionado con 2% de fibra de cabello humano

CONCRETO	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	PROMEDIO
Concreto Adicionado con 2% de Fibra de Cabello Humano	4.1	4.8	5.6	4.83

Nota. Fuente. (UFPSO, 2018)



Figura 97. Slump del concreto adicionado con 2% de fibra de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

Tabla 7.

Slump del concreto adicionado con 3% de fibra de cabello humano

CONCRETO	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	PROMEDIO
Concreto Adicionado con 3% de Fibra de Cabello Humano	4.7	5.1	5.4	5.1

Nota. Fuente. (UFPSO, 2018)



Figura 98. Slump del concreto adicionado con 3% de fibra de cabello humano.

Fuente. (UFPSO, 2018)

4.5 Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos (concreto patrón 21mpa vs concreto dosificado con cabello humano) que permita establecer un criterio respecto a las propiedades mecánicas del concreto

Para establecer un criterio respecto a las propiedades mecánicas del concreto se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en el laboratorio (concreto patrón 21MPA Vs concreto dosificado con cabello humano); los cuales se obtuvieron a partir de la elaboración de tres cilindros para el ensayo a compresión y tracción y 3 vigas para ensayo a flexión en las diferentes muestras (concreto patrón, concreto dosificado con 1,2 y 3% de cabello humano) basados en la NORMA la cual dice que como mínimo debimos crear un número de 3 muestras por ensayo, fueron fabricadas de manera mecánica con un previo diseño de mezclas, seguido de un proceso de fraguado de 24 horas y posteriormente un proceso de curado de 7 y 28 días y así finalmente realizar los ensayos en el laboratorio de la universidad francisco de paula Santander Ocaña que permitieron obtener lo siguiente:

Ensayo a compresión. En este ensayo se logró evidenciar la disminución de la resistencia de los cilindros con cabello humano respecto a los cilindros de la muestra patrón, estos valores se pueden apreciar de manera resumida en la tabla #, y se observan en la imagen 98 e imagen 99, cada uno de las dosificaciones fueron realizadas con sus respectivos diseño de mezclas, como ya se mencionó se logró establecer la disminución de la resistencia real de los cilindros y demostrando el problema a la hora de utilizar el cabello como fibra de refuerzo debido a su reacción química desfavorable con los diferentes materiales altamente alcalinos que componen el cemento, también se logró evidenciar los cambios notorios en el tipo de falla, presentando en los

cilindros patrón una falla clase D y pasando a un tipo de falla clase E en los especímenes con dosificaciones de cabello humano.

Tabla 8.

Resultados del análisis resistencia a la compresión del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 7 días.

RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)				
TIPO DE MUESTRA	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Promedio
PATRON	15.99	18	16.23	16.74
1% CABELLO	14.70	12.79	15.63	14.37
2% CABELLO	9.28	10.92	9.35	9.85
3% CABELLO	11.26	11.91	11.24	11.47

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 9.

Resultados del análisis resistencia a la compresión del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.

RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)				
TIPO DE MUESTRA	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	PROM
PATRON	24.03	23.91	24.62	24.19
1% CABELLO	18.89	20.39	18.85	19.38
2% CABELLO	14.44	17.52	17.53	16.5
3% CABELLO	16.99	17.02	17.29	17.1

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

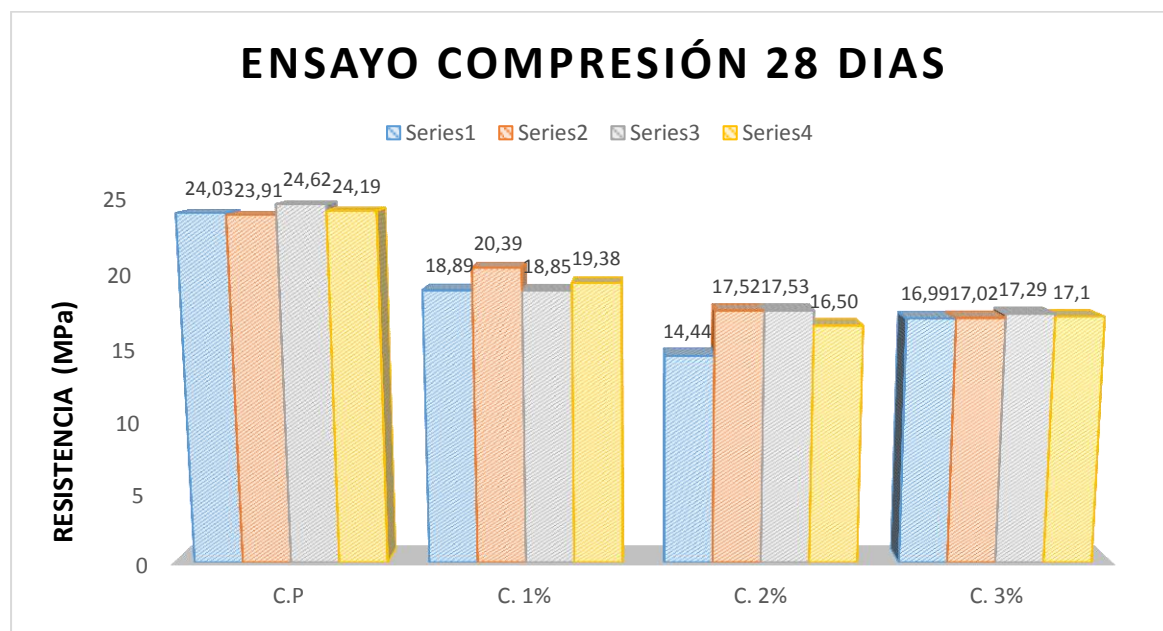


Figura 99. Grafica ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

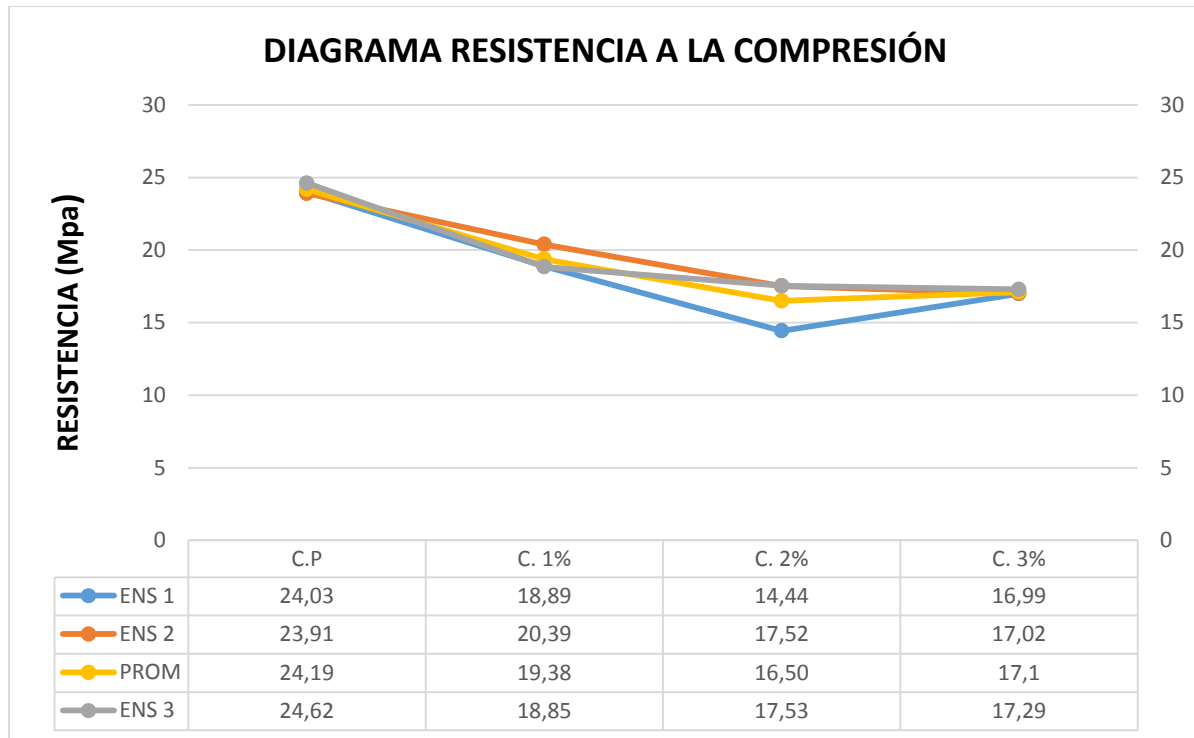


Figura 100. Diagrama del ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 10.

Resumen resultados tipo de falla del ensayo a compresión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

TIPO DE FALLA ENSAYO COMPRESION 28 DIAS				
	C.P	C. 1%	C. 2%	C. 3%
ENS 1	D	D	D	E
ENS 2	D	D	C	D
ENS 3	D	D	D	E
PROM	D	D	D	E

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Ensayo a tracción. Al igual que en el ensayo anterior se logró evidenciar la disminución de la resistencia de los cilindros con cabello humano respecto a los cilindros de la muestra patrón debido a su reacción química desfavorable con los diferentes materiales altamente alcalinos que componen el cemento y por ende la inviabilidad de utilizar el cabello como fibra de refuerzo, los valores de los ensayos se encuentran resumidos en la tabla #, y se observan en la imagen 100 e imagen 101.

Tabla 11.

Resultados del análisis resistencia a tracción del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 7 días.

RESISTENCIA A TRACCION (MPA)				
TIPO DE MUESTRA	Cilindro 1	Cilindro2	Cilindro 3	PROM
PATRON	6.01	7.83	3.86	5.9
1% CABELLO	5.60	3.54	5.96	5.03
2% CABELLO	4.19	5.31	5.48	4.99
3% CABELLO	5.71	4.91	5.27	5.3

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 12.

Resultados del análisis resistencia a tracción del concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.

RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)				
TIPO DE MUESTRA	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	PROM
PATRON	6.43	9.16	5.96	7.18
1% CABELLO	5.70	5.57	7.85	6.37
2% CABELLO	5.01	4.56	5.36	4.98
3% CABELLO	5.34	5.98	4.75	5.36

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

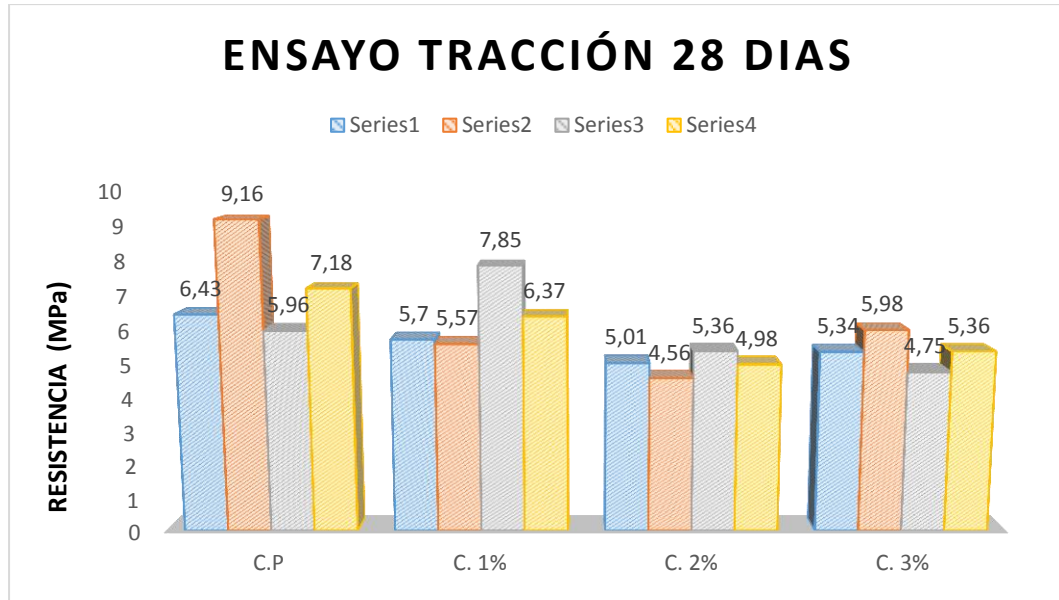


Figura 101. Grafica ensayo a tracción del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente: (UFPSO, 2018)

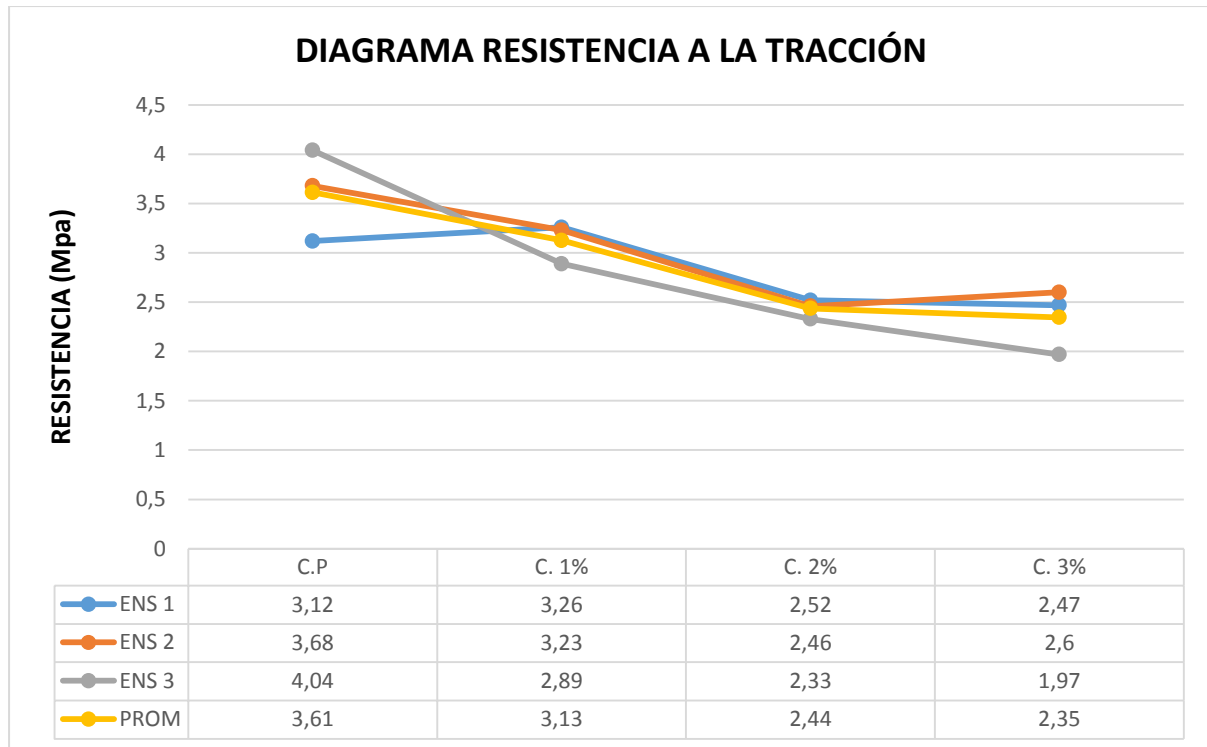


Figura 102. Diagrama del ensayo a tracción del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente. (UFPSO, 2018)

Ensayo a flexión. En el ensayo a flexión de las vigas se logró evidenciar la disminución a la resistencia, siguiendo el patrón presentado en los ensayos anteriores, haciendo una investigación más a fondo se logró establecer la reacción desfavorable del cabello con los componentes alcalinos del cemento, aumentando de manera negativa la concentración de azufre en la mezcla, también se observó la diferencia en las fallas presentadas en las vigas patrón y en las vigas con dosificaciones de cabello, donde las fallas del concreto patrón ocurrieron en el centro del tercio medio de la viga, en cambio las fallas en las vigas con dosificaciones de cabello humano ocurrieron al borde del tercio medio de la viga.

Tabla 13.

Resultados del análisis concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.

ENSAYO A FLEXIÓN 7 DIAS				
RESISTENCIA A FLEXION (MPA)				
MUESTRA	V1	V2	V3	PROM
PATRON	2.84	2.64	2.32	2.6
1% CABELLO	2.06	2.52	1.84	2.14
2% CABELLO	1.51	1.35	1.15	1.34
3% CABELLO	1.31	1.29	1.34	1.31

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 14.

Resultados del análisis concreto patrón Vs concreto dosificado con cabello humano 28 días.

ENSAYO A FLEXIÓN 28 DIAS				
RESISTENCIA A FLEXION (MPA)				
MUESTRA	V1	V2	V3	PROM
PATRON	3.12	3.68	4.04	3.61
1% CABELLO	3.26	3.23	2.89	3.13
2% CABELLO	2.52	2.46	2.33	2.44

3% CABELLO	2.47	2.60	1.97	2.35
-------------------	------	------	------	-------------

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

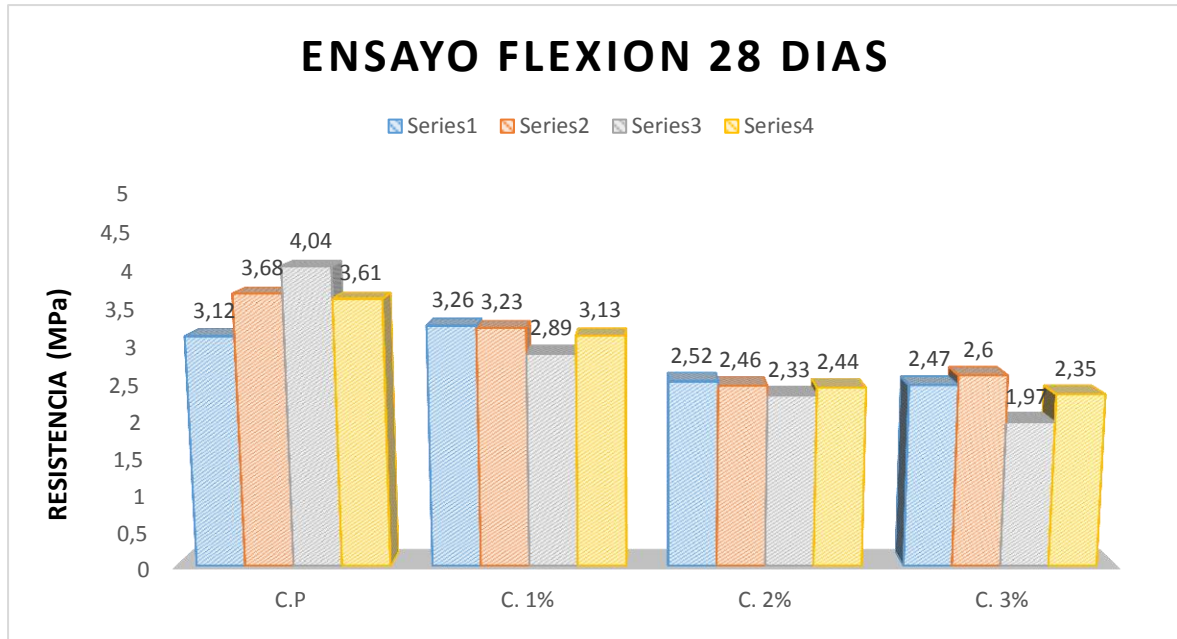


Figura 103. Gráfica ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente: (UFPSO, 2018)

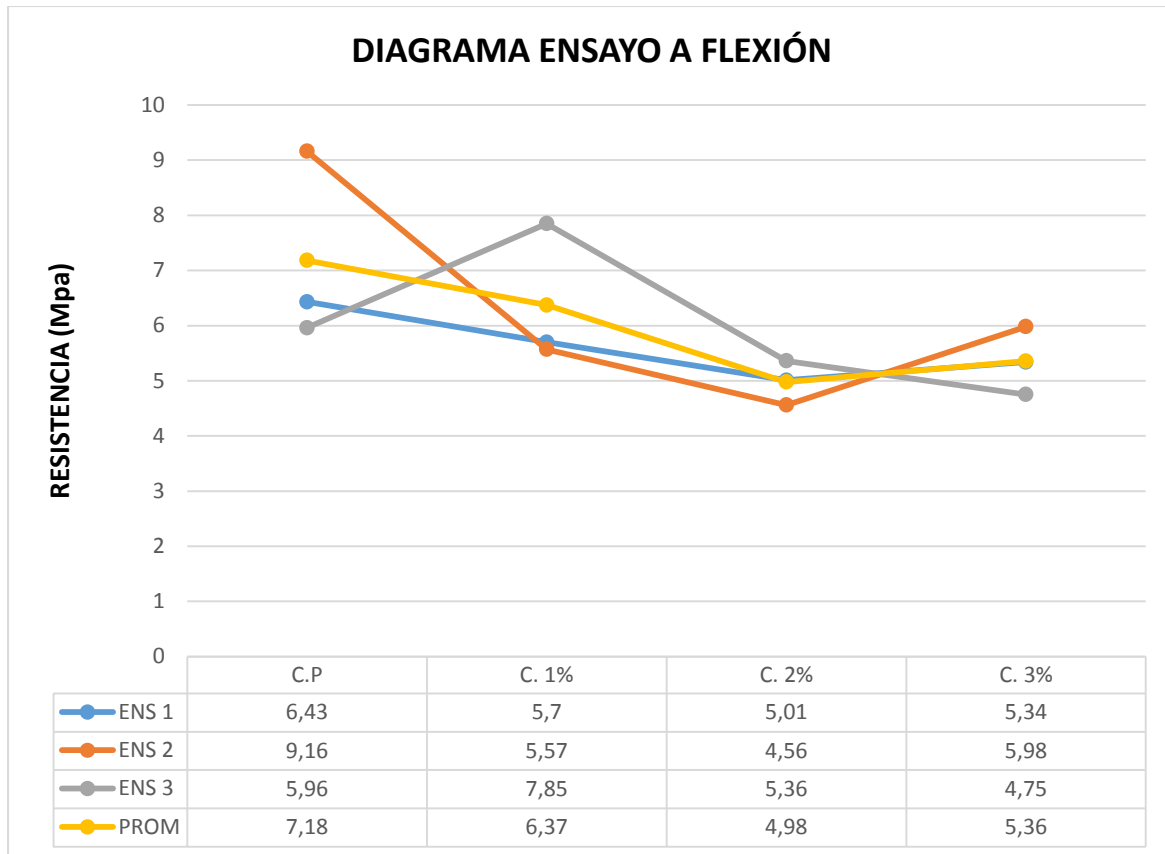


Figura 104. Diagrama ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 15.

Resumen resultados ensayo a flexión del concreto patrón vs diferentes adiciones de cabello humano

FALLA DEL ENSAYO FLEXION 28 DIAS								
	Viga patrón	lugar de la falla	Viga 1%	lugar de la falla	VIGA 2%	lugar de la falla	VIGA 3%	lugar de la falla
MED. ENS 1	139,29 mm	Tercio medio	152,46 mm	Tercio medio	151,52 mm	Borde tercio medio	154,38 mm	Borde tercio medio
MED. ENS 2	158,60 mm	Tercio medio	154,17 mm	Tercio medio	155,64 mm	Tercio medio	156,03 mm	Borde tercio medio
MED. ENS 3	150,64 mm	Tercio medio	154,54 mm	Tercio medio	149,99 mm	Borde tercio medio	156,4 mm	Borde tercio medio
MED. PROM	149,51 mm		153,62 mm		152,38 mm		155,6 mm	

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

4.6 Estimar la variación del costo de producción y dosificaciones del concreto de 21 MPA al adicionarle cabello humano a través de estudios de A.P.U y diseño de mezclas

Para determinar la variación en el costo de producción para un metro cubico de concreto, se realizó el estudio por medio del análisis de precios unitarios, teniendo como base los precios actuales en el mercado durante la fecha de elaboración del proyecto, queriendo tener un margen de desperdicio del 10% del precio total obtenido, y buscando precisión y exactitud en cada uno los precios y cantidades planteados.

También se tuvo en cuenta las diferentes dosificaciones de cabello en el diseño de mezcla realizado por el método de la ACI.

El resultado del estudio se puede ver a continuación:

Tabla 16.

Análisis de precios unitarios para 1 m3 de concreto 21mpa

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.

PROYECTO: RESISTENCIA DEL CONCRETO AGREGANDO CABELLO HUMANO

ITEM: ANALISIS DE CONCRETOS	FECHA	feb-18	UNIDAD
DESCRIPCION: CONCRETO 21 Mpa			M3

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	V/UNIT	V/PARCIAL
Cemento	Bulto	7,00	19.500	136.500

Tabla 16. (Continuación)

Gravilla de rio	M3	0,34	90.000	30.600
Arena de rio	M3	0,35	55.000	19.250
Agua	Lts	185,00	50	9.250
desperdicio 10% Vr.Mat				19560
Total materiales				215.160

2.MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PREST (80%)	J/TOTAL	RDTO	V/PARCIAL
1Of + 2Obr.preparacion	102162,415	81729,9323	183892,348	8	22986,54
total mano de obra					22986,54

3.HERRAMIENTAS Y EQUIPO

DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RDTO	V/PARCIAL
Herramienta menor 10% Vr.M.O	GLB			2298,7
total herramienta				2298,7

COSTO DIRECTO:	240.445
-----------------------	---------

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 17.

Análisis de precios unitarios para 1 m³ de concreto 21mpa + 1% cabello humano

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.

PROYECTO: RESISTENCIA DEL CONCRETO AGREGANDO CABELLO HUMANO

ITEM: ANALISIS DE CONCRETOS	FECHA	feb-18	UNIDAD
DESCRIPCION: CONCRETO 21 Mpa + 1% CABELLO			M2

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	V/UNIT	V/PARCIAL
-------------	--------	------	--------	-----------

Tabla 17. (Continuación)

Cemento	Bulto	7,00	19.500	136.500
arenilla de rio	M3	0,34	90.000	30.600
gravilla de rio	m3	0,35	55.000	19.250
Agua	Lts	188,00	50	9.400
Cabello humano	Kg	3,19	300,00	957
desperdicio 10% Vr.Mat				19670,7
Total materiales				216.378

2.MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PREST (80%)	J/TOTAL	RDTO	V/PARCIAL
1Of + 2Obr.preparacion	102162,415	81729,9323	183892,348	8	22986,54
total mano de obra					22986,54

3.HERRAMIENTAS Y EQUIPO

DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RDTO	V/PARCIAL
Herramienta menor 10% Vr.M.O	GLB			2298,7
total herramienta				2298,7

COSTO DIRECTO:	241.663
-----------------------	---------

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 18.

Análisis de precios unitarios para 1 m3 de concreto 21mpa + 2% cabello humano

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.

PROYECTO: RESISTENCIA DEL CONCRETO AGREGANDO CABELLO HUMANO

ITEM: ANALISIS DE CONCRETOS

FECHA

feb-18

UNIDAD

DESCRIPCION: CONCRETO 21 Mpa + 2% CABELLO

KG

Tabla 18. (Continuación)

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	V/UNIT	V/PARCIAL
Cemento	Bulto	7,00	19.500	136.500
arenilla de rio	M3	0,34	90.000	30.600
gravilla de rio	m3	0,35	55.000	19.250
Agua	Lts	191,00	50	9.550
Cabello humano	Kg	6,40	300,00	1.920
desperdicio 10% Vr.Mat				19782
Total materiales				217.602

2.MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PREST (80%)	J/TOTAL	RDTO	V/PARCIAL
1Of + 2Obr.preparacion	102162,415	81729,9323	183892,348	8	22986,54
total mano de obra					22986,54

3.HERRAMIENTAS Y EQUIPO

DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RDTO	V/PARCIAL
Herramienta menor 10% Vr.M.O	GLB			2298,7
total herramienta				2298,7

COSTO DIRECTO:	242.887
-----------------------	---------

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 19.

Análisis de precios unitarios para 1 m³ de concreto 21mpa + 3% cabello humano

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.

PROYECTO: RESISTENCIA DEL CONCRETO AGREGANDO CABELLO HUMANO

ITEM: ANALISIS DE CONCRETOS

FECHA

feb-18

UNIDAD

DESCRIPCION: CONCRETO 21 Mpa + 3% CABELLO

KG

Tabla 19. (Continuación)

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	V/UNIT	V/PARCIAL
Cemento	Bulto	7,00	19.500	136.500
arenilla de rio	M3	0,34	90.000	30.600
gravilla de rio	m3	0,35	55.000	19.250
Agua	Lts	194,00	50	9.550
Cabello humano	Kg	9,60	300,00	2.880
desperdicio 10% Vr.Mat				19878
Total materiales				218.658

2.MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PREST (80%)	J/TOTAL	RDTO	V/PARCIAL
1Of + 2Obr.preparacion	102162,415	81729,9323	183892,348	8	22986,54
total mano de obra					22986,54

3.HERRAMIENTAS Y EQUIPO

DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RDTO	V/PARCIAL
Herramienta menor 10% Vr.M.O	GLB			2298,7
total herramienta				2298,7

COSTO DIRECTO:	243.943
-----------------------	---------

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Tabla 20.

Resumen del estudio de análisis de precios unitarios (A.P.U).

Tipo de concreto	Precio metro cubico
C. P	\$240.445
C. 1%	\$241.663
C. 2%	\$242.887
C. 3%	\$243.943

Nota. Fuente: (UFPSO, 2018)

Capítulo 5. Conclusiones

En la actualidad los constructores refuerzan las estructuras de hormigón con barras de acero para mantener las grietas tan pequeñas como sea posible, pero lo cierto es que pese a todo, no son lo suficientemente pequeñas para evitar que el agua o hielo penetren y dañen el acero debilitando la estructura; es allí donde cabe resaltar una de las propiedades del cabello como lo es la permeabilidad que es la capacidad de absorber líquidos lo cual hará que impida la corrosión.

Las fisuras son un gran inconveniente ya que ocasionan pérdida de apariencia estética y los problemas de durabilidad en el futuro ya por ahí puede ingresar sustancias nocivas que inician un proceso de corrosión en el acero de refuerzo; con la adición del cabello a la mezcla se pueden mitigar o por lo menos hacer que las fisuras sean menor.

El cabello humano tiene un comportamiento aceptable en soluciones ácidas (pH por debajo de 7), pero al momento de entrar en contacto con soluciones alcalinas (pH por encima de 7) se presenta un deterioro en la estructura, color y resistencia del cabello.

El cemento al poseer un pH= 12 (presentando alta alcalinidad) el cabello humano reacciona de manera negativa, afectándose su estructura y por ende su resistencia.

El azufre en el cemento es a menudo controlado durante la adición de yeso a las mezclas, por estas razones es vital controlar los niveles de azufre. Debido a que el cabello está compuesto por queratina que es una proteína con estructura fibrosa, muy rica en azufre afecta considerablemente la mezcla produciendo disminución en su resistencia. Al comparar el concreto

patrón con el concreto adicionado con cabello humano según los resultados de laboratorio se puede observar como la resistencia disminuye a medida que se incrementa el porcentaje (%) de cabello para todos los ensayos realizados (compresión, tracción y flexión).

La manejabilidad del concreto se vio afectada por la adición de cabello humano, teniendo en cuenta el diseño de mezcla originalmente planteado fue necesario adicionar litros de agua para poder lograr los parámetros de asentamiento y manejabilidad esperados inicialmente.

Los precios para la realización de un metro cubico de concreto y sus respectivas adiciones tuvieron una diferencia baja, debido al muy bajo costo del cabello humano en el mercado actual y a la baja variación en litros de agua para la realización de la mezcla.

Capítulo 6. Recomendaciones

Poder utilizar materiales óptimos para ser implementados en la mezcla de concreto, buscando prevenir grietas o aberturas minúsculas que puedan afectar el acero de refuerzo o la integridad de la resistencia del concreto.

Evitar el aumento de azufre dentro de la mezcla, utilizando materiales bajos en azufre, ya sean sintéticos o naturales que puedan afectar de manera química o mecánica el comportamiento del concreto.

Continuar la búsqueda de fibras naturales como sintéticas que permitan elevar de manera controlada la resistencia del concreto.

Tener un proceso limpio y amigable con el medio ambiente al momento de elaborar y procesar fibras sintéticas, buscando siempre el bienestar de nuestro planeta.

Mantener un bajo costo en la elaboración del concreto al adicionarle fibras sintéticas o naturales, siempre buscando el aumento de su resistencia sin impactar en gran medida el mercado con altos precios.

Referencias

- Concreto. (2017). *Blog 360 grados en concreto*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2010/09/WEB-Historia-del-cemento-y-del-concreto.pdf>
- Cordero, A., Abrio, M., & Maqueda, M. (2017). El Hormigon: historia, antecedentes en obras y factores de su resistencia. *Revistas.uax.es*.
- EHE-08)., (. 1. (s.f.).
- Gallo, L., Gonzales, G., & Carrillo, J. (23 de Mayo de 2013).
- Grinnell. (1997).
- (Julio 2013). *Rodriguez Lozano, Juan Segura, Elena*. Valencia.
- Noticreto. (2007). Historia del Croncreto.
- Osorio, J. (19 de Septiembre de 2011). *Blog 360 grados en Concreto*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>
- Osorio, J., Varón , F., & Herrera, J. (2007). Medellin.
- Queesel/la...?* (s.f.). Obtenido de <http://queesela.net/ph/>
- Quintana, C. (19 de abril de 2013). *SlideShare, Generalidades del Concreto*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/chechojacomemanzano/clase-2-generalidades-sobre-el-concreto>
- Quintero García , S., & Gonzáles Salcedo, L. (2006). Universidad del Norte.
- REVISTA ARQHYS*. (2012). Obtenido de <http://www.arqhys.com/construccion/deformacion.html>
- Silva, O. (2017). *Blog 360 grados en concreto*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/las-fibras-en-el-concreto/>
- UDEP. (s.f.). *Biblioteca visual UDEP*.
- UFPSO. administracion, C. e. (11 de 2010). *estadisticaparaadministracion.blogspot*. Obtenido de <http://estadisticaparaadministracion.blogspot.com.co/2011/10/poblacion-y-muestra-parametro-y.html>
- Villar, E. (2012). *Universidad Politecnica de Cataluña*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-8.pdf?sequence=8>

Apéndice

Apéndice A. Diseño de mezcla por el Método American Concrete Institute (ACI)

DATOS:

- Resistencia a la compresión a los 28 días de 21Mpa
- TMN: $\frac{3}{4}$ " (19mm), TM: 1" (25)
- Masa unitaria compacta agregado grueso: MUC: $1691 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Densidad aparente del agregado grueso: $1622.165 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Absorción del agregado grueso: 1.69%
- Humedad del agregado grueso: 0.63%
- Módulo de finura del agregado fino: 3.37
- Densidad aparente del agregado fino: 2694.0789
- Absorción del agregado fino: 2.5641
- Humedad del agregado fino: 3.31%
- Agua: se utilizara el agua proveniente del acueducto
- Tipo de cemento: Portland tipo 1 con una densidad de $3100 \text{ Kg}/\text{m}^3$

1. Elección del asentamiento (tabla 11.1)= 5

2. Elección del TMN= $\frac{3}{4}$ " (19mm)

3. Estimación del contenido de aire = 2.0

4. Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a) =185 lts

5. Elección de la relación agua / cemento

Para un concreto de 210 Kg/cm² (3000 psi)= 0.58

6. Calculo del contenido de cemento

$$r = \frac{a}{c}; r=0.58$$

$$a=185 \text{ Kg}/m^3 \text{ entonces, } c = \frac{185}{0.58} = 318.97 \text{ Kg}/m^3$$

El volumen de cemento por metro cubico de concreto será

$$V_{\text{cemento}} = \frac{318.7}{3100} = 0.1028 \text{ m}^3$$

7. Verificación de agregados (los agregados no cumplen)

8. De acuerdo al método gráfico, la mezcla óptima estará compuesta 53% de arena y 37% grava.

El volumen de agregados por metro cubico en concreto será de

$$V_{\text{agregado}} = 1 - (0.1028 + 0.185 + 0.02) = 0.6922 \text{ m}^3$$

9. Densidad promedio

$$D_{promedio} = \frac{(dg)*(df)}{(%f)*(dg) + (%g)*(df)}$$

Se tomó esta expresión debido a que las densidades son muy pequeñas.

$$D_{promedio} = \frac{(1622.165)*(2694.0783)}{(0.63)*(1622.165) + (0.37)*(2694.0789)} = 2164.8002 \text{ Kg/m}^3$$

10. Empleando las expresiones 11.9 y 11.10 respectivamente, se obtienen que los pesos secos de la grava y de la arena son de:

$$w_g = (D_{prom})*(Vt)*(%g) = 2164.8002*0.6922*0,37 = 554.4356 \text{ Kg/m}^3$$

$$w_f = (D_{prom})*(Vt)*(%f) = 2164.8002*0.6922*0,63 = 944.039 \text{ Kg/m}^3$$

Ajuste por humedad de los agregados

- Peso húmedo de la grava:

$$M_{gh} = 554.4356*(1+0.0063) = 557.9285 \text{ Kg/m}^3$$

- Peso húmedo de la arena:

$$M_{hf} = 944.039*(1+0.0331) = 975.2867 \text{ Kg/m}^3$$

- agua en exceso o en efecto:

Para la grava: $554.4356 \cdot (0.0063 - 0.0169) = -5.8770 \text{ Kg}$

Para la arena: $975.2867 \cdot (0.0331 - 0.0256) = 7.3146 \text{ Kg}$

$A = -5.8770 + 7.3146 = 1.4376 \text{ Kg}$

La cantidad de agua total para la mezcla será de:

$185 \text{ Lt} - 1.4376 \text{ Lt} = 183.5 \text{ Lt}$

CANTIDADES PARA 1 M3

MATERIAL	PESO (KG/M3)	DENSIDAD (KG/M3)	VOLUMEN (M3/M3)	AJUSTES POR HUMEDAD (KG/M3)
CEMENTO	318.97	3100	0.1028	318.97
AGUA	185	1000	0.185	183.5
AIRE	0	0	0.020	0
GRAVA	554.4356	1622.165	0.3418	557.9285
ARENA	944.039	2694.0789	0.3504	975.2867
TOTAL	2002.4446		1	

VOLUMEN PARA LAS PROBETAS Y VIGAS

Volumen para 1 probeta

$$v = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (0.075)^2 * 0.3$$

$$V = 0.005301 \text{ m}^3 * 15\% = 0.00079515$$

$$v = 0.00609615 \text{ m}^3$$

6 compresión total= 0.0732m³

6 tracción

Volumen 1 viga = b*h*a

$$V = 0.55 * 0.15 * 0.15 = 0.0124 \text{ m}^3 * 15\% = 0.0019$$

$$V = 0.0143 * 6 = 0.0858 \text{ m}^3$$

Volumen total para 1 tipo de concreto= 0.1590m³

CANTIDADES PARA 1 TIPO DE CONCRETO

MATERIAL	PESO	DENSIDAD	VOLUMEN	AJUSTE POR HUMEDAD
CEMENTO	50.7162	3100	0.0164	50.7162
AGUA	29.4150	1000	0.0294	29.1765
AIRE	0	0	0.00318	0
GRAVA	88.1553	1622.165	0.0543	88.7106

ARENA	150.1022	2694.0789	0.0557	155.0706
TOTAL	318.3887		0.1590	

CABELLO:

Estos pesos para la cantidad de cabello son tomados de los porcentajes 1%, 2%, 3% del peso total del cemento producto del diseño de mezcla.

1%= 0.5072 KG

2%= 1.0143 KG

3%= 1.5215

Ensayos de los agregados

- 1. Ensayo de Granulometría (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E-213)**

1.1 Agregado Grueso**Equipos:**

- Balanza
- Tamices
- Horno

Muestra:

La muestra se seleccionó aleatoriamente del material para el proyecto, se redujo la muestra según lo estipulado en la norma específicamente en el ensayo E-202.





Según las especificaciones técnicas del INVIAS la masa mínima del agregado grueso para el análisis granulométrico depende del tamaño máximo nominal. Como se indica en la siguiente tabla.

Masa mínima de la muestra para ensayo de granulometría

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE
TAMICES CON ABERTURAS	ENSAYO Kg (lb)
CUADRADAS MM (PG)	
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 ½)	15 (33)

50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 ½)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 ½)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
125.0 (5)	300 (660)

Nota. La tabla muestra la masa mínima del agregado grueso para realizar el ensayo de granulometría dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado. (ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL INVIAS)

Después de cuarteada la muestra se procede a tamizar (manualmente) determinando la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando la balanza.





Del anterior procedimiento se obtuvo los siguientes datos:

- Peso de la muestra + tara: 5183 gr
- Peso de la muestra: 5000 gr
- Peso tara: 183 gr

Tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1"	103.2	2.064	2.064	97.544
¾"	1455.8	24.116	26.18	68.428
½"	2637.9	52.758	78.938	15.67
3/8"	610.7	12.214	91.152	3.486
N° 4	172.8	3.456	94.608	0
	5000			

Con los valores se determinó:

- TMN del agregado es ¾"
- Módulo de finura: 7.1194

1.2 Agregado Fino

Equipos:

- Balanza
- Tamices
- Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 300 gr

Al igual que con el agregado grueso se procede a tamizar (manualmente) determinando la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando la balanza.

Del anterior procedimiento se obtuvo los siguientes datos:

- Peso muestra + tara: 694.7 gr
- Peso muestra: 500 gr
- Peso tara: 194.7 gr

Tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
N° 4	17.8	3.56	3.56	96.6
N° 8	58.9	11.78	15.34	84.82
N° 16	147.3	29.46	44.8	55.36
N° 30	168.7	33.74	78.54	21.62
N° 50	88.1	17.62	96.16	4
N° 100	25.6	2.12	98.28	1.88
Fondo	9.4	1.88	100	0
	500			

Con los valores se determinó:

- Módulo de finura:

$$MF = \frac{3.56 + 15.34 + 44.8 + 78.54 + 96.16 + 98.28}{100} = 3.37$$

2. Humedad

2.1 Agregado Grueso:

Equipos:

- Balanza
- Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 1000 gr.

Datos:

- Peso Tara: 182.9 gr
- Peso muestra húmeda + tara: 3184 gr
- Peso muestra seca al horno por $\pm 24h$ + tara: 3165 gr
- Peso muestra húmeda- tara: 3001 gr
- Peso muestra seca al horno- tara: 2982.1gr

$$\% W = \frac{mh - ms}{ms} * 100$$

$$\%W = \frac{3001 - 2982.1}{2981.2} * 100 = 0.63\%$$

2.2 Agregado Fino:

Equipos:

- Balanza
- Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 300 gr.

Datos:

- Peso tara: 189 gr
- Peso muestra húmeda + tara: 1189 gr
- Peso muestra seca al horno por ± 24 h + tara: 1157 gr
- Peso muestra húmeda- tara: 1000 gr
- Peso muestra seca al horno- tara: 968 gr

$$\% W = \frac{mh - ms}{ms} * 100$$

$$\%W = \frac{1000 - 968}{968} * 100 = 3.31\%$$

3. Masa Unitaria Compacta (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E 217-9)

Equipos

- Balanza
- Varilla compactadora
- Recipiente de medida
- Pala o cucharon

Muestra:

La muestra se seleccionó aleatoriamente del material para el proyecto, se redujo la muestra según lo estipulado en la norma específicamente en el ensayo E-202.

Después de haber cuarteado la muestra se selecciona la masa mínima para realizar el ensayo, esta debe ser aproximadamente 125% a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida. Y se debe manejar evitando la segregación





Obtenida la muestra, el agregado de debe colocar en el recipiente, en tres capas aproximadamente iguales, hasta colmarlo. Cada capa se debe apisonar con 25 golpes de la varilla teniendo cuidado de no tocar el fondo de recipiente con la varilla, se enraza la superficie y se determina la masa del recipiente lleno y vacío.



Del anterior procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

- Masa del recipiente de medida: 5615 gr
- Masa del agregado + el recipiente de medida: 8961 gr
- Diámetro del recipiente: 15 cm

- Altura del recipiente: 11.2 cm
- Volumen del recipiente de medida: $\pi * r^2 * h = \pi * (7.5)^2 * 11.2 = 1979.20 \text{ cm}^3$

Se calcula la masa unitaria compacta (MUC) con la siguiente expresión:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M: Masa unitaria compacta

G: Masa del agregado + el recipiente de medida.

T: Masa del recipiente de medida.

V: Volumen del recipiente de medida.

$$M = \frac{8961 - 5615}{1979.2} = 1.691 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

$$1.691 \text{ gr}/\text{cm}^3 * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}\right) * \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3 = 1691 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\text{MUC} = 1691 \text{ Kg}/\text{m}^3$$