



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE ARQUITECTO

Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Masaco Pinta, Jorge Iván.

DIRECTOR: Balcázar Arciniega, Cristian André, Arq.

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Arquitecto.

Cristian André Balcázar Arciniega

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya, realizado por Masaco Pinta Jorge Iván, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Junio de 2018.

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

“Yo, Masaco Pinta Jorge Iván, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya, de la Titulación Arquitectura, siendo Cristian André Balcázar Arciniega director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.
Autor: Masaco Pinta Jorge Iván
Cédula: 1104104383

DEDICATORIA.

A mis padres, por su apoyo y motivación incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanos, por el cariño y aprecio día tras día.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco primeramente a Dios y a la Virgen por haber permitido alcanzar mis metas, a mis padres y hermanos por la ayuda incondicional que me brindaron durante toda mi vida, a mis profesores por haberme enseñado y compartido sus conocimientos, a mis amigos y compañeros.

Al Arq. Cristian Balcázar por su apoyo y orientación en la elaboración de esta investigación, a los ingenieros Ángel y Diego, por la ayuda dentro de los distintos laboratorios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	9
1.1 Los materiales de construcción.....	10
1.1.1 Historia de los materiales.....	10
1.2 Materiales compuestos.....	13
1.2.1 Fibras naturales.....	15
1.2.2 Fibras vegetales.....	15
1.3 Matriz de cemento.....	17
1.4 Refuerzos de fibras naturales.....	18
1.4.1 Mortero de fibra de natural.....	18
1.4.2 Estudios anteriores de cementos reforzados con fibras de sisal, coco y palma.....	19
1.5 Fibra de cabuya.....	22
1.5.1 Usos de la fibra de cabuya.....	23
1.5.2 Producción de la fibra de cabuya.....	23
1.6 Características de la fibra de cabuya.....	25
1.6.1 Estructura.....	25
1.6.2 Influencia de longitud, orientación, y proporción de fibra dentro de la pasta de cemento.....	26
1.6.3 Procesos de degradación de las fibras lignocelulosas.....	27
1.6.4 Propiedades físicas y mecánicas.....	28
1.6.5 Resistencia al medio alcalino.....	29
1.6.6 Porcentaje de absorción de agua.....	30
1.6.7 Efecto de los agentes protectores de parafina dentro de la matriz cementiceo.....	31
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
2.1 Ensayos de resistencia mecánica.....	33
2.1.1 Compresión.....	33
2.1.2 Flexión.....	33
2.1.3 Impacto.....	33
2.2 Ensayo a resistencia física.....	34
2.2.1 Absorción de agua Inmersión.....	34
2.2.2 Absorción de agua Capilaridad.....	34
2.2.3 Conductividad térmica y transmitancia térmica.....	34
2.2.4 Resistencia aérea sonora.....	34
2.2.5 Resistencia al Fuego.....	34

2.3	Materiales.	35
2.3.1	Cemento.	35
2.3.2	Parafina.	36
2.3.3	Árido.	36
2.3.4	Aditivo.	36
2.4	Los materiales que se encuentran en el laboratorio.	37
2.4.1	Balanza, batidora N50 Hobart.	37
2.4.2	Meza de fluidez, Tamizadora RO-TAP.	38
2.4.3	Equipo triaxial ACCU TEK, Versa TESTER.	38
2.4.4	Moldes.	39
2.4.5	Herramientas.	40
2.5	Dosificaciones.	40
2.5.1	Dosificación ensayo a compresión.	40
2.5.2	Dosificación ensayo a Flexión.	41
CAPITULO III: PROCESO EXPERIMENTAL		43
3.1	Corte de la fibra previo al tratamiento.	44
3.1.1	Corte de la fibra.	44
3.1.2	Tratamiento con de la fibra con parafina.	44
3.1.3	Eliminación de grumos.	45
3.2	Ensayo granulométrico.	46
3.2.1	Resultados.	47
3.3	Ensayo de fluidez.	48
3.3.1	Dosificación	49
3.3.2	Procedimeinto.	49
3.3.3	Resultados.	50
3.4	Ensayo a compresión.	51
3.4.1	Dosificación.	51
3.4.2	Procedimiento.	51
3.4.3	Enmoldado y curado	52
3.4.4	Peso y Longitud	53
3.4.5	Resultados.	54
3.5	Ensayo a flexión.	60
3.5.1	Dosificación.	60
3.5.2	Procedimiento.	60
3.5.3	Enmoldado y curado.	60

3.5.4	Peso y longitud.	60
3.5.5	Resultados.	61
3.6	Ensayo absorción de agua inmersión.	68
3.6.1	Elaboración de muestras.	68
3.6.2	Procedimiento.	69
3.6.3	Resultados.	69
3.7	Ensayo absorción de agua por capilaridad.	74
3.7.1	Procedimiento.	74
3.7.2	Resultados.	75
3.8	Ensayo Impacto.	80
3.8.1	Procedimiento.	80
3.8.2	Resultados.	81
3.9	Ensayo Conductividad térmica y transmitancia térmica.	85
3.9.1	Elaboración de paneles.	85
3.9.2	Procedimiento.	86
3.9.3	Resultado.	87
3.10	Ensayo Acústico.	91
3.10.1	Procedimiento.	92
3.10.2	Resultados.	93
3.11	Ensayo Fuego.	94
3.11.1	Procedimiento.	94
3.11.2	Resultados.	95
3.12	Análisis referencial.	95
3.13	Comparación con otros morteros de cemento reforzados con fibras naturales.	97
CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		98
4.1	Ensayo compresión.	99
4.2	Ensayo flexión.	100
4.3	Ensayo Absorción de agua (inmersión y capilaridad).	101
4.4	Ensayo Impacto.	102
4.5	Ensayo a Transferencia de calor.	103
4.6	Ensayo acústico.	103
4.7	Ensayo Fuego.	104
CONCLUSIONES.		108
RECOMENDACIONES.		109
BIBLIOGRAFIA.		110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Objetivos.....	7
Tabla 2: Materiales compuestos.....	14
Tabla 3: Tipos de fibras vegetales y su ubicación dentro de la planta.....	15
Tabla 4: Ventajas y desventajas de utilizar la fibra como refuerzo en la elaboración de materiales compuestos.....	16
Tabla 5: Comparación entre las diferentes propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio.....	17
Tabla 6: Factores que afectan las propiedades de los concretos reforzados con fibra natural.....	19
Tabla 7: Valores típicos de diámetro y longitud de la fibra de cabuya.....	26
Tabla 8: Propiedades físicas y mecánicas de las fibras vegetales.....	28
Tabla 9: Propiedades físicas.....	29
Tabla 10: Porcentaje de Absorción de agua en las fibras.....	30
Tabla 11: Tipos de cementos.....	35
Tabla 12: Requerimientos especificados de la resistencia Holcim Rocafuerte tipo GU obedecen a valores promedios de producción continua.....	35
Tabla 13: Dosificación 0.5% de fibra.....	41
Tabla 14: Dosificación 1.25% de fibra.....	41
Tabla 15: Dosificación 2% de fibra.....	41
Tabla 16: Dosificación 0.5% de fibra.....	41
Tabla 17: Dosificación 1.25% de fibra.....	42
Tabla 18: Dosificación 2% de fibra.....	42
Tabla 19: Ensayo granulométrico.....	47
Tabla 20: Dosificación 2% de fibra.....	49
Tabla 21: Obtención de datos ensayo fluidez.....	51
Tabla 22: Dosificación ensayo a fluidez.....	51
Tabla 23: Resultados compresión, 0.5% de fibra, 7 días de curado.....	55
Tabla 24: Resultados compresión, 1.25% de fibra, 7 días de curado.....	55
Tabla 25: Resultados compresión, 2% de fibra, 7 días de curado.....	55
Tabla 26: Resumen ensayo 7 días compresión.....	56
Tabla 27: Resultados, compresión 0.5% de fibra, 14 días.....	56
Tabla 28: Resultados, compresión 1.25% de fibra, 14 días.....	56
Tabla 29: Resultados, compresión 2% de fibra, 14 días.....	57
Tabla 30: Resumen, ensayo 14 días compresión.....	57
Tabla 31: Resultados, compresión 0.5% de fibra, 28 días.....	58
Tabla 32: Resultados, compresión 1.25% de fibra, 28 días.....	58
Tabla 33: Resultados, compresión 2% de fibra, 28 días.....	58
Tabla 34: Resumen ensayo 28 días compresión.....	59
Tabla 35: Resumen total del ensayo a compresión.....	59
Tabla 36: Dosificación ensayo flexión.....	60
Tabla 37: Ensayo 7 días de curado, flexión.....	62
Tabla 38: Resumen ensayo a flexión.....	63
Tabla 39: Resumen ensayo flexión, 14 días.....	64
Tabla 40: Resumen promedio ensayo a flexión, 14 días de curado.....	65
Tabla 41: Resumen ensayo de flexión, 28 días.....	66
Tabla 42: Resumen ensayo flexión, 28 días.....	67
Tabla 43: Resumen del ensayo, flexión.....	67
Tabla 44: Ensayo absorción por inmersión.....	70

Tabla 45: Ensayo absorción de agua, inmersión, 7 días.....	70
Tabla 46: Ensayo absorción de agua 14 días de curado.....	71
Tabla 47: Resumen ensayo absorción de agua inmersión, 14 días de curado.....	72
Tabla 48. Ensayo absorción inmersión, 28 días.....	72
Tabla 49: Ensayo absorción inmersión, 28 días.	73
Tabla 50: Resumen ensayo absorción de agua por inmersión.....	74
Tabla 51: Ensayo absorción capilaridad, 7 días.....	76
Tabla 52: Resumen ensayo absorción, 7 días.....	76
Tabla 53: Ensayo absorción de agua capilaridad, 14 días.	77
Tabla 54: Resumen ensayo absorción por capilaridad, 14 días.	77
Tabla 55. Ensayo absorción de agua capilaridad, 28 días.	78
Tabla 56. Resumen ensayo absorción de agua, 28 días.	78
Tabla 57: Resumen ensayo absorción capilaridad.	79
Tabla 58. Ensayo Impacto 28 días.	81
Tabla 59. Descripción del daño producido.....	81
Tabla 60: Resultados conductividad térmica.	88
Tabla 61: Resumen ensayo 30min.	89
Tabla 62: Resumen ensayo, 60 min.....	90
Tabla 63: Resumen total del ensayo.	91
Tabla 64: Resumen ensayo acustico.	93
Tabla 65: Resumen ensayo al fuego.....	95
Tabla 66: Resumen de ensayo al fuego.....	95
Tabla 67: Características técnicas del mortero de cemento con refuerzo de fibra de cabuya.....	95
Tabla 68: Guía para la selección de morteros.	96
Tabla 69: Guía especificación de uso de mortero.	96
Tabla 70: Comparativa con otros morteros de cemento con fibras naturales.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Formas laborado de sillares en Egipto.....	11
Figura. 2. Construcción en piedra (Manuscrito del sigloXV).....	11
Figura. 3 Construcción de un edificio	12
Figura. 4. Matriz de cemento	18
Figura. 5. Cemento reforzado con sisal.	20
Figura. 6. Estudios con fibra de coco.	21
Figura. 7. Cemento reforzado con fibra de palma	21
Figura. 8. Fibra de cabuya.....	22
Figura. 9. Usos de fibra de cabuya	23
Figura. 10. Producción de cabuya	24
Figura. 11. Extracción de fibra de cabuya.	25
Figura. 12. Estructura de la fibra de cabuya.....	25
Figura. 13. Representación esquemática de fibra continua y alineada, discontinua y alineada y de composites.	26
Figura. 14. Deformación generada e la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.....	27
Figura. 15. Proceso de degradación de la fibra lignocelusa.	28
Figura. 16. Relación esfuerzo deformación entre la fibra y la matriz.	29

Figura. 17. Parafina sólida.	31
Figura. 18. Áridos.....	36
Figura. 19. Aditivo plastificante.....	37
Figura. 20. Materiales de laboratorio.....	37
Figura. 21. Materiales de laboratorio.....	38
Figura. 22. Máquinas de laboratorio, ensayos.....	39
Figura. 23. Moldes de acero.....	39
Figura. 24. Grupo herramientas manuales.....	40
Figura. 25 Corte de fibra.....	44
Figura. 26 Sección de fibras.....	44
Figura. 27 Parafina en sus diferentes estados.....	45
Figura. 28 Tratamiento de fibra con parafina	45
Figura. 29 Fibra luego del tratamiento.....	46
Figura. 30 Eliminación de grumos.....	46
Figura. 31 Preparación del árido.....	47
Figura. 32 Deformación parcial del árido.....	48
Figura. 33 Mezcla sumamente seca.....	48
Figura. 34 Pesado de los materiales.....	49
Figura. 35. Preparación de ensayo fluidez.....	50
Figura. 36 Realización ensayo a fluidez.....	50
Figura. 37. Pesado de materiales.....	52
Figura. 38. Amasado de materiales.....	52
Figura. 39. Elaboración de la probetas.....	53
Figura. 40. Desenfrado de las probetas.....	53
Figura. 41. Toma de datos previo al ensayo.....	54
Figura. 42. Roturas de probetas.....	54
Figura. 43 Resumen, ensayo 7 días compresión.....	55
Figura. 44. Resumen, 7 días compresión.....	56
Figura. 45. Resumen, ensayo 14 días compresión.....	57
Figura. 46. Ensayo 28 días compresión.....	58
Figura. 47. Resumen ensayo 28 días, compresión.....	59
Figura. 48. Ensayo a compresión resumen.....	60
Figura. 49. Pesado de muestras previo al ensayo flexión.....	61
Figura. 50. Ensayo a flexión.....	61
Figura. 51. Grafica de deformación.....	63
Figura. 52. Ensayo 7 días, flexión.....	64
Figura. 53. Grafica deformación, ensayo 14 días flexión.....	65
Figura. 54. Resumen ensayo 14 días flexión.....	65
Figura. 55. Grafica deformación flexión 28 días de curado.....	66
Figura. 56. Resumen ensayo flexión 28 días.....	67
Figura. 57. Resumen flexión.....	68
Figura. 58 Obtención de probetas a partir de material ya ensayado.....	69
Figura. 59. Procedimiento ensayo absorción de agua.....	69
Figura. 60. Ensayo absorción de agua 7 días.....	71
Figura. 61. Resumen ensayo absorción inmersión, 14 días de curado.....	72
Figura. 62. Resumen ensayo 28 días.....	73
Figura. 63. Ensayo absorción de agua por inmersión.....	74
Figura. 64. Secado de probetas.....	75

Figura. 65. Elaboración de ensayo absorción por capilaridad.....	75
Figura. 66. Resumen de ensayo absorción, 7 días.	77
Figura. 67. Resumen ensayo absorción capilaridad, 14 días.....	78
Figura. 68. Resumen ensayo absorción por capilaridad, 28 días.	79
Figura. 69. Ensayo absorción capilar.	80
Figura. 70. Procedimiento ensayo al impacto, 28 días.....	81
Figura. 71. Características luego del ensayo 0.5%, 28 días.	82
Figura. 72. Características de probeta 0.5%. 28 días.....	82
Figura. 73. Características de probeta 1.25%, 28 días.	83
Figura. 74. Características de probeta 1.25%, 28 días.	83
Figura. 75. Características de probeta 0.5%, 28 días.	83
Figura. 76. Características probeta 2%, 28 días.	84
Figura. 77. Características de probeta 2% , 28 días.....	84
Figura. 78. Características probeta 2%, 28 días.	84
Figura. 79. Carcaterísticas de probetas 2%, 28 días.	85
Figura. 80. Realización de paneles.	86
Figura. 81. Equipo para ensayo conductividad termica y trasmitancia térmica.	86
Figura. 82. Peso y medida de paneles.	87
Figura. 83. Ensayo térmico.	87
Figura. 84. Índice total de calor 1min.....	89
Figura. 85. Índice de calor 30min.	90
Figura. 86. Índice total de calor.....	91
Figura. 87. Resumen del ensayo.....	91
Figura. 88. Calibración de sonómetro.	92
Figura. 89. Realización de ensayo acústico	92
Figura. 90 Resumen ensayo acústico	94
Figura. 91. Ensayo fuego.	94
Figura. 92. Análisis comparativo entre absorción y compresión.	99
Figura. 93. Análisis comparativo entre absorción y flexión.	100
Figura. 94. Distribución de fibras, interior.	101
Figura. 95. Análisis comparativo absorción de agua (inmersión capilaridad).....	101
Figura. 96. Análisis del desgaste de la muestras en el ensayo impacto.....	102
Figura. 97 Comparativa densidad conductuvidad térmica.	103
Figura. 98. Comparativa Aislamiento acústico- densidad	104
Figura. 99. Diagrama perdida de fibras en el interior de la pasta.	104

RESUMEN.

La utilización de fibras de cabuya en los morteros de cemento se ha incrementado últimamente, con el objetivo de reemplazar las fibras dañinas de asbesto cemento y mejorar sus características físicas-mecánicas, considerando los criterios de sostenibilidad, disponibilidad en el medio y bajo impacto. Sin embargo, las fibras no logran añadirse plenamente en un compuesto de cemento debido a su poca durabilidad en la matriz. En este estudio se presenta la elaboración de un mortero de cemento reforzado con fibra de cabuya con diferentes porcentajes de fibra (0.5%, 1.25%, 2%), Se determina el uso de parafina, como un tratamiento previo a la fibra reduciendo así su capacidad de absorción de agua y optimizar su adherencia fibra-matriz, se someten a ensayos de flexión, compresión, absorción de agua (inmersión-capilaridad), impacto, conductividad térmica, acústica y fuego. Como resultado se determinó que los morteros de cemento reforzado con porcentaje de 0.5% y 1.25% de fibra han obtenido los resultados más óptimos.

PALABRAS CLAVES: Fibras de cabuya; cemento; eco material; parafina, compuesto de cemento.

ABSTRACT.

The use of sisal fibers in cement mortars have increased lately, with the goal of replacing the harmful fibers of asbestos cement materials and improve their physical-mechanical characteristics, according to the criteria of sustainability, availability in the middle and low impact. However, the fibers are not able to be added fully in a compound of cement due to its low durability in the matrix. This study presents the development of a cement mortar reinforced with fiber of cabuya with different percentages of fiber (0.5%, 1.25%, 2%). Determines the use of paraffin, as a treatment prior to the fiber thus reducing its water absorption capacity and optimize its adherence fiber-matrix, are subjected to bending, understanding, absorption of water (immersion-capillarity), impact, thermal conductivity, acoustic and fire. As a result, it was found that the cement mortar reinforced with percentage of 0.5% and 1.25% of fiber have obtained the most optimal results.

Keywords: Fiber of Cabuya; cement; Echo material; paraffin, composed of cement.

INTRODUCCIÓN.

A través del tiempo las tecnologías en el área de la construcción se han desarrollado para mejorar las necesidades de la sociedad como habitabilidad, confort y seguridad, esto se refleja en los sistemas utilizados tanto en estructura y mampostería, en donde los materiales que se manejan han pasado un procesamiento de materias primas disponibles en la naturaleza hacia materiales compuestos con propiedades a la medida, que se obtiene con la ayuda de la tecnología.

Hace muchos años a nivel global, ya se creó nuevos procesos de fabricación que han permitido que se obtenga materiales con propiedades significativamente superiores a la de los materiales tradicionales. Esto se ha enfocado en combinar las propiedades de diferente tipos de material y de esta manera se puede obtener materiales compuestos que aumentan su resistencia mecánica y física (fisura, durabilidad y permeabilidad).

La ciencia desde un inicio se ha enfocado en realizar materiales compuestos de piedra, arcilla, el barro con las diferentes fibras vegetales en donde se los utiliza como refuerzo secundario que ofrecen muchas ventajas en durabilidad. Actualmente en los compuestos de cemento se incluyen fibras naturales o artificiales las que se muestran en variedad de tamaños, tanto vegetales y sintéticas, siendo incorporados en matrices a base de cemento que se compone de pasta mortero u hormigón. Las fibras vegetales presentan características inherentes a su naturaleza, las mismas que determinan su utilidad al momento de emplearlas como refuerzo de matrices, por ende cuando se elige una fibra como refuerzo, se debe tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinaran la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán (Dávila et al., 2011).

El propósito de las fibras vegetales de refuerzo además de mejorar las propiedades mecánicas de un material, contribuyen a reducir los problemas ambientales generados por la industria de la construcción en nuestro país.

Estado del conocimiento.

La tecnología y búsqueda de nuevos procesos de fabricación de materiales compuestos han permitido que hoy se los disponga con propiedades significativamente superiores, así también han entrado en escena los materiales que logran remplazar aditivos en elaboración de hormigón.

La búsqueda de la sostenibilidad en el uso del material de construcción ha hecho que los recursos renovables en el sector de la construcción sean más que una necesidad. Las fibras naturales a base de plantas son materiales renovables de bajo costo que se pueden encontrar en abundancia en muchos países. Los tipos de fibras, características y sus efectos sobre las

propiedades de los materiales a base de cemento son investigados además de los factores exentos a la fibra que afectan a las propiedades frescas y endurecidas, se enfoca entonces en las tendencias futuras, tales como el uso de los recursos naturales y sus efectos en el curado interno que disminuye la durabilidad en materiales compuestos a base de cemento.

Un claro ejemplo en materiales compuestos esta la investigación del cemento con refuerzo de fibra de coco en donde indagan el efecto del contenido de fibra natural en las propiedades físicas y mecánicas así como el comportamiento a la fractura, este proceso consistió en realizar un diseño de mezcla en donde las fibras de coco entraron como refuerzo en sustitución de la arena. La mezcla se efectuó a través de moldes y ensayos donde fueron llevados a su valoración final.

En esta experimentación obtuvieron resultados muy interesantes en el cual se dice que la fibra de coco se la puede utilizar como refuerzo para sustituir arena en el compuesto de cemento, además la fibra de coco aumentara el módulo de rotura, resistencia a la compresión y el comportamiento a la fractura ya que el compuesto demostró un puenteo de grietas y de empuje de fibra que es responsable para resistir la propagación de grietas (Abdullah, Jamaludin, Mohd Noor, & Hussin, 2011).

La carbonatación acelerada también ayuda en las exploraciones sobre durabilidad de los compuestos de cemento reforzados con fibras vegetales, en la investigación que se presentó, las probetas mejoradas se sometieron a carbonatación acelerada después de dos días de curado controlado, en efecto se averiguo en ciclos de envejecimiento natural. La interacción en la reducción de hidróxido de calcio, disminuyendo la porosidad, aumentando la buena adherencia y la densidad más alta lo que mejora el rendimiento mecánico después de las condiciones de envejecimiento. Finalmente como resultado la carbonatación acelerada evita la precipitación de los componentes en la matriz; los ensayos se realizaron en un compuesto de cemento reforzado con fibra natural de eucalipto (Almeida, Tonoli, Santos, & Savastano, 2013).

Se ha realizado comparaciones con fibras vegetales (sisal y palma) utilizadas como refuerzos en materiales compuestos cementosos ligeros, el estudio está enfocado en un análisis comparativo de las propiedades mecánicas resultantes de la adición de fibra de sisal y palma. La fibra de sisal aumenta la resistencia a la tracción de la matriz cementosa, mientras que la fibra de palma muestra una mayor capacidad de deformación hasta la ruptura, en última instancia, la fibra de sisal es más eficiente como refuerzo (Santos, Souza, Barquete, & Amado, 2016).

Las investigaciones se extienden para formar paneles; los estudios van a la evaluación de la capacidad de flexión en paneles de mortero con un máximo de 12mm de espesor reforzado de capas continuas unidireccionales de fibra de sisal. Mediante la adopción de cinco capas apiladas, cada uno implicado en una capa de fibra de espesor de 1 mm, en la flexión, la dureza es 46 veces más alta, una buena energía elástica en la iniciación de grietas, las pruebas de extracción de fibras se llevaron a cabo para evaluar las propiedades relevantes de la conducta de la fibra de sisal. El potencial de los paneles de mortero se demuestra en la serie de ensayos que aumentaron el módulo de elasticidad (Barros, Silva, & Toledo Filho, 2016).

Otra investigación es con la fibra de la palma tratada, aquí se detalla el rendimiento del mortero de cemento con porcentajes variables de fibra de palma ya que se evaluó su viabilidad para aplicaciones estructurales y no estructurales, el proceso consistió en dos pre-tratamiento alcalinos a concentraciones variables sometiendo en paquetes de fibras tratados y no tratados para ensayos de tracción, a la vez un estudio de propiedades mecánicas en diferentes tiempos de fraguado y estudios de resistencia a la flexión. En su evaluación arrojó como resultados que estas fibras presentan alta resistencia a la tracción y un bajo módulo de elasticidad a pesar de la alta resistencia inicial (Ozerkan, Ahsan, Mansour, & Iyengar, 2013).

Problema.

La fibra de cabuya cada vez es más utilizada como refuerzo en el mortero de cemento esto debido a su bajo costo y gran abundancia ya que se constituye un material renovable, sin embargo esto significa una pérdida de rendimiento mecánico a largo plazo ya que se somete a efectos de degradación cuando son expuestos en ambientes húmedos, resultando una pérdida en la adherencia entre la matriz y la fibra, además la inclusión de fibras a una matriz cementicia genera una pérdida de hidratación interna del cemento disminuyendo sus propiedades como nuevo material.

Justificación.

Los hormigones y morteros a base de cemento portland son muy resistentes a la compresión pero a la vez se tornan débiles en tensión, tienden a ser frágiles con una pobre resistencia al impacto y dureza. La tensión puede ser mejorada mediante el uso de fibras que pueden introducirse como un refuerzo para los hormigones y morteros.

Los refuerzos de hormigones con fibras se han incluido para controlar el agrietamiento inducido por las variaciones de humedad o temperatura, para proporcionar integridad post-fallo en el caso de la sobrecarga para resistir la propagación rápida de micro agrietamiento, así como la capacidad de soportar cargas (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

Las fibras vegetales presentan un conjunto de ventajas importantes, tales como la amplia disponibilidad a un coste relativamente bajo, la capacidad para ser reciclados, la biodegradabilidad, huella de carbono cero, y las propiedades físicas y mecánicas interesantes (baja densidad y la rigidez bien equilibrada, tenacidad y resistencia), las fibras vegetales se pueden encontrar en una amplia variedad de morfologías - diámetro, relación de aspecto, longitud y aspereza de la superficie y la forma principalmente hebras, pulpa o grapa (Abrishambaf, Pimentel, & Nunes, 2017a).

Esto representa una gran oportunidad para el potencial que Ecuador tiene en este campo, ya que en su territorio se han registrado cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, de las cuales, tan solo son 25 las especies producidas y utilizadas comercialmente. Entre ellas se cuentan a la cabuya, totora, abacá, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, y mimbre (SENPLADES, 2013).

Aunque las fibras naturales tienen algunas ventajas como baja densidad, menor abrasividad, y un menor coste en comparación con inorgánicas fibras de refuerzo, también tienen algunas desventajas tales como la degradación mecánica y térmica durante el procesamiento, la mala humectabilidad y alta absorción de humedad. Por otra parte, se sabe que las fibras naturales incluyen alto contenido de grupos hidroxilo (OH) que hace que el comportamiento sea más absorbente.

Todas las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, las mismas que determinan su utilidad al momento de emplearlas como refuerzo de matrices poliméricas. Estas características se encuentran relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden aportar al material, específicamente resistencia a esfuerzos de tracción, flexión, compresión e impacto. Por ende cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán (Tolêdo Romildo, Ghavami, England, & Scrivener, 2003).

Debido a la creciente investigación en refuerzos sintéticos en morteros de cemento, es de primordial importancia en la presente investigación, aportar con el análisis teórico y práctico con la experimentación directa con mortero de cemento y refuerzos vegetales de cabuya de tal manera que se pueda comprobar que esta fibra contribuya y trabaje plenamente como refuerzo y aumente las propiedades de morteros compuestos. En la ciudad de Loja el tema medioambiental es de gran importancia ya que aprovechar los recursos naturales y el manejo de materiales orgánicos que nos ayuden a disminuir el impacto ambiental, considerando este tema primordial, el uso de la cabuya como materia prima para los refuerzos morteros compuestos y a la vez disminuirá el impacto al ambiente y reducirá el costo en morteros compuestos. Este trabajo espera aportar al sector de la construcción en el ámbito técnico e

investigativo para promover el uso de materiales amigables con el medio ambiente y esperando que sirva como base de próximos estudios de materiales ecológicos.

Objetivos.

Tabla 1: Objetivos.

Objetivo general	Desarrollar un mortero de cemento reforzado con fibras vegetales de cabuya con porcentajes variables de fibra y valorar su viabilidad en aplicaciones como mortero.
Objetivo específico 1	Conocer las características mecánicas y físicas del mortero de cemento reforzados con fibras de cabuya con tratamiento de parafina.
Objetivo específico 2	Estudiar las propiedades físicas y mecánicas con diferentes mezclas con porcentajes (0,5%, 1.25%, 2%) de fibra en el mortero.
Objetivo específico 3	Determinar cambios en las propiedades físicas y mecánicas; compresión, flexión, absorción de agua, impacto, conductividad térmica, acústica y fuego del mortero de cemento reforzados con fibra de cabuya.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

METODOLOGÍA

Se basa en cuatro métodos (inductivo, experimental, lógico/ deductivo, analítico/ reflexivo).

- **Inductivo:** fundamentación teórica, conceptos básicos, aspectos generales de los materiales compuestos y el cemento. Las características y propiedades mecánicas y físicas de las fibras de naturales.
- **Experimental:** Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas, (compresión; NTE INEN 498, flexión; NTE INEN 198, absorción de agua inmersión/ capilaridad; UNEN EN 14617-1:2005. Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua, UNE 1925: 1999 y la norma UNE 772-11: 2001. Determinación de la absorción de agua por capilaridad, conductividad térmica; Norma chilenas NCH 853 “Acondicionamiento térmico, envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancia térmicas”, acústico; UNEN-EN-ISO 140-4 “Medición in situ de aislamiento al ruido aéreo entre locales” fuego; NTE INEN 804:2013”Prevención de incendios. Determinación de la resistencia de la resistencia al fuego de elementos constructivos”).
- **Lógico/deductivo:** Se analizan los resultados obtenidos para realizar la correcta caracterización de las fibras de cabuya, como refuerzo en mortero de cemento.
- **Analítico/ reflexivo:** se analizan y discuten los resultados, se expone una conclusión del desarrollo del trabajo de investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente en base a las fibras de cabuya como refuerzo de mortero de cemento y las recomendaciones que se deben tener en cuenta en la utilización de la fibra vegetal de cabuya como refuerzo en morteros de cemento.

**CAPITULO I:
MARCO TEÓRICO**

1.1 Los materiales de construcción.

1.1.1 Historia de los materiales.

La historia de los materiales de construcción se remonta a las etapas iniciales de la Civilización Humana en donde muchos materiales se vienen utilizando e incluso inventándose, un primer estudio de materiales fue en el cual el antepasado realizó la elección de forma racional; entre dos trozos de piedra para confeccionar una hacha; en ramas para utilizarlas como garrotes o entre dos pieles para abrigarse. El hombre utilizó su inteligencia, y mostró interés por los materiales no comestibles y los aplicó en el desarrollo de materiales constructivos.

Cuando aparecen las primitivas construcciones, sin ser verdaderas arquitecturas, se puede considerar materiales de construcción ya que el objetivo del hombre es resolver un problema: cubrir y cerrar un espacio para protegerse de la naturaleza, donde encontrará seguridad y confort. Los primeros hombres Neolítico se enfrentan a los problemas constructivos cuando su pensamiento de trascendencia los hace construir monumentos funerarios hace más de cinco mil años, erigieron dólmenes con grandes piedras, y aparece el primer sistema constructivo llamado el trilito (Laffarga. J, 1997).

Este sistema es utilizado para erigir los dólmenes con grandes piedras, también se crea, con troncos de árboles las estructuras porticadas primigenias, en los entramados de las viviendas, así es como son utilizados para cimentar las viviendas y defenderlas de las inundaciones. Los materiales de construcción que se los utilizaba en estos tiempos fueron de muy fácil extracción como el barro, piedras, maderas leñosas, ramajes y pajas lo que se hace difícil que queden restos en los yacimientos arqueológicos.

Durante los primeros imperios, la arcilla y la madera son los materiales más consumidos en las construcciones, a la vez con más dificultad se utiliza la piedra, cuyo uso es para la elaboración de columnas y pilares. La arquitectura religiosa y suntuaria con fines de permanencia, realiza monumentos como las pirámides egipcias y los zigurats mesopotámicos en donde se utilizó a la piedra labrada, ubicándola de forma escalonada sucesiva, las mismas eran revestidas con ladrillos cerámicos. A su mismo las viviendas se construyen a base de adobes secados al sol tanto en Egipto como en Mesopotamia, para reforzar los aparejos de piedra y de ladrillo, utilizan pastas, morteros de yesos y cal, en la aplicación de revestimiento, también se combinaba con morteros blancos de cal armonizando el blanco y el negro de estos materiales.

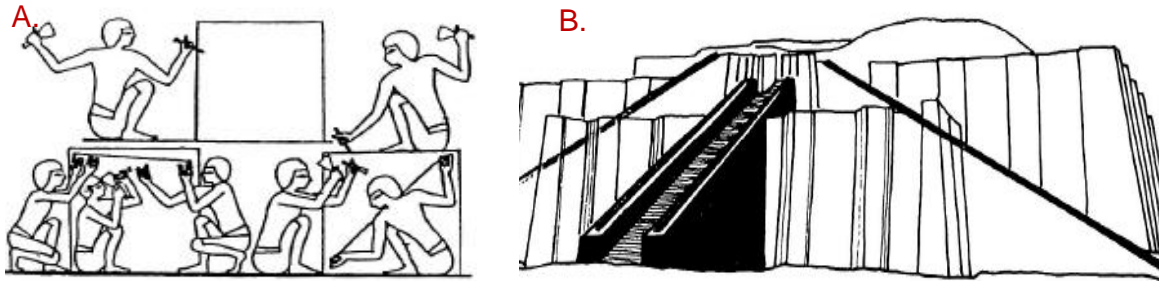


Figura 1. Formas laborado de sillares en Egipto.

A. Egipcios perfilando sillar con cincel

B. Elaboración final del templo

Fuente: (Laffarga. J, 1997)

Elaborado: El autor

En la época de Grecia y Roma se utilizan casi todos los materiales naturales para la construcción: rocas, maderas, adobes y otros artificiales (cerámicas y conglomerantes), estos recursos acaban concibiendo una arquitectura verdadera ya que se empieza a ordenar los espacios e inventaron formas arquitectónicas, con un claro sentido estético y de utilidad, los arquitectos griegos evolucionaron hacia la construcción equilibrada e inventaron los tres clásicos órdenes arquitectónicos. Los romanos conocían y empleaban muchos materiales de construcción, a parte de la piedra, uno de estos materiales era a base de hormigón, fabricado mezclando cal con puzolana y áridos de piedra o trozos de ladrillo cerámicos consiguiendo así excelentes hormigones hidráulicos.

En la Edad Moderna se producen múltiples acontecimientos importantes para la humanidad, se realiza la invención de la imprenta y el descubrimiento de América, con lo que se producen múltiples avances tanto en mundo cultural, económico, científico, político e incluso religiosos. En el ámbito de la arquitectura se profundiza el conocimiento de lo constructivo y se ve reflejado acertadamente en Galileo, cuando estudio con criterio científico la flexión de las vigas e inicio la teoría sobre la resistencia de los materiales. “También, hay que destacar el invento de la escayola, atribuido al arquitecto Andrea de Verrocchio (1432-1486), un material de construcción que no se preparó hasta entonces, pese a que el yeso como material de construcción se conocía desde tiempos remotos”(Dávila et al., 2011).

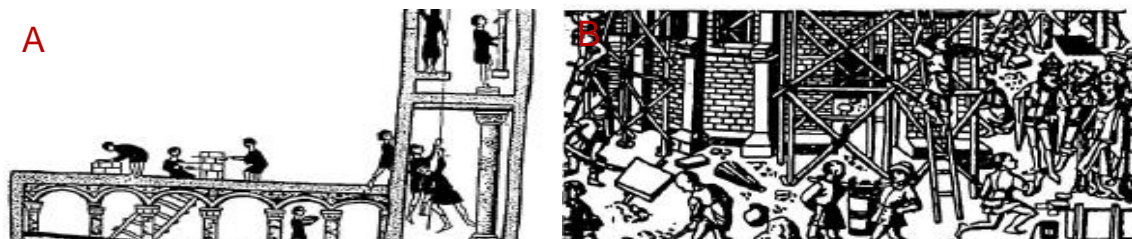


Figura 2. Construcion en piedra (Manuscrito del sigloXV).

A. Construcción época Romana

B. Construcción época Moderna

Fuente: (Laffarga. J, 1997)

Elaborado: El Autor

El siglo XVIII es el inicio de la revolución industrial que da paso de una civilización artesanal a un crecimiento con grandes producciones industriales, que entre otras cosas tuvo la disposición de grandes cantidades de materiales de construcción, e incluso de otros nuevos a bajo precio, con calidad constructiva más homogénea, e incluso superior a las que se ofrecían con los antiguos productos artesanales que utilizaban arquitectos e ingenieros.

La revolución industrial, como resultado, registra cambios importantes dentro de las edificaciones y en los materiales de construcción ya que a partir de la segunda mitad del siglo XIX, los ingenieros y químicos mejoraron su conocimiento en el tema, con nuevos hornos, molinos mezcladores y prensas que permiten la gran producción de ladrillos, tejas, baldosas, mayólicas, azulejos, elementos constructivos cerámicos de mayor calidad, más resistentes y con menores espesores.

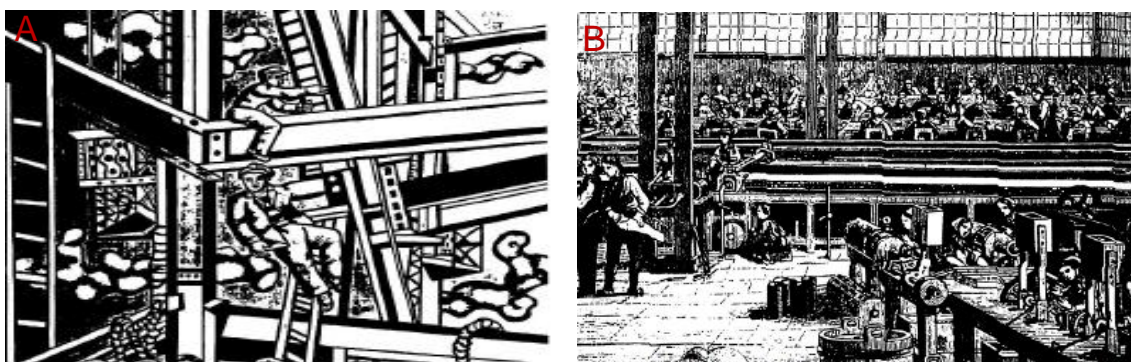


Figura 3. Construcción de un edificio.

- A. Construcción en acero
 - B. Construcción en madera
- Fuente: (Laffarga. J, 1997)
Elaborado: El autor

Lo que se mejoró muy notablemente, con los nuevos conocimientos científicos del XVIII, fue la producción de conglomerantes inorgánicos, consiguiéndose mejores calidades de yesos y cales aéreas, descubriéndose las cales hidráulicas y llegando al invento del cemento Portland, patentado, en 1824 (Laffarga. J, 1997).

Ya en el siglo XX la utilización efectiva de los materiales, se empezó a trabajar con polímeros, “En 1907 se patentó la baquelita, el primer plástico sintético. Posteriormente, en 1930, apareció el nylon, que se convirtió en una fibra polimérica sintética muy usada para la elaboración de vestimenta.” Se dio paso así a la formación de nuevas aleaciones, productos cerámicos avanzados, polímeros y materiales compuestos, que presentan propiedades mejoradas como su resistencia y la facilidad de fabricación (Dávila et al., 2011).

1.1.2 Amianto afecciones en la salud.

Entre uno de los materiales más utilizados en la construcción está el asbesto o (amianto), es uno de los componentes de los fibrocementos, que está compuesto de silicatos, fibras largas

y resistentes, se lo encuentra aún en variedad de productos como tejas, recubrimientos de tejas, baldosas, y azulejos.

A fines de los años 70, la investigación de la Comisión de seguridad de los productos para el consumo, detectó que este material influye en enfermedades respiratorias como la mesotelioma (un cáncer relativamente poco común de las membranas delgadas que revisten el pecho y el abdomen), ya que la gente que está expuesta al asbesto puede inhalar este producto que se desprende en el aire y alojarse en los pulmones.

El uso de asbesto está prohibido, en algunos países, como Estados Unidos, España, entre otros, en América Latina, Argentina y Chile prohibieron su uso hace algunos años, esto hizo que las empresas constructoras sean sancionadas y obligadas a pagar a sus clientes. Mientras que en Ecuador la prohibición de asbesto aún no está resuelta, solo existen normativas de seguridad para el manejo de este material, pese a ser nocivo para la salud.

Durante los últimos tiempos, revistas y artículos científicos, muestran sus resultados de los nuevos materiales con propiedades mejoradas y obtenidos con nuevos procesos de fabricación. Este aporte investigativo presenta la posibilidad no solo de caracterizar sino de evaluar, predecir, y diseñar los nuevos materiales, con la ayuda de la tecnología se puede observar los efectos a escala macro y microscópica, de su comportamiento dirigiendo las posibles aplicaciones estructurales o a la vez multifuncionales.

1.2 Materiales compuestos.

La investigación que se realiza mediante la industria de la construcción pone todo su conocimiento para entender las bondades de los nuevos materiales y su aplicabilidad como material de construcción

Los materiales compuestos son los que están elaborados por dos o más componentes de manera que sus propiedades sean mayores a de los componentes que está elaborado (Miravete & Castejón, 2002).

Los primeros materiales compuestos en la historia corresponden al siglo XX, exactamente en el año de 1907, cuando el químico belga Leo Baekeland, obtuvo por primera vez una resina termoestable, el proceso consistió en aplicar presión a un fenol y un formaldehído para obtener una resina líquida la cual se llamaba bakelita, la misma se aplicó en el desarrollo industrial de aislamientos, armamento y bisutería.

Dentro de la industria de la construcción, el primer material compuesto es el adobe, formado por barro y una armadura a base de paja, así mismo el yeso armado con crines de caballo. A pesar de esto es el hormigón el material más utilizado en la construcción y como bien se

sabe presenta una buena resistencia a la compresión pero muy malas características a flexión por lo que se busca corregir estas fallas y se incluye un refuerzo con barras de acero, que se define como hormigón armado, con muy buena resistencia a compresión, flexión y cizallamiento (Navarro & Barbero, 2014).

En esta denominación de material compuesto se diferencia la matriz (cemento) y el refuerzo en este caso metálico. La designación de compuesto, no solo se emplea en materiales de hormigón si no en varios en donde se mantenga una matriz y un refuerzo.

Tabla 2: Materiales compuestos.

	Material		Matriz	Fibras/refuerzo
En la naturaleza	Madera		Resinas naturales	Fibra de celulosa
	Huesos		Cemento cálcico	Fibra de colágeno
En el cuerpo humano	Antigüedad	Adobe	Barro	Paja
	Modernas	Yeso armado	Yeso	Crines de caballo
Hormigón armado		Hormigón	Armadura de acero	
Invencción humana para la construcción	Amianto cemento		Mortero de cemento	Amianto
	Morteros y hormigones fibrosos		Mortero	Acero, vidrio, poliméricas, carbono, vegetales
			Hormigón	
	Yeso armado		Yeso	Vidrio, poliméricas, vegetales
	Composites		Resina	Vidrio, poliméricas, vegetales, carbono, aramida
	Morteros poliméricos		Resina	Áridos

Fuente: (Olivares Santiago, Galán Marín, & Roa Fernández, 2003)

Elaboración: El Autor

En el periodo de inclusión de refuerzo se proporciona resistencia y rigidez en la mayoría de los casos, el refuerzo por lo general es una fibra o un material con partículas que tienen dimensiones que son aproximadamente iguales en todas las direcciones que pueden ser esféricas, plaquetas o de cualquier otra geometría regular. Estas actúan dentro de las matrices como armaduras o refuerzos de la misma, pudiendo llegar a absorber la práctica totalidad de las cargas que se aplican al compuesto.

1.2.1 Fibras naturales.

Las fibras naturales están presentes a lo largo de la historia y en la mayoría de la superficie de la Tierra, han desarrollado un papel fundamental en el ámbito de la construcción, donde se utilizan fibras de hojas y maderas para la construcción de viviendas.

A mediados del siglo XX, se realizaron varias investigaciones en la implementación de las fibras naturales con el concreto. Los resultados demostraron que se pueden usar con éxito estas fibras por sus propiedades mecánicas positivas en el ámbito de la construcción, a pesar de esto tienen muchos problemas con la durabilidad, puesto que las fibras son susceptibles a los cambios de volumen debido a la variación de humedad, lo que generó drásticamente la resistencia entre la fibra y desde luego la matriz.

En la actualidad los diversos estudios realizados con el objetivo de crear materiales compuestos amigables con el medio ambiente, incluye a las fibras naturales por ser completamente biodegradables para así de alguna manera poder mitigar el daño que se ha generado con otros materiales nocivos con el planeta (Miravete & Castejón, 2002).

1.2.2 Fibras vegetales.

Las fibras se encuentran formando parte de la estructura de las plantas, son filamentos lignocelulósicos compuestos por células largas, son parte de los tejidos vegetales y cumplen funciones específicas dentro de ella, como dar dureza y rigidez a la planta. Las fibras poseen varias características y propiedades que generalmente se clasifican en tres tipos de fibras las que son blandas, duras y de superficie.

Normalmente existen las fibras naturales de origen vegetal y las de origen animal, las agro-fibras o vegetales se pueden clasificar por sus diferentes áreas de extracción de la fibra como se muestra a continuación (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

Tabla 3: Tipos de fibras vegetales y su ubicación dentro de la planta.

F. Blandas	F. Duras	Superficie	Otras	
Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Cáñamo	Abacá	Algodón	Palma aceitería	Esparto
Ramio	Sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuaruá	Algodoncillo		Bambú
Kenaf	Formio			Bagazo
Yute				

Fuente: (Dávila et al., 2011)

Elaboración: El autor

La composición química de las fibras vegetales se constituye fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La estructura de las fibras varía según las diferentes especies, la edad

de la planta y las condiciones climáticas, esto afecta directamente en el comportamiento que van a tener posteriormente al momento de someterla a las aplicaciones como refuerzo. Además las fibras vegetales presentan propiedades mecánicas muy buenas sin embargo para la utilización de las agro-fibras como material de refuerzo se está considerando algunos parámetros importantes que determinan la facilidad de producción y rendimiento.

Tabla 4: Ventajas y desventajas de utilizar la fibra como refuerzo en la elaboración de materiales compuestos.

Ventajas	Amigables en la producción como en el desecho.
	Propiedades similares a las fibras de vidrio.
	Son renovables, menor cantidad de energía por unidad de producción.
Desventajas	Mejor elasticidad.
	Menos abrasivo durante el proceso de producción.
	La calidad depende de las condiciones naturales.
	La baja densidad se vuelve una desventaja durante el proceso.
	El enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil.
	La capacidad hidrofílica de las fibras naturales podría afectar las propiedades, dependiendo de la aplicación.
	Se requiere grandes áreas de cultivo.

Fuente: (Tapia et al., 2006)

Elaboración: El autor

Las fibras vegetales a comparación con otras fibras como la vidrio en aspectos como costo, reciclaje, consumo de energía, eliminación, es completamente superior. Por ende se refleja la tendencia en el mercado de preferirlas para sus nuevas aplicaciones. En el siguiente grafico se muestran la comparación de algunas fibras con sus diferentes propiedades.

Tabla 5: Comparación entre las diferentes propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio.

Fibras	Densidad (g/cm³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de Humedad
Vidrio -S	2.5	2000 - 3500	70	2.5	--
Vidrio- E	2.5	4570	86	2.8	--
Aramida	1.4	3000 - 3150	63 - 67	3.3 – 3.7	--
Carbón	1.4	4000	230 - 240	1.4 – 1.8	--
Cáñamo	1.4	690	35	1.6	8
Yute	1.3	393 - 773	26.5	1.5 – 1.8	12
Ramio	1.5	400 - 938	61.4 - 128	3.6 – 3.8	12 - 17
Coco	1.2	175 - 220	4 - 6	15 -30	10
Sisal	1.5	511 - 635	9.4 – 22.0	2.0 – 2.5	11
Abacá	1.3	400 - 1289	45	2.7	8 - 10
Lino	1.5	345 - 1035	27.6	2.7 – 3.2	7
Algodón	1.5	393 - 773	26.5	7 – 8	8 - 10

Fuente: (Dávila et al., 2011)

Elaboración: El autor

Las fibras de vidrio son ligeramente superiores pero cabe destacar que las fibras naturales son más livianas que las de vidrio, lo que se traduce en el aumento de eficiencia de los materiales que se requieren que sean resistentes y livianos.

1.3 Matriz de cemento.

La matriz de cemento por lo general es un material compuesto a base de cemento, áridos, agua y aditivos, en el cual se mezclan para poseer características mayores a la de cada material. Por otra parte se utilizan refuerzos ya sean naturales o sintéticos para mejorar sus características del cemento. Un aspecto importante a tener en cuenta es el tamaño de árido admitido ya que si sobrepasa de los 4mm de diámetro pasaría a ser un hormigón y ya no una matriz cementicia (Comino, Saint, & Vetrotex, 2014).



Figura 4. Matriz de cemento.

A. Pasta de cemento

B. Microestructura del cemento

Fuente: ("Cómo preparar pasta de cemento," 2018)

Elaboración: El autor

Por otro lado, los aspectos a tener en cuenta dentro de una matriz cementicia es su relación agua cemento (A/C), se tiene que considerar la cantidad de agua correcta para su trabajabilidad y su resistencia final.

1.4 Refuerzos de fibras naturales.

1.4.1 Mortero de fibra de natural.

El cemento reforzado con fibras, es un producto que en mayor parte está compuesto por pasta de cemento y aglomerantes hidráulicos y por otra parte con fibras naturales estas pueden ser vegetales o animales. Generalmente una matriz está conformada por áridos, agua, aditivos y adiciones.

Cuando se realizan morteros reforzados con fibras vegetales, hay que tener cuenta las siguientes recomendaciones; así para el cemento portland bajo la norma ASTM C150, recomienda utilizar el cemento ordinario o los cementos con mayor contenido de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, encargados en reducir el efecto retardante del fraguado producido por la glucosa presente en las fibras. En los áridos hay que tener en cuenta según la norma ASTM C33, que el tamaño máximo de árido admitido 4.75mm. Así mismo para el agua y los aditivos que podrían ser acelerantes para disminuir la influencia de la glucosa y también agua potable para mejorar la trabajabilidad de la mezcla, como también fungicidas para prevenir el ataque de hongos y bacterias.

En el procedimiento de mezclado, colado y compactado es muy similar a las recomendaciones establecidas para cemento reforzados con fibras de acero, vidrio o plástico. Estos nuevos materiales se deben tener en cuenta algunos factores que pueden variar las propiedades de los cementos reforzados con fibras.

Tabla 6: Factores que afectan las propiedades de los concretos reforzados con fibra natural.

Factores	Variables
Tipo de fibra	Coco, sisal, maguey, caña de azúcar, bambú, yute, plátano, madera, pasto de elefante y musumba.
Geometría de la fibra	Longitud, diámetro, sección transversal, anillos y puntas.
Conformación de la fibra	Monofilamentos, Multifilamentos, rizado y nudos simples
Condiciones superficiales	Hongos, presencia de recubrimientos,
Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, tipo de agregado y granulometría, tipos de aditivos
Diseño de la mezcla	Contenido de agua, relación agua/cemento, trabajabilidad, y contenido de fibra.
Método de mezclado	Tipo de mezcladora, secuencia al agregar los ingredientes, método para agregar las fibras, duración y velocidad del mezclado
Método de compactación	Vibración convencional, por presión y por impacto.
Técnica de colado	Colado convencional, lanzado o por extrusión.
Método de curado	Convencional, métodos especiales

Fuente: (Juarez, 2002)

Elaboración: El Autor

1.4.2 Estudios anteriores de cementos reforzados con fibras de sisal, coco y palma.

En estudios ya realizados, se elaboraron ensayos de especímenes reforzados con fibras de sisal determinando sus propiedades a flexión, absorción de agua, densidad absoluta y porosidad, también utilizaron seis tratamientos (aceite de linaza, aceite de linaza + resina natural, parafina, parafina + resina natural, sellador para madera y cretosa) para evitar la absorción de agua en las fibras al momento de ser incluidas a la matriz de cemento. Se utilizó un volumen de fibra del 1% de fibra del total de la mezcla con una longitud 20 a 30 mm, con una relación de agua cemento de $(A/C)=0.6$ y 0.35 . Los resultados que se encontraron fue su incremento de más del 50% en los especímenes con tratamiento de parafina y el 20% menos en su capacidad de absorción de agua. Además que los tratamientos con aceites y resinas son los más afectados por la reacción

alcalina de la matriz de cemento (Juarez Alvarado, Rodríguez López, Rivera Villarreal, & Rechy De Von Roth, 2003).

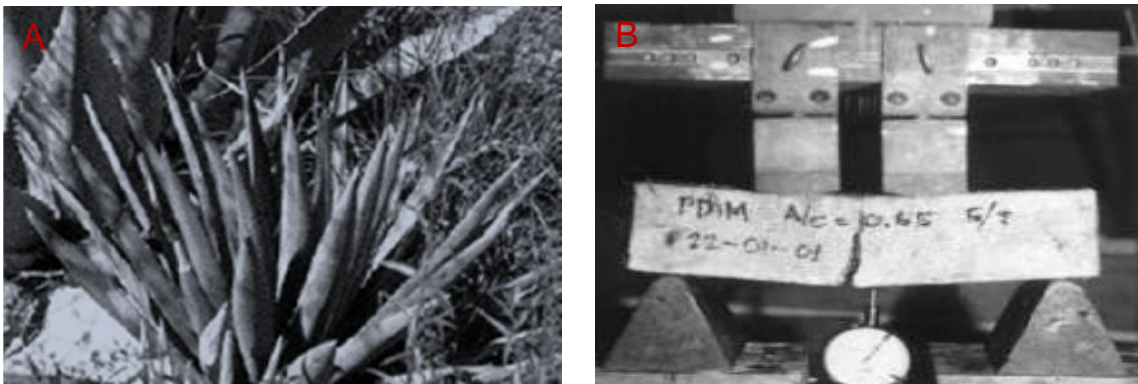


Figura 5. Cemento reforzado con sisal.

A. Planta de sisal

B. Ensayo a flexión

Fuente: (Juarez Alvarado et al., 2003)

Elaboración: El autor

A diferencia de los resultados de los cementos reforzados con sisal, en la fibra de coco se obtuvieron diferentes resultados y esto principalmente porque se adiciono la fibra con pasta de cemento y yeso, para eso en el laboratorio fabricaron más de 116 muestras que se ensayaron a absorción, flexión, porosidad, resistencia a los medios alcalinos. Se colocaron un volúmenes de 0.125% 0.50% 0.75% de fibra de coco, dando resultados positivos en absorción, compresión y flexión, finalmente muestran que la fibra de coco sirve como supresor a la grieta creando una etapa de propagación lenta. Sin embargo para la durabilidad no hubo un cambio muy significativo ya que al añadir estas fibras aumentan la absorción de agua y reducen la resistencia a los ácidos y medios alcalinos. Finalmente el estudio muestra que una posible aplicación de este material compuesto sería como un enlucido superficial para estructuras de mampostería (Sathiparan, Rupasinghe, & H.M. Pavithra, 2017).

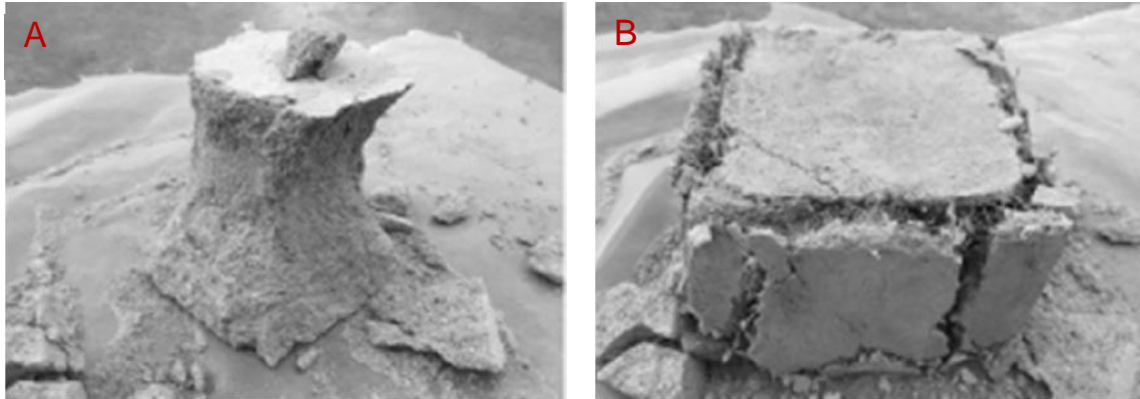


Figura 7. Estudios con fibra de coco.

A. Muestra sin fibra

B. Muestra con fibra

Fuente: (Sathiparan et al., 2017)

Elaboración: El autor

Otra investigación que se realizó, fue con la fibra de palma, en este caso las fibras obtuvieron un pre-tratamiento con hidróxido de calcio, para ello se sumergieron de forma agrupada en un 2% de la solución durante 1h y después se colocaron en un horno a 60grados durante 3h para secar, con una longitud de 100mm, para el ensayo a tracción, otra variable fueron los porcentajes de la fibra dentro de mezcla de 0.5, 1, 1.5, y 2% de fibra en donde los resultados arrojaron el máximo porcentaje de fibra proporciona una mala trabajabilidad. Así como la dificultad en la preparación y la obtención de muestras compactadas monolíticas, debido a la separación excesiva de los componentes de mortero. Se observó también que las fibras tratadas se mantuvieron intactas dentro de la matriz de cemento, sin obstaculizar los procesos de hidratación.

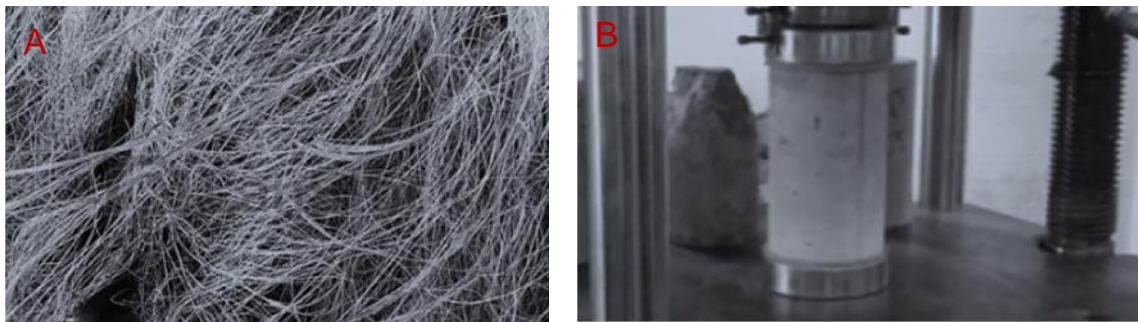


Figura 6. Cemento reforzado con fibre de palma.

A. Fibra de palma

B. Ensayo compresión

Fuente: (Ozerkan, Ahsan, Mansour, & lyengar, 2013)

Elaboración: El autor

1.5 Fibra de cabuya.

Actualmente existe una creciente demanda mundial de fibras naturales gracias a la conciencia que se ha ido tomando frente al enorme impacto que las fibras sintéticas ejercen sobre el planeta, pues se calcula que estos filamentos tardan más de 500 años en descomponerse. Esto representa una gran oportunidad para el potencial que el Ecuador tiene en este campo, ya que en su territorio se han registrado cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, de las cuales, tan solo son 25 las especies producidas y utilizadas comercialmente. Entre ellas se cuentan a la cabuya, totora, abacá, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, y mimbre (Dávila et al., 2011).

El penco es una planta productora de fibra, la cual se extrae de la hoja, y se clasifica como una fibra dura. Su origen se remonta a México, pero también es originaria de Ecuador, Colombia y Venezuela. La cabuya pertenece a la familia de las agaváceas y de orden las liliales su sistema radicular es muy característico la planta se origina como roseta de hojas largas y succulentas y conforme se desarrolla el tallo empuja la roseta.

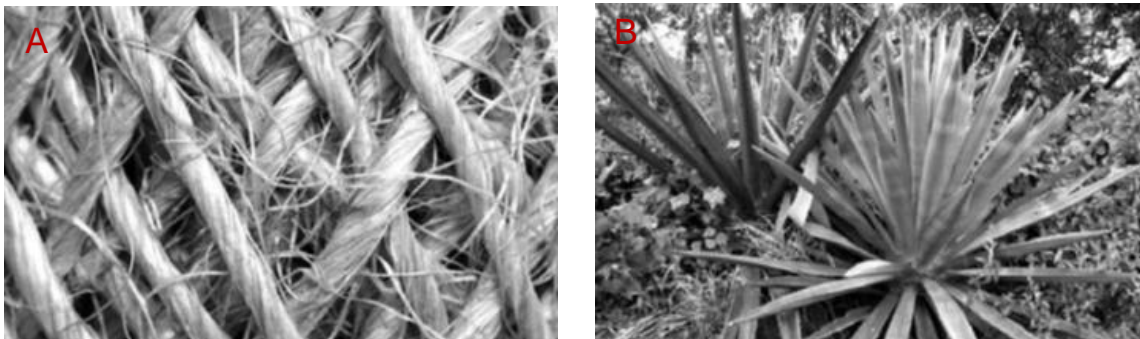


Figura 8. Fibra de cabuya.

A. Cuerda de cabuya.

B. Agave de cabuya.

Fuente: (Dávila et al., 2011)

Elaboracion: El Autor

Sus fibras son extraídas de las hojas de estas plantas, las cuales miden aproximadamente de 1 a 2 m de longitud y de 10 a 15 cm de ancho, pudiendo llegar a albergar más de 1.000 filamentos de fibra. Estas fibras se encuentran formadas por grupos de células largas, delgadas, y de paredes muy gruesas que se ensamblan entre sí en cordones continuos hasta de 2 m de largo.

Las fibras de cabuya son de color amarillo, crema o blanco y presentan una textura suave. Pueden ser fácilmente degradadas en agua salada pero en general exhiben gran resistencia y flexibilidad (Yousefieh, Joshaghani, Hajibandeh, & Shekarchi, 2017).

1.5.1 Usos de la fibra de cabuya.

La cabuya es una planta endémica del Ecuador, sin embargo se ha introducido y explotado satisfactoriamente en muchos ámbitos tanto en uso tradicional como industrial su aprovechamiento va más relacionado en el país tradicionalmente en la utilización como cerco vivo para establecer linderos entre las propiedades rurales, además es utilizada en sogas, alfombras, y piezas artesanales. Su producción también va en crecimiento a la producción de muebles estantes y piezas para la industria automotriz como paneles y revestimientos internos.

En el sector industrial, la cabuya va más apegada a la fabricación de envases (sacos) donde su uso es el recipiente de cadenas o insumos de primera necesidad (Quintero Garcia & Gonzalez Salcedo, 2006).



Figura 9. Usos de fibra de cabuya.

A. Fábrica de hilo de cabuya

B. Cuerda de cabuya

C. Guantes de cabuya

Fuente: (Juarez Alvarado et al., 2003)

Elaboración: El autor

Esto representa una gran oportunidad para el potencial que Ecuador tiene en este campo, ya que en su territorio se han registrado cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, de las cuales, tan solo son 25 las especies producidas y utilizadas comercialmente. Entre ellas se cuentan a la cabuya, totora, abacá, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, y mimbre (SENPLADES, 2013).

El uso de esta fibra en otros ámbitos exentos de la construcción, produce un movimiento económico entre el trabajador y el fabricante lo que hace que las personas tengan una nueva opción para generar economía.

1.5.2 Producción de la fibra de cabuya.

La producción de cabuya requiere de un proceso pleno desde la plantación hasta el producto final. Por lo general el cultivo de la cabuya se encuentra en las provincias de Carchi, Imbabura, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Loja, Guayas y Manabí.

La cabuya crece en terrenos pedregosos y arenosos, la plantación se distribuye a través de bulbillos que sirven de semillas, las mismas requieren nutrientes para crecer óptimamente, entre los principales elementos está el nitrógeno, potasio y magnesio que son esenciales para obtener una fibra de calidad. Durante el desarrollo de la planta es necesario que se encuentre libre de malezas, dependiendo de las condiciones del ambiente durante la estación de crecimiento, la cosecha se realizara entre los 2 o 3 años a partir del sembrado inicial (MAGAB. 2015).

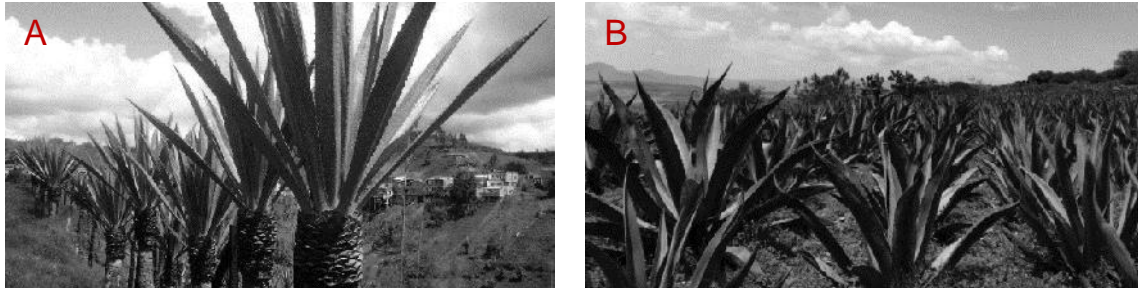


Figura 10. Producción de cabuya.

A. Corte de hoja de agave

B. Plantación de agave

Fuente: (Deicy, 2009)

Elaboración: El autor

Las hojas se cortaran todas las que están en el tallo dejando únicamente las que tiene un ángulo agudo con respecto al tallo puesto que son las más jóvenes, seguidamente de su recolección de las mismas y eliminación de las espinas que se encuentran alrededor para facilitar la extracción de la fibra. Después de realizar la cosecha inicial, las posteriores serán en intervalos de 6 a 12 meses estos cortes dependerán de las condiciones de crecimiento y a la edad de la misma, en mayor tiempo de los intervalos de cosecha se obtendrán fibras de mejor calidad. Las fibras se localizan en el tejido succulento de la hoja, para su extracción las hojas pasan por el descortezado, que involucra los pasos de golpeo y raspadura sobre rodillos los que se encargan de separar la pulpa de la fibra, posteriormente se lavan y se peinan para finalmente secarse en el sol (Dávila et al., 2011).

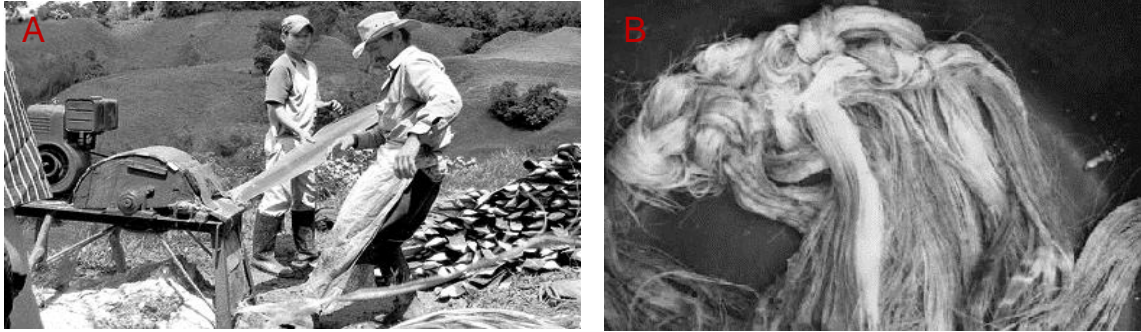


Figura 11. Extracción de fibra de cabuya.

A. Paso de rodillos a la fibra

B. Fibra extraída

Fuente: (Deicy, 2009)

Elaboración: El autor

Las fibras ya obtenidas tienen una longitud promedio entre 60 y 90cm, fuertes y resistentes a la salinidad, están compuestas de masas sólidas y células fibrosas redondeadas.

1.6 Características de la fibra de cabuya.

1.6.1 Estructura.

Las fibras de cabuya están formadas por microceldas individuales que se unen entre sí, por medio de la hemicelulosa y la lignina que conforman la morfología y estructura, el área de la sección a lo largo de la fibra es diferente, siendo un promedio de 0.05 mm² en la base, el centro 0.03 mm² y disminuyendo progresivamente hacia la punta con 0.01 mm²

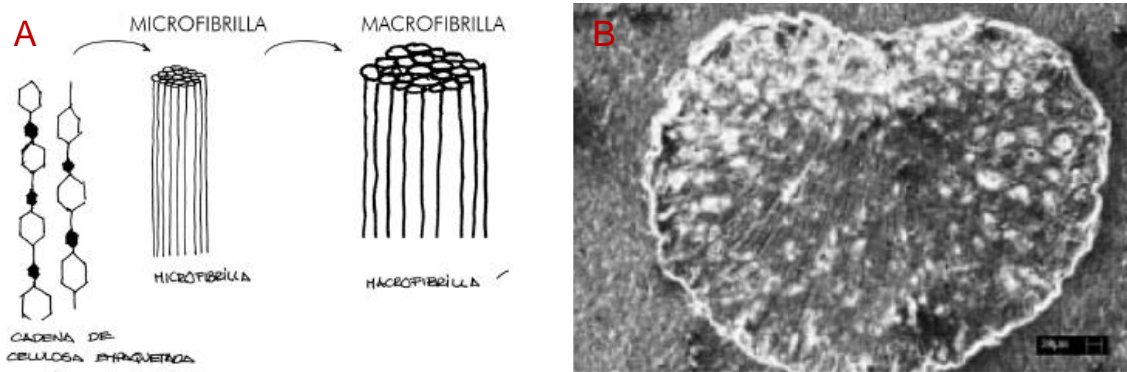


Figura 12. Estructura de la fibra de cabuya.

A. Estructura micro fibrillas

B. Corte trasversal de fibra

Fuente: (Howland & Martín, 2013)

Elaboración: El Autor

A sí mismo la longitud total es variable con un promedio de 750mm.

Tabla 7: Valores típicos de diámetro y longitud de la fibra de cabuya.

Cantidad De Fibras	Diámetro máximo mm	Diámetro mínimo mm	Longitud total mm
100	0.26	0.16	750
100	0.07	0.05	65

Fuente: (Juarez Alvarado et al., 2003)

Elaboración: El autor

1.6.2 Influencia de longitud, orientación, y proporción de fibra dentro de la pasta de cemento.

Los materiales compuestos presentan dos piezas principales la fibra y la matriz. Estos dos componentes han de ser fuertes, resistentes y con una temperatura de fusión alta. La influencia de las fibras sobre la matriz aumenta la resistencia, rigidez y dureza, van hacer determinantes para obtener las principales propiedades mecánicas.

La orientación del refuerzo también influye determinantemente en los resultados del composite y principalmente en su módulo de elasticidad. Además las fibras continuas y colocadas paralelas y unidireccionalmente originan la estructura más resistente cuando las cargas se aplican paralelas a las fibras (Abrishambaf et al., 2017a).

Sin embargo existe una relación entre la orientación y el porcentaje de las fibras así cuando se trata de fibras continuas colocadas unidireccionalmente puede llegarse al máximo porcentaje de fibras, establecido en un 70-80%. En el caso de compuestos con el refuerzo colocado ortogonalmente los porcentajes de las fibras se reducen a un 45-65%.

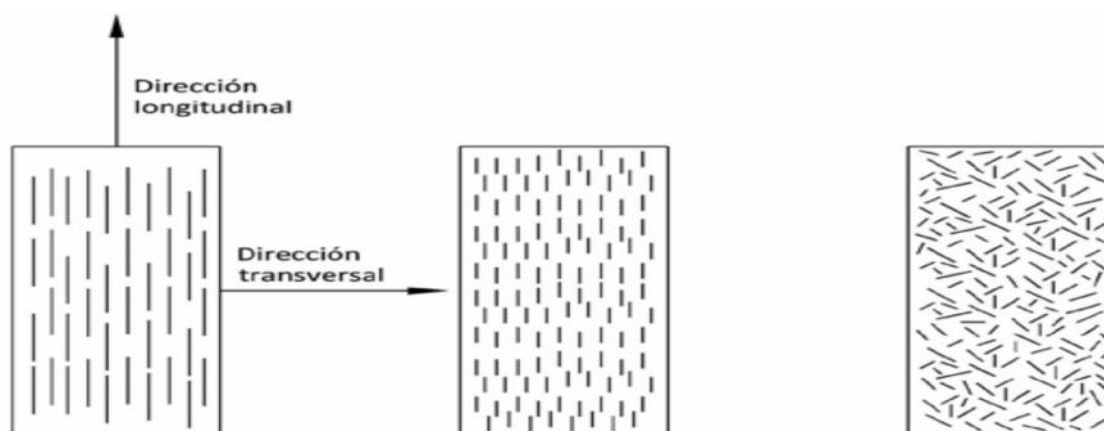


Figura 13. Representación esquemática de fibra continua y alineada, discontinua y alineada y de composites.

Fuente: (Dávila et al., 2011)

Elaboración: El autor

Y finalmente en el caso de distribución aleatoria de la fibra el porcentaje se reduce hasta quedar establecido entre un 20 y un 40% (Miravete & Castejón, 2002).

Las características de los materiales compuestos no solo dependen de las propiedades de la fibra, si no del grado en el cual una carga aplicada puede ser transmitida de la matriz, debido a que la carga es trasferida por un mecanismo de corte. La deformación es mayor que la de las fibras adyacentes. Si existe una perfecta unión entre fibra y matriz, la diferencia en la deformación cortante generada debido a la trasferencia de la carga (Abrishambaf, Pimentel, & Nunes, 2017b).

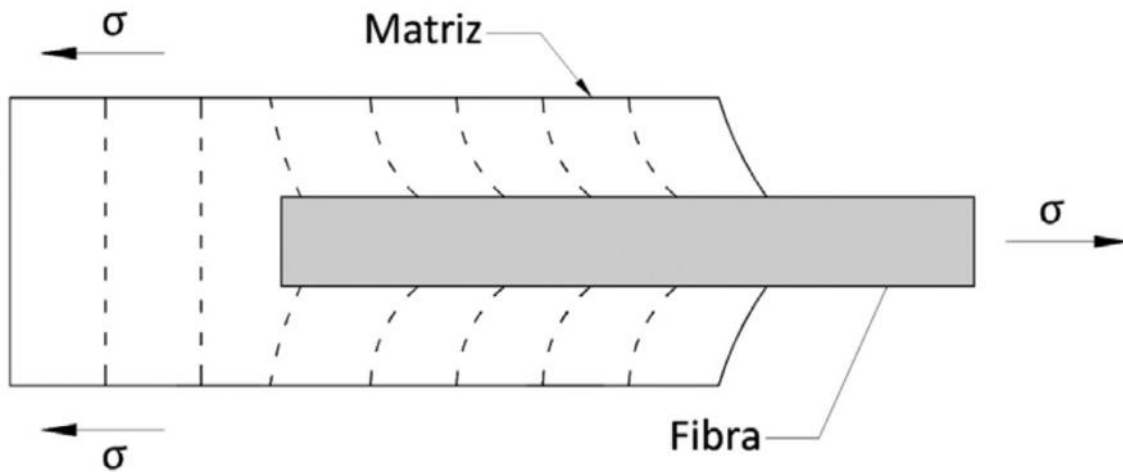


Figura 14. Deformación generada e la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.

Fuente: (Dávila et al., 2011)
Elaborado: El autor

1.6.3 Procesos de degradación de las fibras lignocelulosas.

Los mecanismos de degradación de las fibras lignocelulosas según el estudio de Jianqiang Wei Christian Meyer, concluyen que existen el procesos por el cual las fibras comienzan a debilitarse dentro de una pasta cementicia. En primer lugar exponen la degradación por hidrólisis, esto se da en la primera capa de la fibra (lignina y hemicelulosa), la que actúa como cutícula amorfa y sensible al medio alcalino, la degradación de la celulosa puede ser simplemente generalizada como la desconexión de nano cristales de celulosa discretas causadas por descomposición de extremos reductores (función C4OH original) en regiones amorfas. La mineralización de la pared celular también degrada la fibra esto se debe al grado de porosidad de la fibra ya que genera una precipitación acelerada de absorción de agua y probablemente el hidróxido de calcio lo que genera la desaparición de la celulosa (Wei & Meyer, 2015).

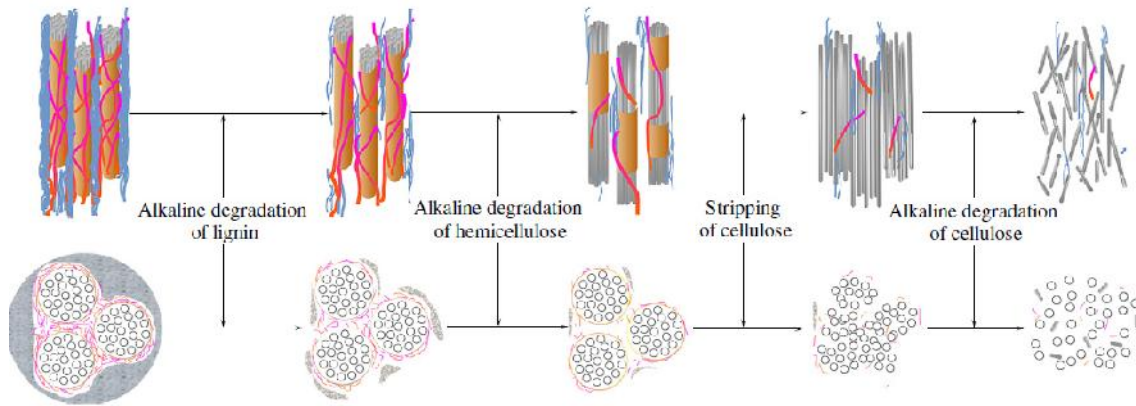


Figura 15. Proceso de degradación de la fibra lignocelulosa.

Fuente: (Wei & Meycer, 2015)

Elaborado: El autor

1.6.4 Propiedades físicas y mecánicas.

El comportamiento físico y mecánico de las fibras depende básicamente de su estructura y morfología básica, esta microestructura determina sus excelentes resultados específicamente a esfuerzos a tracción, flexión, compresión e impacto, esto también se debe a que este tipo de fibras son provenientes de las hojas y son más rígidas y más gruesas.

Tabla 8: Propiedades físicas y mecánicas de las fibras vegetales.

Densidad	Resistencia a tracción	Módulo de Young	Alargamiento a la rotura	Resistencia específica a la tensión	Modulo específico
gr/cm ³	MPa	GPa	%	GPa por gr/cm ³ r/	GPa por gr/cm ³ r/
1.45	468-640	9.4-22.0	3 - 7	0.32-0.44	6.48 -15.2

Fuente: (Llerena et al., n.d.)

Elaboración: El autor

Ya dentro de una matriz cementicia, la microestructura tiene un comportamiento diferente puesto que dentro, las fibras absorben una cantidad de agua de casi el 100% de su peso seco, esto se absorberán el agua durante el mezclado, la cual deberá adicionarse para evitar la pérdida de trabajabilidad de la mezcla. Además, el agua que absorben las fibras origina una inestabilidad en su volumen que propicia la pérdida de adherencia con la matriz de concreto. Esta absorción de agua está relacionada directamente con la porosidad de la fibra y el poco tiempo de saturación.

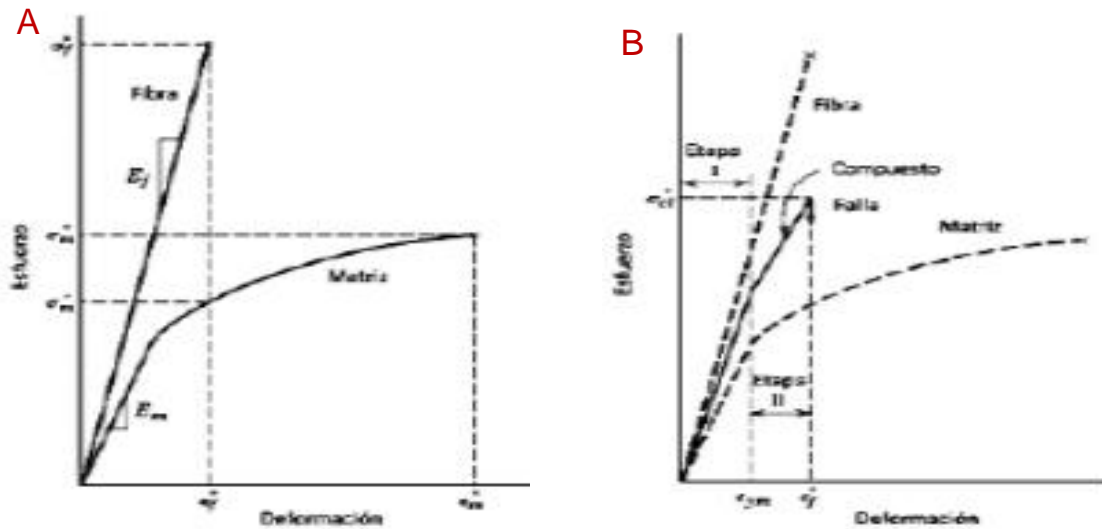


Figura 16. Relacion esfuerzo deformación entre la fibra y la matriz.

A. Deformación fibra y matriz

B. Deformación fibra, falla, matriz.

Fuente: (Juarez Alvarado et al., 2003)

Elaboración: El autor.

1.6.5 Resistencia al medio alcalino.

Uno de los principales puntos negativos de las fibras es su inestabilidad y la alcalinidad de una matriz, las microfibras que pasan a formar las paredes de la fibra están unidos entre si gracias a unos polímeros naturales que actúan de pegantes entre estos están: lignina, hemicelulosa, pectina, xesina.

Tabla 9: Propiedades físicas.

Fibra	Densidad	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Humedad
	(gr/cm3)	%	%	%/	%
Sisal	1.45	65	12	9.9	10

Fuente: (Llerena et al., n.d.)

Elaboración: El autor

Estos pegantes se ven afectados por el calor, la alcalinidad, disoluciones ácidas, que reducen su durabilidad y su capacidad como refuerzo.

Existen dos maneras de mejorar la durabilidad de un compuesto cementíceo reforzado con fibras vegetales; mejorar la fibra o la matriz. A la fibra con un tratamiento previo a las fibras como es el caso del aceite de linaza, parafina, sellador y creosota. Que el objetivo principal el impermeabilizar las fibras evitando la absorción de agua. Así mismo en el tratamiento de la matriz existen métodos como la reducción de la alcalinidad y carbonatación, y remplazar el cemento portland por materiales puzolánicos como el humo sílice.

1.6.6 Porcentaje de absorción de agua.

Las fibras naturales tienen una alta capacidad de absorber agua, las fibras de cabuya pueden absorber alrededor del 98% de agua con respecto a su peso seco en 24 h. Como se indica en la tabla 9 solamente se necesita de 1 h para que la fibra esté casi saturada presentando un 95% de absorción.

Tabla 10: Porcentaje de Absorción de agua en las fibras.

Muestra	Tiempo de saturación	W seco	W saturado superficialmente seco	W del agua Absorbida	Absorción relativa al W seco
	min	gr	gr		%
1	5	0.95	1.71	0.76	80
2	15	0.99	1.77	0.78	79
3	30	0.99	1.83	0.84	85
4	60	0.95	1.85	0.90	95
5	1440	0.95	1.88	0.93	98

Fuente: (Llerena et al., n.d.)

Elaboración: El autor

La acción capilar que se genera por la porosidad de la fibra, necesitando relativamente poco tiempo para su completa saturación. Existen algunas diferencias en el porcentaje de absorción de agua de las fibras de la familia del agave, y el sisal entre el 60 a 70%, Esto indica que la fibra de lechuguilla puede tener mayor porosidad que los otros tipos de fibras. La alta absorción de agua de la fibra produce un problema práctico durante el mezclado, ya que puede absorber el agua de reacción y modificar de esta forma la relación A/C interfiriendo con las reacciones de hidratación del cemento. Al disminuir la relación A/C puede generar mezclas poco manejables y problemas durante la compactación. Por otra parte, el exceso de agua absorbida genera un sustancial incremento de volumen en la fibra, la cual se encuentra embebida en la pasta de cemento durante su estado plástico. Al endurecer el concreto y secarse la fibra, ésta se contrae con la consiguiente pérdida de adherencia entre la fibra y la matriz. Originando que la resistencia a flexión y tensión del concreto se vean afectadas (Dávila et al., 2011).

1.6.7 Efecto de los agentes protectores de parafina dentro de la matriz cementicio.

Podemos reducir la cantidad de agua que puede absorber la fibra, y adicional darle una protección en contra el medio alcalino de la pasta de cemento mediante algunas hidrófobas como es el caso de, aceite de linaza, parafina sellador para madera y creosota. Según la investigación de tratamientos protectores previos para fibra de lechuguilla el más recomendable según su investigación es el tratamiento de parafina ya que le permite reducir su capacidad de absorción de agua, así mismo mantener un porcentaje aceptable de resistencia a la tensión después de haber estado en ambientes sumamente críticos (Juarez Alvarado et al., 2003).



Figura 17. Parafina sólida.

Fuente: (Juárez Alvarado et al. 2003)

Elaboración: El autor.

La parafina es una cera sólida a temperatura ambiente, con punto de fusión de 67°C aproximadamente. Compuesta por una mezcla de hidrocarburos que se obtienen normalmente como subproducto de la fabricación de aceites lubricantes derivados del petróleo (Abrishambaf et al., 2017b).

**2 CAPITULO II:
MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1 Ensayos de resistencia mecánica.

Los ensayos a flexión y tensión se ven definidos bajo la norma INEN 448 y 198 respectivamente, que son estrictamente en la fabricación de morteros, es decir, mezclas sin agregados gruesos. El mortero reforzado con fibras de cabuya está dentro de la relación agua/cemento (A/C) de 0.50, la cual tienen diferentes aplicaciones. La primera es una relación A/C alta muy común en los trabajos de albañilería, puede ser utilizada para fabricar elementos constructivos de bajo costo y para la autoconstrucción. La segunda produce un concreto de mayor densidad e impermeabilidad lo cual resulta conveniente para aplicaciones estructurales más importantes y de mayor costo (Llerena et al., n.d.).

2.1.1 Compresión.

Este ensayo se utiliza para identificar la capacidad de carga que soporta un material compuesto, la resistencia a la compresión se ve afectada significativamente por la edad del mortero, relación agua cemento, granulometría del árido, el área superficial, etc. Por ende es importante identificar con mayor precisión las características mecánicas de un mortero sometido a alta presión para poder caracterizarlo correctamente (Karinski, Yankelevsky, Zhutovsky, & Feldgun, 2017).

2.1.2 Flexión.

El ensayo a flexión es la curva del módulo de deformación máximo donde falla el material y este depende mucho de la resistencia de la matriz, módulo de elasticidad, adherencia de la fibra con la matriz, la longitud y orientación de la fibra.

Por lo tanto en este ensayo se verifica el verdadero esfuerzo de la fibra como refuerzo, ya se muestra como un material dúctil en el cual no desprende sus partes por ende se considera el valor al momento de su primera grieta (Wang, Chia, Liew, & Zhang, 2013).

2.1.3 Impacto.

Este ensayo se caracteriza el comportamiento y resistencia de un material frente a impactos de alta y baja velocidad, en este caso la resistencia a impacto se evalúa la energía por unidad de superficie durante la fractura del material, así mismo los ensayos a impacto por caída libre son más precisos para detectar los problemas de fragilización, además de eso proporcionan una buena aproximación del comportamiento del material ya en servicio (Pettarin et al., 2011).

2.2 Ensayo a resistencia física.

2.2.1 Absorción de agua Inmersión

En este ensayo se determina la capacidad natural del mortero para absorber agua, esto depende mucho de las características del material y del tiempo de inmersión, el agua presentes en los poros de este material, durante un tiempo definido se define como coeficiente de saturación (Villegas, 2000).

2.2.2 Absorción de agua Capilaridad.

La absorción capilar determina la cantidad de agua que absorbe una muestra en un definido tiempo esto quiere decir que tiene relación con el porcentaje de poros, los que influyen con el intercambio de humedad ya que son la interconexión con el exterior. El porcentaje de poros mide el grado de durabilidad frente a los agentes agresivos ya que de esto depende la permeabilidad del hormigón (Howland & Martín, 2013).

2.2.3 Conductividad térmica y transmitancia térmica.

El ensayo de conductividad térmica nos proporciona la cantidad de calor que pasa por unidad de tiempo a través de la unidad de masa del material, al establecer una diferencia de temperatura en una de sus caras, su caracterización se establece en 3 puntos la resistencia del material, resistencia de una capa del material y la resistencia de la cara inversa, o cámara caliente, en estos puntos la precisa con mayor precisión la transmitancia térmica ya que se verifica la diferencia de temperaturas entre dos espacios separados (Al-mohamadawi, Benhabib, Dheilily, & Goullieux, 2016).

2.2.4 Resistencia aérea sonora.

Se trata de la cantidad de energía sonora transmitida a través de un material en este caso para caracterizar un material que funciona como pared, piso, (elemento divisorio entre dos espacios) al que se coloca una fuente generadora de sonido (emisor) en un extremo y un sonómetro en el otro, con el que se mide la cantidad de decibeles que se logran pasar a través del material (Minvu, 2006).

2.2.5 Resistencia al Fuego.

Este ensayo permite la evaluación del mortero bajo la inclemencia del fuego, el mismo que busca conocer el comportamiento del material a una elevada temperatura pasado los 100°C, ya que la resistencia mecánica del material se torna sumamente baja, llegando a existir fisuras que aceleran la falla del material. Además se logra obtener resultados más precisos del material ya que se acerca al material ya en servicio (Varona, Baeza, Bru, & Ivorra, 2018).

2.3 Materiales.

2.3.1 Cemento.

El cemento es un polvo químico que se endurece al contacto con el agua, que inicia con la pulverización del Clinker, el mismo que se compone de sulfato de calcio, 5% de piedra caliza y adiciones de proceso. Esta bajo la norma de los cementos portland NTE INEN 152, que establece los requisitos de desempeño y requisitos que debe de cumplir de acuerdo a sus propiedades específicas del mismo.

Tabla 11: Tipos de cementos.

TIPO DE HORMIGON	DESCRIPCION
TIPO GU	Para construcción.
TIPO HE	Alta resistencia inicial.
TIPO MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
TIPOHS	Alta resistencia a los sulfatos.
TIPO MH	Moderado calor de hidratación.
TIPO LH	Bajo calor de hidratación.

Fuente: El autor

Editado: El autor

Para obtener los máximos resultados el cemento esta contemplados bajo la norma NTE INEN 2380, en donde indica que los cementos tipo GU son aptos para la construcción de todo tipo donde se requieran propiedades especiales que brindan confianza y seguridad de utilizar este tipo de hormigones.

Tabla 12: Requerimientos especificados de la resistencia Holcim Rocafuerte tipo GU obedecen a valores promedios de producción continua.

Rubro	Valores Físicos						
	INEN 152		INEN 2380			Holcim	
	TIPO I	TIPO II	GU	HE	HS	GU	HE
Resistencia 1 día	-	-	-	12	-	11	15
Resistencia 3 día	12	10	13	24	11	19	25
Resistencia 7 día	19	17	20	-	18	24	32
Resistencia 28 día	28	28	28	-	25	32	39

Fuente: El autor a partir de la Normas INEN 2380

Editado: El autor

El cemento holcim se lo puede cotizar en cualquier lugar de venta de materiales de construcción, se debe tener en cuenta su lugar de almacenamiento ya que si este se encuentra en un área muy húmeda es posible que inicie ya su fraguado y no tenga la máxima resistencia que se necesita.

2.3.2 Parafina.

La cera parafina es un sólido blanco constituido por una mezcla de hidrocarburos, a la vez es insoluble en agua o alcohol, se obtiene a partir de petróleo, además posee un peso molecular de 350-450 y un punto de ebullición de 46°C a 68°C.

Algunos informes comentan que la cera parafina en su estado líquido puede ser incomoda ya que puede llegar a tener pequeñas cantidades de impurezas que tornan el ambiente pesado y nauseabundo (Parafina, n.d.).

2.3.3 Árido.

La arena normalizada que se utilizará debe cumplir los requisitos según la norma NTE INEN 873, que establece las características de graduación, porcentaje y pasante del tamiz, el cual que debe hacerse al menos cuando existe sospecha de contaminación de la arena que producen burbujas de aire en los morteros.

La procedencia de la arena con la que se realizan las muestras es de canto rodado del río Malacatos, la misma que se la adquiere en estado húmedo por que se utiliza el horno para secar la arena.

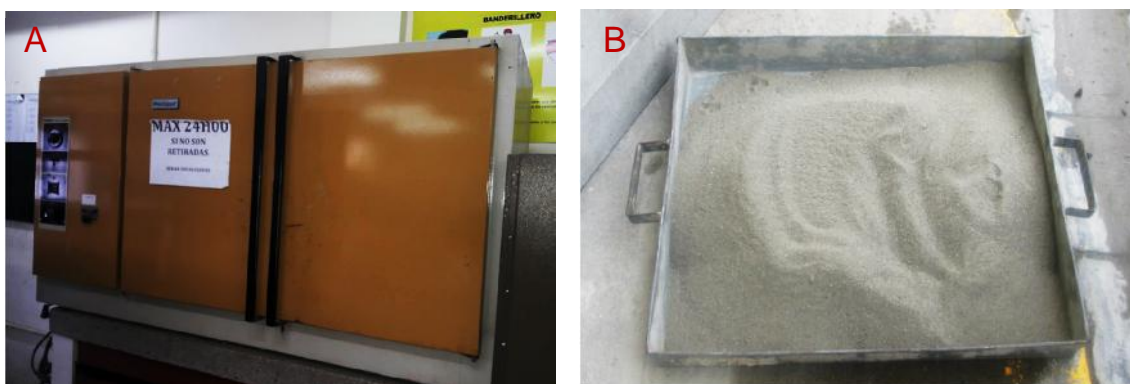


Figura 18. Áridos.

A. Horno

B. Árido

Elaboración: El autor

Fuente: El autor

2.3.4 Aditivo.

Los aditivos plastificantes son sustancias que ayudan al hormigón a mejorar sus propiedades que permiten una reducción de hasta un 20% de agua según la dosificación especificada, una de sus principales características es el de mejorar sus propiedades mecánicas, mejorar su adherencia, trabajabilidad, hasta incrementa la durabilidad y permeabilidad del concreto. Se añade de preferencia cuando la mezcla ya haya iniciado, conjuntamente con el cemento, según el método de aplicación del fabricante (Del, n.d.).



Figura 19. Aditivo plastificante.

Elaboración: El autor

Fuente: El autor

2.4 Los materiales que se encuentran en el laboratorio.

2.4.1 Balanza, batidora N50 Hobart.

La Balanza eléctrica modelo FX- 5000i cuenta con una buena precisión al momento del pesado, su margen de error de 0.01g a 1 mg, haciendo que las cantidades de materiales sean las correctas. Otro maquinaria importante es la batidora ay que este equipo cuenta con tres velocidades muy fáciles de operar con lo que consigue estar dentro de los estándares ASTM y alcanzar grandes resultados al momento de procesar grandes cargas pesadas durante un tiempo.

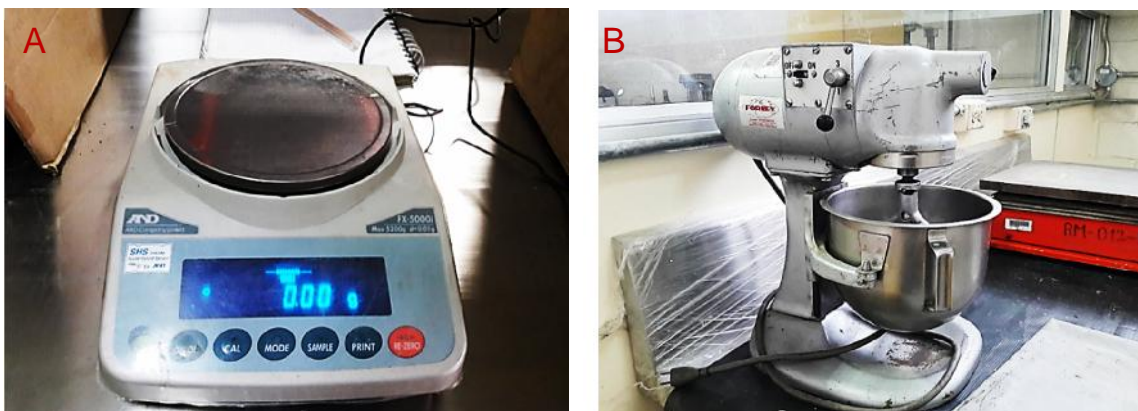


Figura 20. Materiales de laboratorio.

A. Balanza, FX-5000i

B. Batidora N50 Hobart.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

2.4.2 Meza de fluidez, Tamizadora RO-TAP.

La meza de fluidez ideal para la determinación de la consistencia de morteros en la relación del porcentaje de agua de la pasta, el equipo está bajo los requerimientos de la norma ASTM C1437. La misma está equipada con una rueda manual para las sacudidas de la pasta, además de eso cuenta con una mesa de diámetro de 254mm y molde cónico de 100mm para la base y 70mm para la parte superior con 50mm de alto.

La tamizadora RO-TAP se encuentra bajo los estándares ASTM, con un funcionamiento multidimensional, cuenta con movimiento circular horizontal y un movimiento de golpe vertical. Además en su cabina puede albergar hasta 8 tamices con lo que el equipo puede simular el tamizado manual y obtener resultados consistentes y repetibles.



Figura 21. Materiales de laboratorio.

A. Meza de fluidez.

B. Tamizadora RO-TAP

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

2.4.3 Equipo triaxial ACCU TEK, Versa TESTER.

Es una prensa hidráulica bajo los requerimientos de la ASTM tiene una capacidad de 1.112KN, con lectura digital en el sistema métrico o inglés, lo que permite ingresar datos para mejorar la precisión en el momento de los ensayos.

La versa TESTER, es una máquina de uso general, hidráulica diseñada para realizar diferentes ensayos dentro del laboratorio tales como; ensayos a flexión, compresión, triaxiales, compresión sin confinar, etc. Además cuenta con carga de 30000 a 60000 lb por lo que cumple los requerimientos de la norma ASTM.



Figura 22. Máquinas de laboratorio, ensayos.

A. Versa TESTER.

B. Equipo triaxial

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

2.4.4 Moldes.

Los moldes a utilizar en el caso de los ensayos a compresión están bajo la norma NTE INEN 488 que especifica los requerimientos de metal duro, las paredes deben ser las suficientemente duras para evitar ensanchamientos.



Figura 23. Moldes de acero.

A. Molde cubos 50mm

B. Molde prisma 40x40x160mm

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

2.4.5 Herramientas.

Es importante destacar las herramientas manuales que se utilizan para la elaboración de las muestras del material compuesto en donde se describe rápidamente su uso y denominación de las mismas.

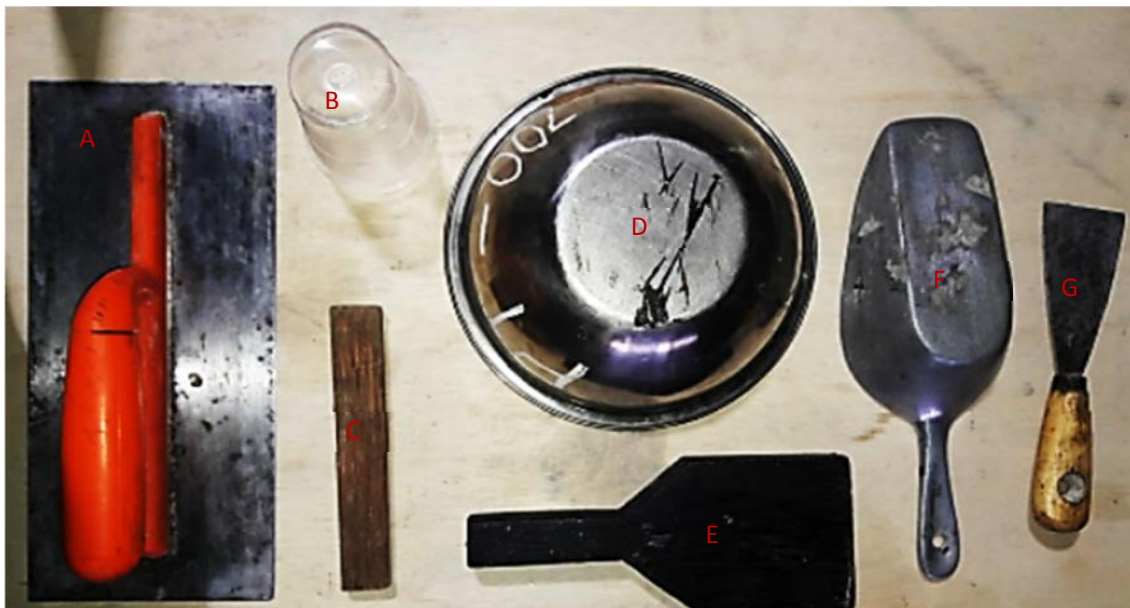


Figura 24. Grupo herramientas manuales.

A. La llana: ideal para el acabado superficial de la muestras

B. Vaso Plástico: Para medir los agregados (agua- aditivo)

C. Apisonador 1: Bajo el requerimiento de la norma NTE INEN 488

D. Recipiente metálico: Para acoger las muestras

E. Apisonador 2: En este caso de madera bajo los requerimientos de la norma INEN 198 sirve para facilitar el llenado y la compactación de los moldes

F. Pala de mano: Ideal para el trabajo manual

G. Espátula: Para facilitar el trabajo de muestras al momento de ingresar al molde.

Elaboración: El autor

Fuente: El autor

2.5 Dosificaciones.

Las dosificaciones especificaciones están dispuestas bajo las normas NTE INEN 488, donde especifica claramente las proporciones en masa, una de cemento por 2.75 partes de arena normalizada y graduada. Además mantener una relación agua cemento mínima de 0.485 tanto para ensayos a flexión como a compresión.

2.5.1 Dosificación ensayo a compresión.

Las cantidades que se especifican a continuación están especificadas para elaborar un numero de 3 especímenes bajo los requerimientos de la norma NTE INEN 488,

especificando las cantidades de arena, agua, cemento y la fibra (0.5, 1.25, 2) % de total de la mezcla.

Tabla 13: Dosificación 0.5% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm3)	Fibra (0.5%)	Curado (días)
MCI	0.485	67	200	32.49	1.5	7
MC2	0.485	67	200	32.49	1.5	14
MC3	0.485	67	200	32.49	1.5	28
TOTAL	0.485	201	600	97.47	4.5	-

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 14: Dosificación 1.25% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm3)	Fibra (1.25%)	Curado (días)
MCI	0.485	67	200	32.49	3.74	7
MC2	0.485	67	200	32.49	3.74	14
MC3	0.485	67	200	32.49	3.74	28
TOTAL	0.485	201	600	97.47	11.22	-

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 15: Dosificación 2% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (cm3)	Fibra (2%)	Curado (días)
MCI	0.485	67	200	32.49	5.60	7
MC2	0.485	67	200	32.49	5.60	14
MC3	0.485	67	200	32.49	5.60	28
TOTAL	0.485	201	600	97.47	16.8	-

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

2.5.2 Dosificación ensayo a Flexión.

Para este caso las cantidades se especifican para elaborar un número de 3 especímenes bajo los requerimientos de la norma NTE INEN 198, especificando las cantidades de arena, agua, cemento y la fibra (0.5, 1.25, 2) % de total de la mezcla.

Tabla 16: Dosificación 0.5% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (cm3)	Fibra (0.5%)	Curado (días)
MF1	0.485	170	510	82.45	3.81	7
MF2	0.485	170	510	82.45	3.81	14
MF3	0.485	170	510	82.45	3.81	28
TOTAL	0.485	510	1530	247.35	11.43	-

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 17: Dosificación 1.25% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (cm3)	Fibra (1.25%)	Curado (días)
MF1	0.485	170	510	82.45	9.53	7
MF2	0.485	170	510	82.45	9.53	14
MF3	0.485	170	510	82.45	9.53	28
TOTAL	0.485	510	1530	247.35	28.9	-

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 18: Dosificación 2% de fibra.

Código de Muestra	Relación A/C	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (cm3)	Fibra (2%)	Curado (días)
MF1	0.485	170	510	82.45	15.25	7
MF2	0.485	170	510	82.45	15.25	14
MF3	0.485	170	510	82.45	15.25	28
TOTAL	0.485	510	1530	247.35	45.75	-

Fuente: El autor

Editado: El autor

**CAPITULO III:
PROCESO EXPERIMENTAL**

3.1 Corte de la fibra previo al tratamiento.

3.1.1 Corte de la fibra.

Para seccionar la fibra de una longitud de 20mm máximo, se agrupa las hiladas se las mide con el calibrador y se procede con la tijera a recortar y obtener la fibra seccionada, según los estudios previos que justifican esta medida como la más óptima.

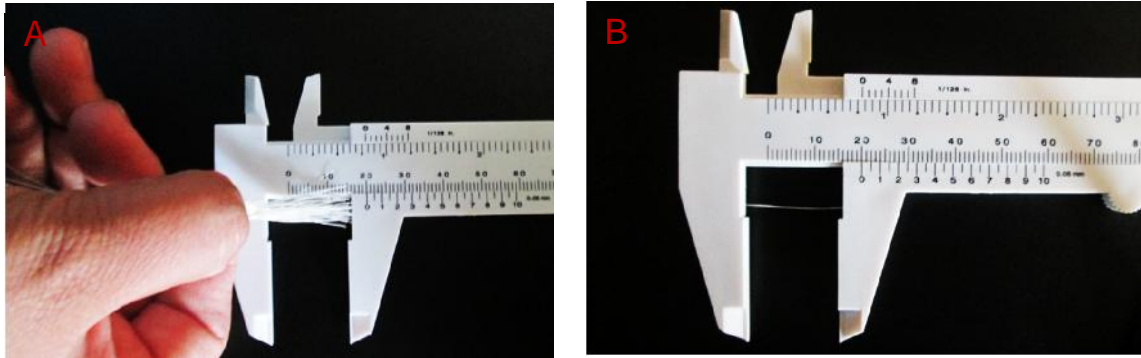


Figura 25. Corte de fibra.

A. Medida con calibrador

B. Medida máxima de 20mm

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

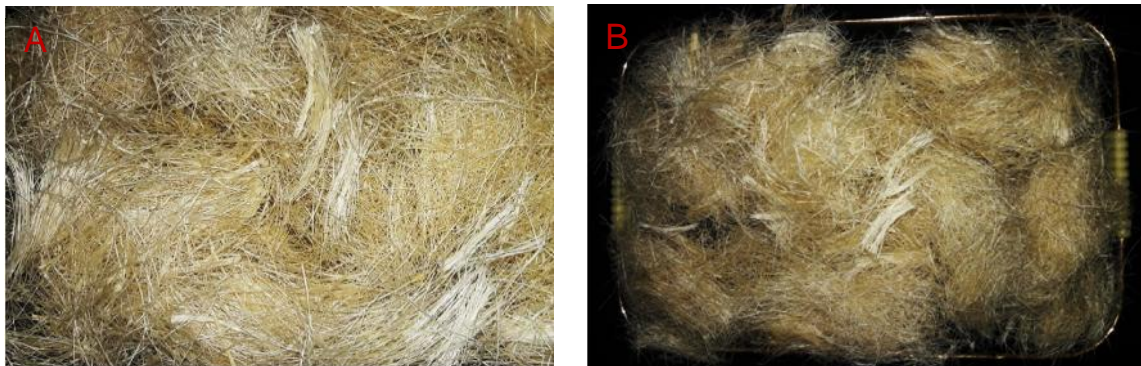


Figura 26. Sección de fibras.

A. Sección de fibra

B. Agrupación de fibra

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.1.2 Tratamiento con de la fibra con parafina.

Para sellar los poros de la fibra y evitar que absorba agua al momento de estar dentro de la pasta cementicia, se realizó un tratamiento con parafina, el cual consiste en disolver la parafina de su estado sólido a una temperatura de 80°C a fuego rápido, y se sumerge la parafina haciendo que cubra totalmente la fibra, este proceso se lo debe hacer rápidamente

ya que la fibra tiene un tiempo corto para regresar nuevamente a su estado sólido por lo que aparecen grumos de parafina.

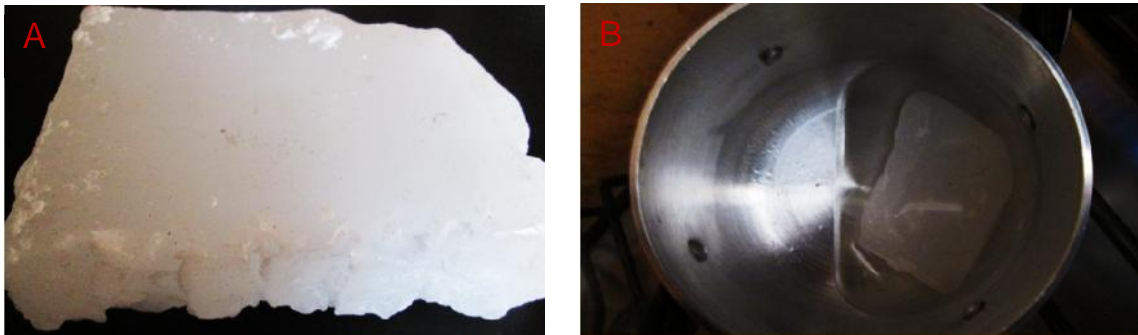


Figura 27. Parafina en sus diferentes estados.

A. Parafina sólida

B. Parafina líquida

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

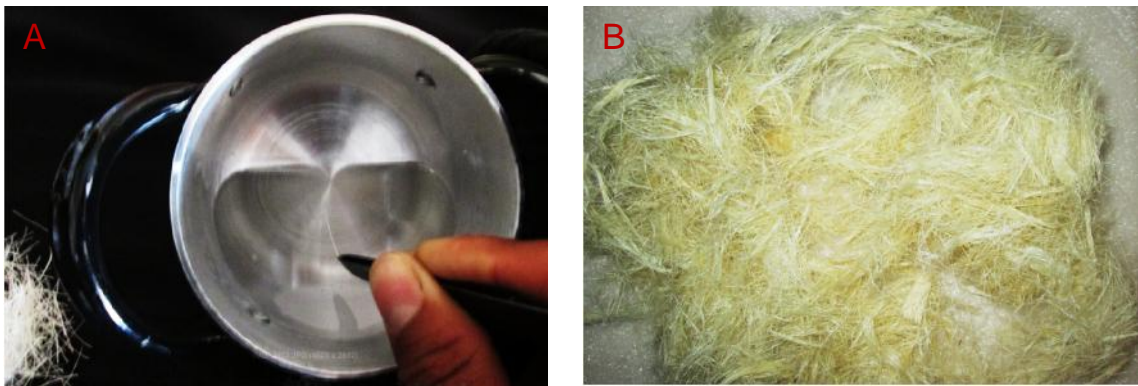


Figura 28. Tratamiento de fibra con parafina.

A. Impregnación de parafina

B. Fibra tratada

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.1.3 Eliminación de grumos.

La defectuosa trabajabilidad de la fibra principalmente por la temperatura y por su escaso tiempo de endurecimiento de la parafina, genera grumos entre la fibra ya con tratamiento, para ello las fibras se introducen nuevamente en el horno a 110°C durante 10min. En el proceso es importante la utilización de guantes ya que luego de salir del horno para separar la fibra debemos hacerla manualmente soltándola una de otra quedando así completamente dispersa las secciones de la fibra.



Figura 30. Eliminación de grumos.

A. Grumos en la fibra
 B. Fibra dentro del horno
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

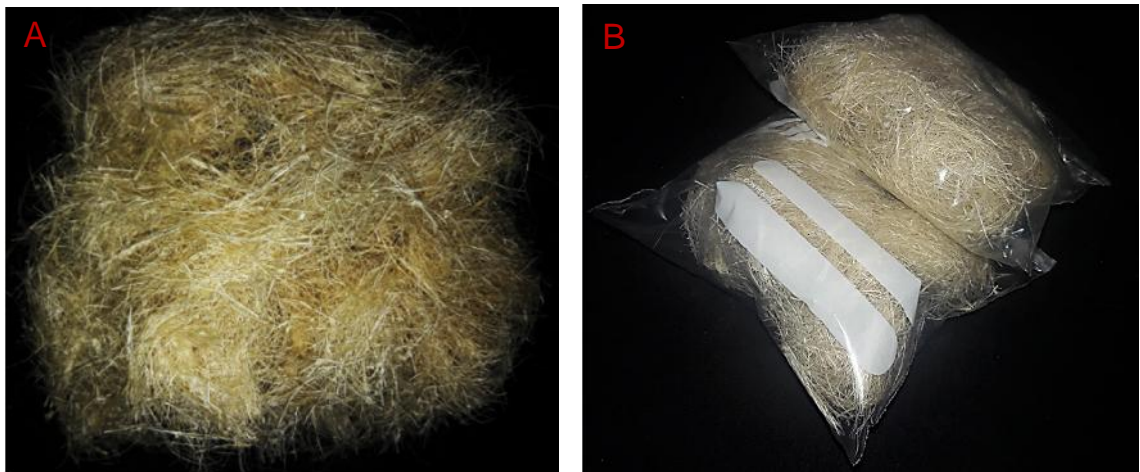


Figura 29. Fibra luego del tratamiento.

A. Fibra sin grumos
 B. Fibra lista para almacenar
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

3.2 Ensayo granulométrico.

El ensayo granulométrico se realiza bajo la norma ASTM-C 136-84 Standard Method for sieve analysis of fine and coarse aggregates y ASTM- C 33-90 Standard Specification for Concrete Aggregates, en donde la muestra luego de estar seca por 24 horas en el horno, se debe cribar lo que consiste en un cuarteo de la muestra tomando las dos partes opuestas hasta llegar a un peso de 2000gr que es la cantidad máxima para pasar por la tamizadora. Así mismo en el equipo tamizador se colocan los tamices 8, 16, 30, 50, 100, 200 y el fondo por donde debe pasar la muestra.

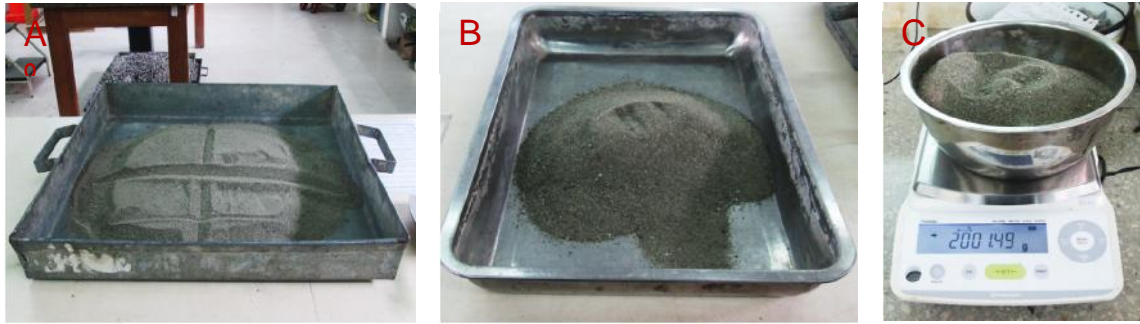


Figura 31. Preparación del árido.

- A. Cuarteo de arena
 - B. Arena luego de cribar
 - C. Peso de arena
- Fuente: El autor
Elaboración: El autor

El tamiz vibratorio se debe utilizar por un tiempo máximo de 10 minutos, pasado este tiempo se procede a retirar todos los tamices previamente tomando su peso del residuo que queda entre ellos y también el tamiz.

3.2.1 Resultados.

Para la obtención de los resultados se procede a calcular con siguiente formula.

$$M.finura = \frac{T\#8+T\#1 +T\#3 +T\#5 +T\#1}{1}$$

Donde:

T= es el % acumulado en el tamiz.

Tabla 19 Ensayo granulométrico.

ENSAYO GRANULOMETRICO(gr)					
	W Fuente		W Fuente + Arena		W Arena
	125.6		2125.85		2000.25
TAMIZ	WTAMIZ	Wt +Muestra	W Parcial	W Acumulado	% Acumulado
8	477.24	497.21	19.97	19.97	0.10
16	422.45	624.70	202.25	222.22	11.11
30	399.43	747.92	348.49	570.71	28.53
50	331.89	1177.28	845.39	1416.10	70.80
100	348.28	717.44	369.16	1785.26	89.25
200	301.69	443.51	141.82	1927.08	96.34
Fondo	366.64	432.70	66.06	1993.14	99.64
Total				1993.14	

Fuente: El autor Ensayo granulométrico
Editado: El autor

$$M.finura = \frac{(0.1)+(1.1)+(2.5)+(7.8)+(8.2)}{1} = \frac{1.7}{1} = 1.99$$

Este resultado nos muestra la finura promedio a utilizar en este caso todo lo que pasa del tamiz #16 es el óptimo para la elaboración de las probetas.

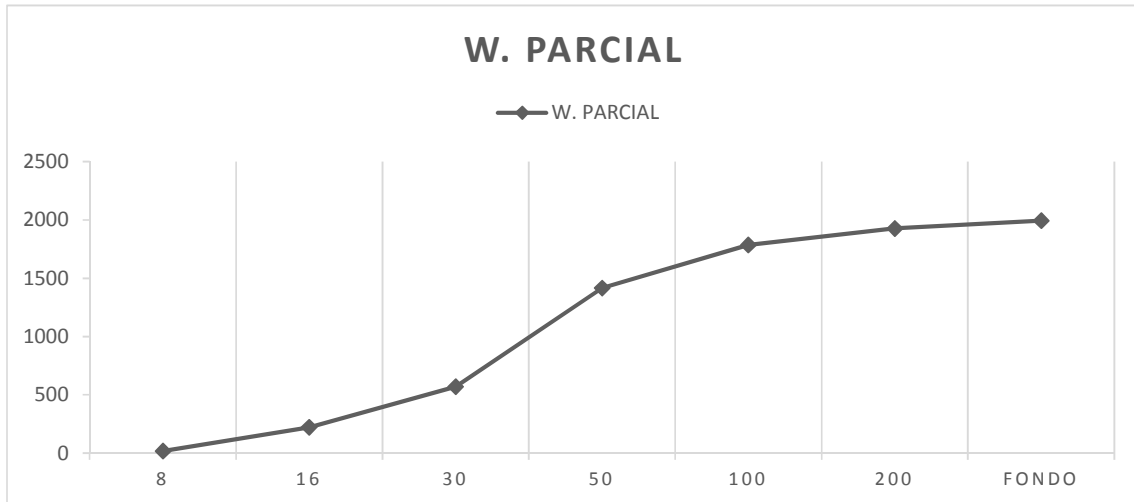


Figura 32. Deformación parcial del árido.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.3 Ensayo de fluidez.

Consiste en determinar la cantidad de agua necesaria para que la pasta de cemento alcance una fluidez óptima y una buena plasticidad y verificar que los valores de consistencia estén dentro de los requeridos por las norma NTE INEN 488.

Para llevar a cabo el ensayo se utilizó las cantidades específicas citadas en las tablas anteriores, obteniendo una masa seca impropia para realizar los ensayos a compresión y flexión.



Figura 33. Mezcla sumamente seca.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Ante lo sucedido, se optó por cambiar la dosificación de una parte de cemento, 2.75 partes de arena; en a una parte de cemento una de arena, además utilizando un aditivo plastificante que mejora la trabajabilidad de la mezcla sin aumentar agua, manteniendo así la relación agua cemento de 0.485.

3.3.1 Dosificación

Tabla 20: Dosificación 2% de fibra.

Material	Peso (gr)	Relación (A/C)	Dosificación (A/A)
Arena	310		
Cemento	310		
Agua	150.35	0.485	1:1
Fibra	3.85		
Aditivo	6.2		

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.3.2 Procedimiento.

Ya con esta nueva dosificación se procedió a determinar su fluidez de la pasta, el proceso consiste en realizar una mezcla según las siguientes masas de arena, agua, cemento, fibra y aditivo.

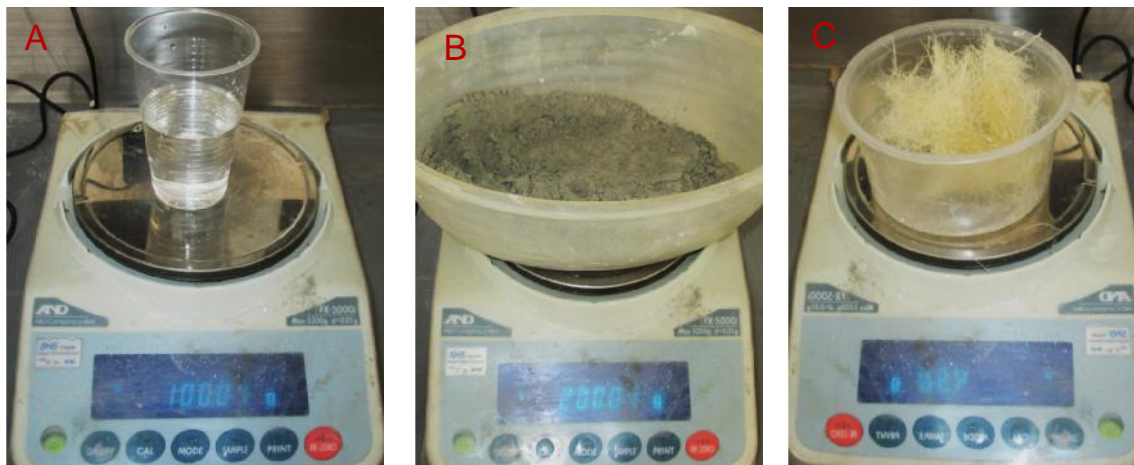


Figura 34. Pesado de los materiales.

A. Peso de agua

B. Peso de cemento

C. Peso de fibra

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Inmediatamente se procede a colocar la mezcla dentro del molde con un espesor inicial de 25mm y apisonando con el molde y su segunda capa se llena el molde y se procede hacer el mismo proceso q en la capa anterior, se limpia bien y rápidamente se retira el molde y un minuto después se empieza a realizar los golpes en razón de 25 por cada 15 segundos, y finalmente con el calibrador se procede a medir los diámetros expuestos en la mesa de flujo.

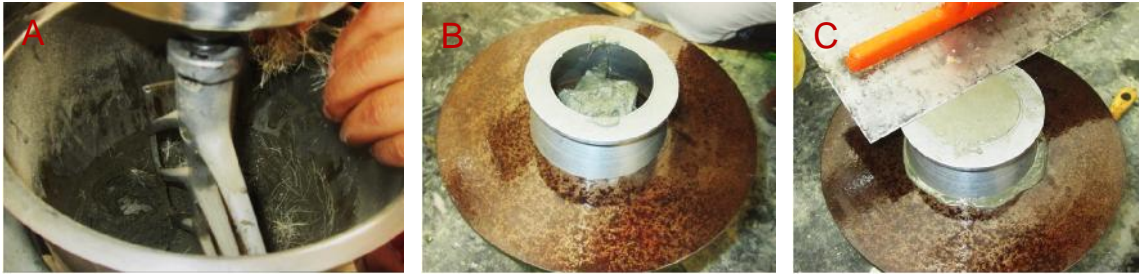


Figura 35. Preparación de ensayo fluidez.

- A. Amasado de pasta
- B. Llenado de molde
- C. Pulido de la superficie del molde

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

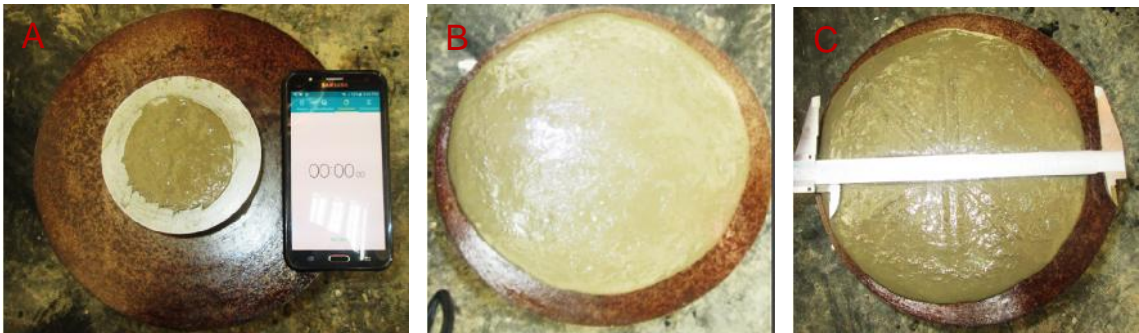


Figura 36. Realización ensayo a fluidez.

- A. Medición del tiempo durante los golpes
- B. Pasta luego de los golpes
- C. Medición de los diámetros

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.3.3 Resultados.

Para la obtención de los resultados se procede a calcular mediante la siguiente formula.

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{DP} - 101.6 \text{ mm}}{101.6 \text{ mm}} \times 100$$

En donde:

DP= es el diámetro promedio.

Tabla 21: Obtención de datos ensayo fluidez.

DIAMETRO	(mm)	Promedio
D1	215	
D2	216	
D3	216.5	216.125
D4	217	
TOTAL	864.5	

Fuente: El autor Diámetro promedio.

Editado: El autor

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{216.125\text{mm} - 101.6 \text{ mm}}{101.6 \text{ mm}} \times 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = \mathbf{112.72}$$

Este el resultado se encuentra en el porcentaje requerido para tener una trabajabilidad correcta y una relación agua cemento requerida.

3.4 Ensayo a compresión.

Se determina la resistencia de los morteros a compresión en cubos de 50mm, bajo la norma INEN 488. Las muestras se realizaron con las dosificaciones especificadas luego del ensayo de fluidez.

3.4.1 Dosificación.

La dosificación se determinó luego del ensayo a fluidez.

Tabla 22: Dosificación ensayo a fluidez.

Material	Peso (gr)	1.25%	2%	Relación (A/C)	Dosificación (A/A)
Arena	310				
Cemento	310				
Agua	150.35			0.485	1:1
Fibra	3.88	9.70	15.31		
Aditivo	6.2				

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.4.2 Procedimiento.

El proceso consiste en la preparación de la materia prima con los pesos correctos para la elaboración de las muestras en este caso de arena, cemento, agua, aditivo y fibra.



Figura 37. Pesado de materiales.

- A. Peso de arena
 - B. Peso de fibra
 - C. Peso de cemento
- Fuente: El autor
Elaboración: El autor

El amasado se realizó colocando en primera instancia el agua y aditivo por un lapso de 30s, para luego colocar el cemento y mezclar por 60s y complementar la mezcla colocando los demás materiales. Hay que tener en cuenta que para adicionar estos materiales se debe detener cada 15s por un lapso de 60s, según la norma NTE INEN 155.



Figura 38. Amasado de materiales.

- A. Adición de aditivo en la mezcla
 - B. Adición de fibra a la mezcla
 - C. Pasta final
- Fuente: El autor
Elaboración: El autor

3.4.3 Enmoldado y curado

La mezcla se realizó para 3 especímenes las que se compactaron en 2 capas la primera a 25mm, y la otra hasta llenar el molde, con un a apisonador manual se realizan 8 apisonadas en la primera ronda, cada cubo se apisona con 4 rondas y finalmente para el acabado de los cubos se pasa la llana rápidamente terminando el proceso de elaboración de las muestras.

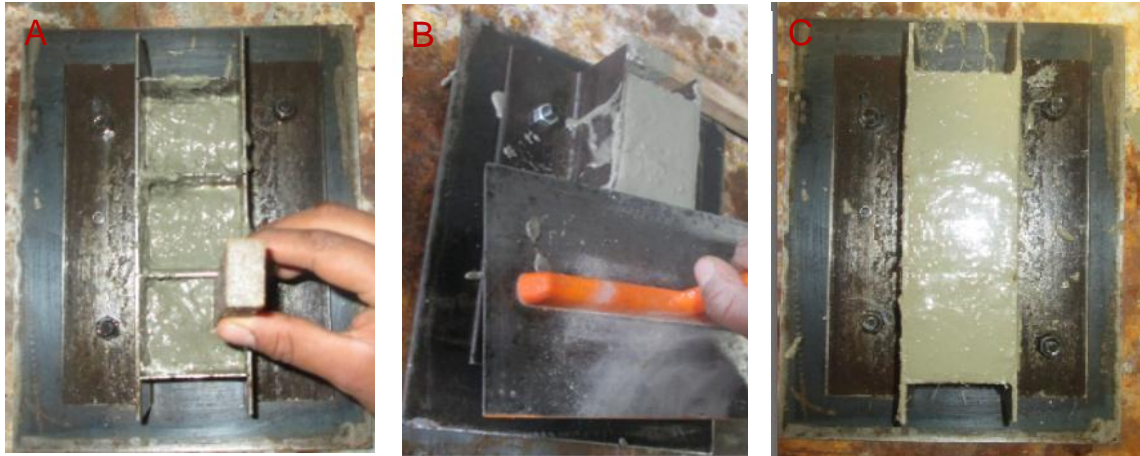


Figura 39. Elaboración de la probetas.

- A. Apisonado de mezcla
- B. Pulido de la superficie
- C. Probeta final

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al transcurrir las 24h de elaboradas, las probetas fueron retiradas del molde, se procedió a marcarlas para evitar confusiones y finalmente sumergidas en agua durante los tiempos de curados, para el caso las muestras obtuvieron edades de 7, 14 y 28 días.

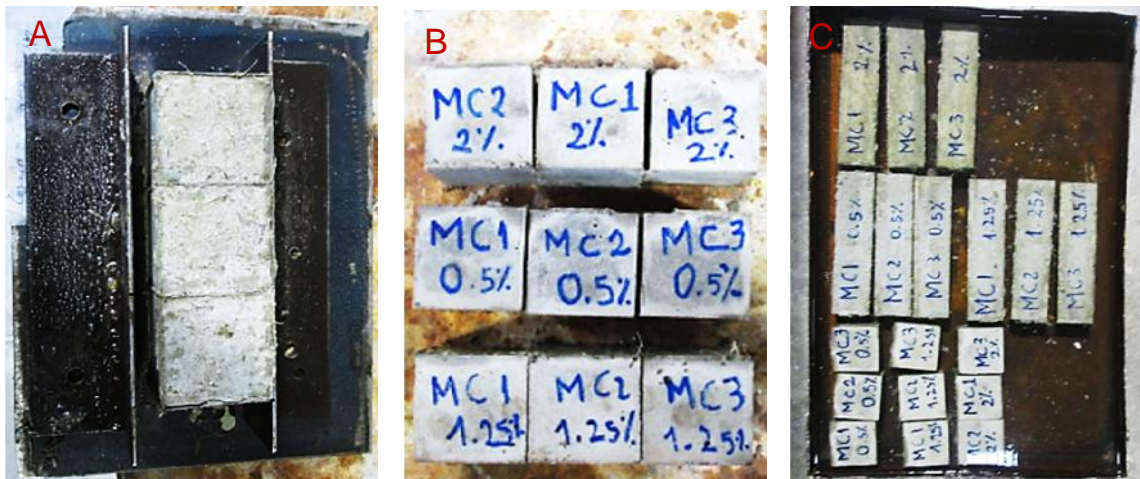


Figura 40. Desenfrado de las probetas.

- A. Desencobrado de muestras
- B. Probetas ya desencofradas
- C. Probetas sumergidas en agua

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.4.4 Peso y Longitud

Para los realizar los ensayos a compresión con anterioridad se procede a retirarlos del agua 2 horas mínimo, y se procede a pesarlos con el fin de determinar su volumen y densidad, cálculos fundamentales para la obtención de resultados.



Figura 41. Toma de datos previo al ensayo.

A. Probetas sacadas del agua.

B. Peso de probeta.

C. Medida de probeta.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.4.5 Resultados.

Las cubos son ingresados a la maquina triaxial la cual proporciona carga hasta llegar a su primera falla, se registra la carga de rotura y se fotografía las fallas en sus aristas.

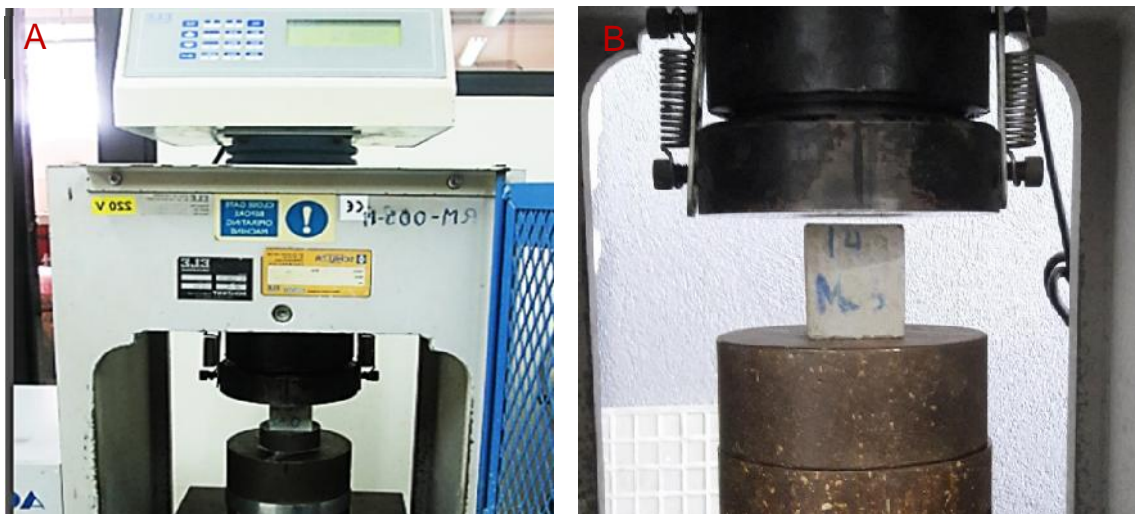


Figura 42. Roturas de probetas.

A. Probeta ingresa a la maquina triaxial

B. Probeta con su primera falla

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Para determinar el la resistencia a compresión se aplica la siguiente ecuación.

$$R = \frac{P}{b^2}$$

En donde:

Rc = Resistencia a la compresión, en MPa.

Pc = Carga de rotura a la compresión, en N.

b = lado de la sección cuadrada en la que se aplica la carga, en mm.

Tabla 23: Resultados compresión, 0.5% de fibra, 7 días de curado.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_05_7D	2.08	64.00	627.20	25.29
MC2_05_7D	2.05	64.30	630.14	25.21
MC3_05_7D	2.09	68.60	672.28	27.16

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tabla 24: Resultados compresión, 1.25% de fibra, 7 días de curado.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_125_7D	2.10	60.90	596.82	23.87
MC2_125_7D	2.11	66.20	648.76	25.85
MC3_125_7D	2.12	68.00	666.40	26.60

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tabla 25: Resultados compresión, 2% de fibra, 7 días de curado.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_2_7D	2.12	66.30	649.74	26.04
MC2_2_7D	2.10	63.30	620.34	24.62
MC3_2_7D	2.09	70.20	687.96	27.46

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Se verifican que a los 7 días de curado todas probetas han obtenido una resistencia muy similar, marcando una diferencia con las probetas que no tienen ya que estas son las que obtienen mayor resistencia a compresión.

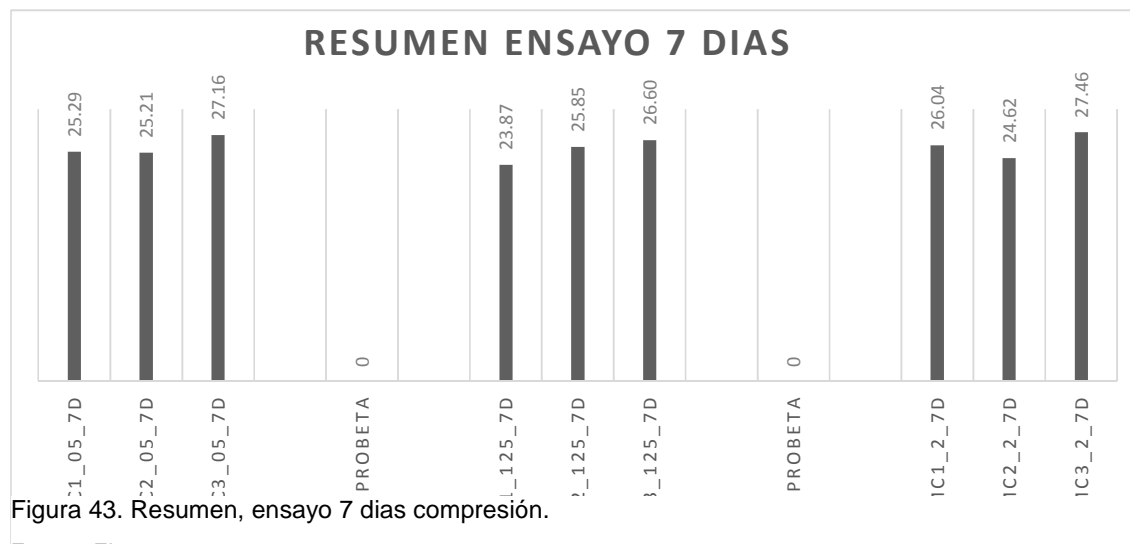


Figura 43. Resumen, ensayo 7 días compresión.

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tabla 26: Resumen ensayo 7 días compresión.

PROBETA	Rc
	MPa
MC_05_7D	25.89
MC_125_7D	25.44
MC_2_7D	26.04
MC_T_7D	28.21

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

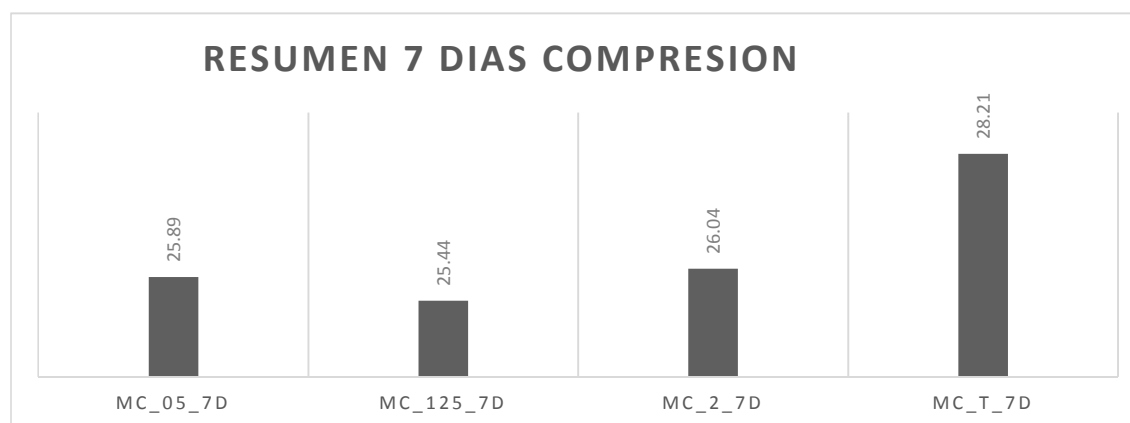


Figura 44. Resumen, 7 días compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resultados 14 días de curado.

Tabla 27: Resultados, compresión 05% de fibra, 14 días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm ³	KN	Kg	MPa
MC1_05_14D	2.073	76.40	748.72	30.19
MC2_05_14D	2.114	88.10	863.38	34.67
MC3_05_7D	2.127	85.60	838.88	34.24

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 28: Resultados, compresión 1.25% de fibra, 14 días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm ³	KN	Kg	MPa
MC1_125_14D	2.06	84.6	829.1	32.97
MC2_125_14D	2.10	77.9	763.4	30.54
MC3_125_14D	2.07	81.9	802.6	32.23

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 29: Resultados, compresión 2% de fibra, 14 días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm ³	KN	Kg	MPa
MC1_2_14D	2.14	66.30	649.74	26.52
MC2_2_14D	2.12	63.30	620.34	25.27
MC3_2_14D	2.05	70.20	687.96	27.74

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En el siguiente resumen del ensayo se puede verificar que en el caso de las probetas con menor cantidad de fibra en este caso el 0.5%, se obtiene mayor resultado, así mismo se puede verificar que en caso de las probetas con mayor cantidad de fibra se encuentran por debajo de los resultados de las probetas sin fibra.

Tabla 30: Resumen, ensayo 14 días compresión.

PROBETA	Rc
	MPa
MC_05_14D	33.035
MC_125_14D	31.912
MC_2_14D	26.510
MC_T_14D	33.381

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

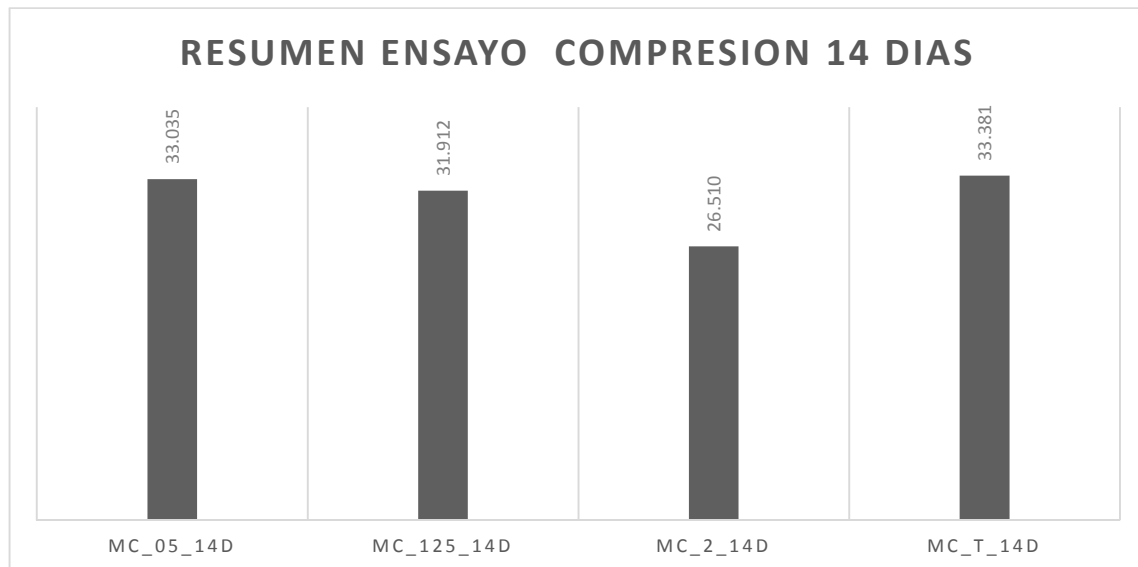


Figura 45. Resumen, ensayo 14 días compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resultados 28 días de curado.

Tabla 31: Resultados, compresión 0.5% de fibra, 28días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_05_28D	2.14	86.90	851.62	34.34
MC2_05_28D	2.07	84.90	832.02	33.08
MC3_05_28D	2.11	89.80	880.04	35.13

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Tabla 32: Resultados, compresión 1.25% de fibra, 28días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_125_28D	2.10	85.90	841.82	33.27
MC2_125_28D	2.10	84.90	832.02	33.28
MC3_125_28D	2.13	87.90	861.42	34.53

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 33: Resultados, compresión 2% de fibra, 28días.

PROBETA	Densidad	Carga	Carga	Rc
	gr/cm3	KN	Kg	MPa
MC1_2_28D	2.12	85.90	841.82	33.61
MC2_2_28D	2.11	84.90	832.02	33.15
MC3_2_28D	2.12	87.90	861.42	34.66

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

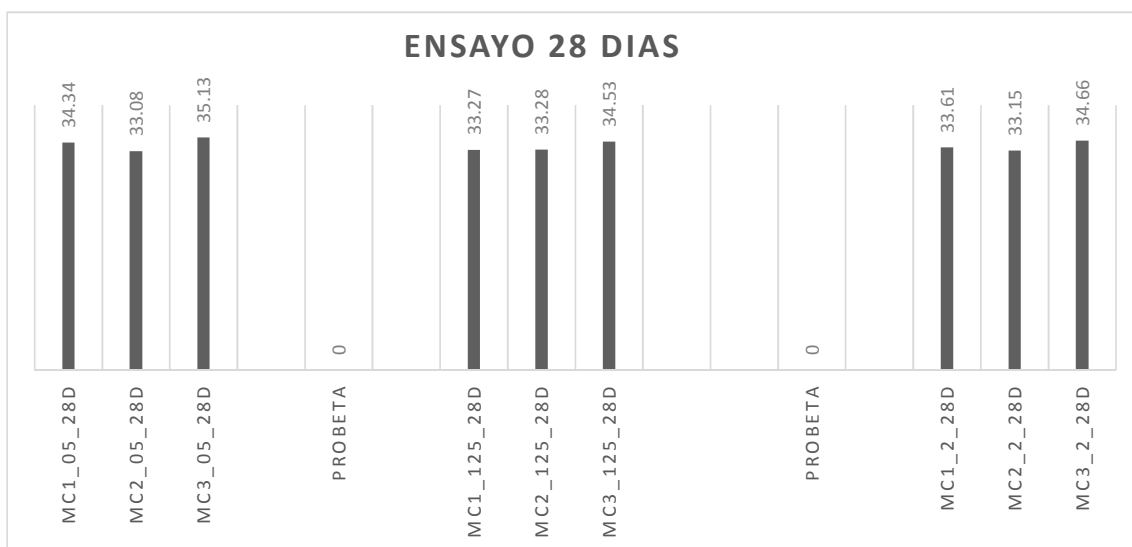


Figura 46. Ensayo 28 días compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En este resumen se puede evidenciar un creciente aumento general de todas las probetas con las diferentes proporciones, ya que han llegado a su punto máximo de resistencia, además se puede verificar que la probeta testigo contiene mayor resistencia en el caso a compresión.

Tabla 34: Resumen ensayo 28 días compresión.

PROBETA	Rc
	MPa
MC_05_28D	34.18
MC_125_28D	33.69
MC_2_28D	33.81
MC_T_28D	36.72

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

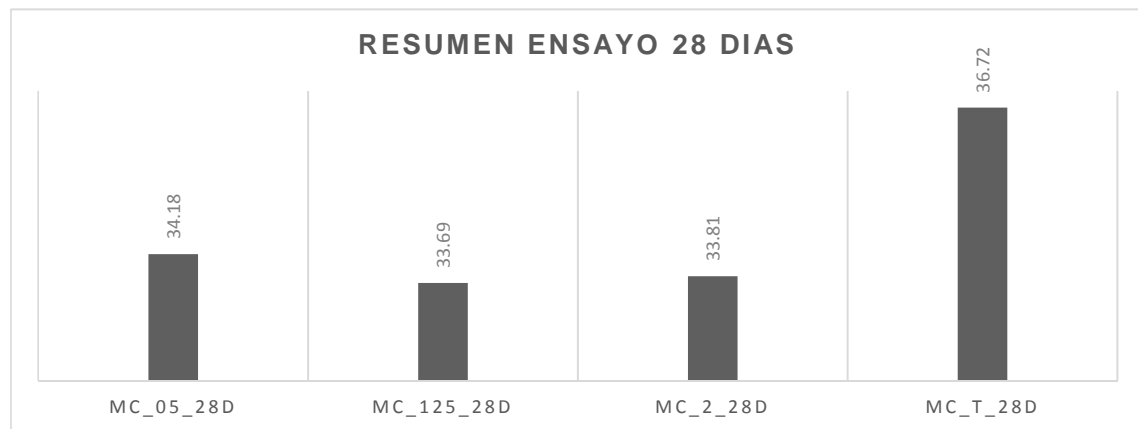


Figura 47. Resumen ensayo 28 días, compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En un análisis general, la resistencia de los ensayo va creciendo conforme sus días de curado, en el caso de los ensayos testigos mantienen una jerarquía sobre las demás probetas por lo que se podría decir que en este caso las fibras no mejoran la pasta en cuanto a trabajo a compresión.

Tabla 35: Resumen total del ensayo a compresión.

PROBETA	7 Días	14 Días	28 Días
MC_05	25.89	33.01	34.18
MC_125	25.44	31.91	33.69
MC_2_	26.04	26.51	33.81
MC_T	28.21	33.38	36.72

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

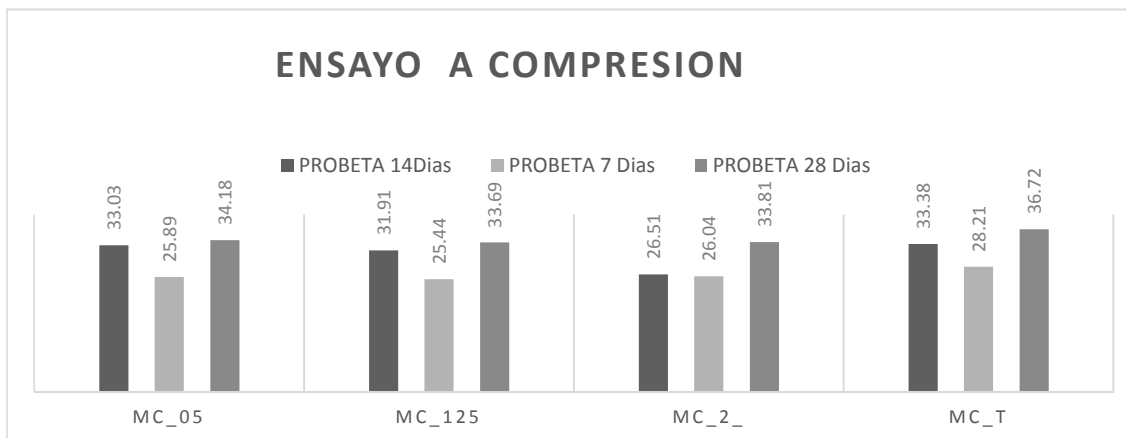


Figura 48. Ensayo a compresión resumen.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

3.5 Ensayo a flexión.

Los ensayos a flexión se encuentran bajo la norma INEN 198, que especifica, para este caso se realizaran probetas de 40x40x160mm en las que se medirán su deformación máxima hasta la primera falla.

3.5.1 Dosificación.

La dosificación igual resultó del ensayo a fluidez realizado previamente.

Tabla 36: Dosificación ensayo flexión.

Material	Peso (g)	1.25%	2%	Relación (A/C)	Dosificación (A/A)
Arena	750				
Cemento	750				
Agua	363.75			0.485	1:1
Fibra	9.39	23.48	37.58		
Aditivo	15				

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.5.2 Procedimiento.

Se realiza el mismo proceso que en el ensayo a compresión.

3.5.3 Enmoldado y curado.

El proceso es muy similar que en el caso de los ensayos a compresión, sin embargo se diferencia en el proceso de apisonado ya que se realizan solo 2 secuencias de 4 golpes.

3.5.4 Peso y longitud.

Se retiran con anterioridad las probetas con un mínimo de 2 horas antes del ensayo, con el fin de que su peso no se altere y tomar los datos precisos para el ensayo.



Figura 49. Pesado de muestras previo al ensayo flexión.

A. Retirado del agua de las probetas

B. Pesado de probetas

C. Medición de probetas

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.5.5 Resultados.

Para este caso se ingresa las muestras en la maquina Versa Testar con los apoyos dejando una luz mínima de 100mm entre los apoyos y se procede a dar carga hasta llegar a sus primera falla y se registra la última carga y se fotografía la arista.

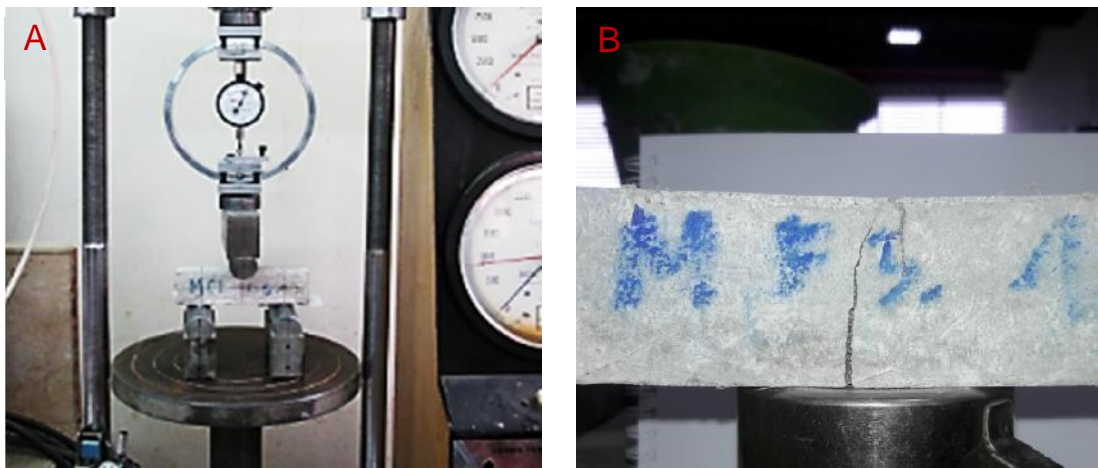


Figura 50. Ensayo a flexión.

A. Probeta dentro de la maquina testar

B. Probeta ya ensayada

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se registran los datos para realizar el cálculo de los resultados, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P \cdot l}{b^3}$$

En donde:

Rf = Resistencia a la flexión, en MPa.

b = arista de la sección cuadrada del prisma, en mm.

Pf = Carga de rotura a la flexión, en N.

l = distancia entre apoyos, en mm.

Ensayo 7 días de curado.

Tabla 37: Ensayo 7 días de curado, flexión.

Def	MF1_ T_7D	MF2_ T_7D	MF3_ T_7D	MF1_ 05_7D	MF2_ 05_7D	MF3_ 05_7D	MF1_ 125_7 D	MF2_ 125_7 D	MF3_ 125_7 D	MF1_ 2_7D	MF2_ 2_7D	MF3_ 2_7D
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.13	1.16	1.54	2.12	2.75	3.08	0.98	0.81	2.36	1.99	1.02	2.38	0.54
0.25	4.44	3.67	5.41	7.74	6.48	1.72	2.32	8.70	5.85	2.18	6.24	1.41
0.38	8.69	7.53	9.46	12.35	10.06	6.89	7.99	13.70	10.29	3.73	11.64	3.34
0.51	16.99	12.94	12.16	15.81	13.46	10.95	12.33	16.77	14.15	5.85	15.12	6.62
0.64	20.08	16.99	18.15	18.31	16.11	14.09	15.35	20.81	16.86	10.29	18.40	10.10
0.76	28.00	19.69	21.05	23.88	19.88	16.49	18.56	26.00	21.30	14.54	23.23	13.96
0.89	36.69	23.94	24.52	29.45	24.41	20.19	23.09	32.14	26.90	17.44	29.41	15.89
1.02	41.51	30.12	28.00	35.02	33.48	25.17	27.25	38.68	33.46	21.68	35.59	18.98
1.14	49.04	35.53	37.65	41.17	34.99	30.71	32.91	45.78	38.87	27.28	42.54	23.04
1.27	51.94	45.37	40.55	47.90	39.90	36.07	38.01	52.89	45.63	33.65	49.10	28.63
1.40	1.93	51.94	47.11	54.43	45.75	41.61	43.68	60.19	51.80	40.22	57.02	33.46
1.52		53.10	49.82	55.77	53.49	47.33	48.77	64.61	58.76	46.59	57.98	38.67
1.65		1.93	1.93	1.98	56.51	53.43	55.19	19.27	60.11	53.54	21.30	44.08
1.78					1.95	55.46	60.67		19.37	60.30		50.07
1.91						1.90	62.37			66.67		56.05
2.03							18.94			21.30		62.42
2.16												64.93
2.29												21.30

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

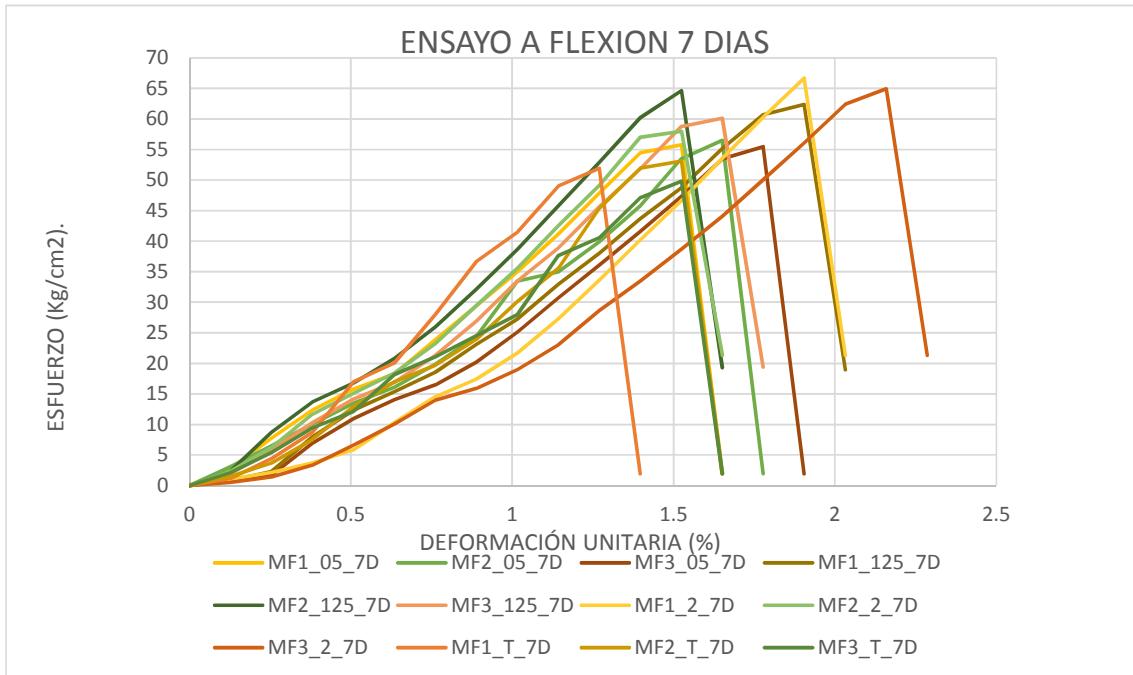


Figura 51. Grafica de deformación.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se puede observar que las probetas con el 2% de fibra, mejora notoriamente el resultado del esfuerzo a flexión, en comparación con las probetas de menor fibra por lo que definir que a mayor fibra mejor es el resultado y no así con las de menor cantidad de fibras.

Tabla 38: Resumen ensayo a flexión.

PROBETA	CARGA Kg/ cm 2
MF_05_7D	55.91
MF_125_7D	62.36
MF_2_7D	63.20
MF_T_7D	51.62

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

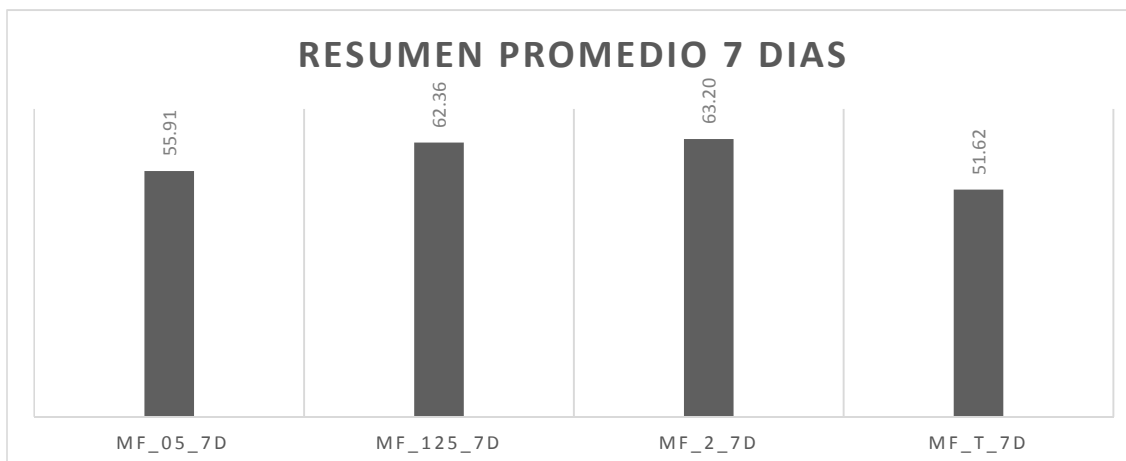


Figura 52. Ensayo 7 días, flexión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resultados ensayo 14 días

Tabla 39. Resumen ensayo flexión, 14 días.

Def	MF1_ T_14D	MF2_ T_14D	MF3_ T_14D	MF1_ 05_14 D	MF2_ 05_14 D	MF3_ 05_14 D	MF1_ 125_1 4D	MF2_ 125_1 4D	MF3_ 125_1 4D	MF1_ 2_14D	MF2_ 2_14D	MF3_ 2_14D
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.13	0.58	1.54	2.32	0.77	0.87	0.68	1.54	0.97	1.93	2.51	3.86	1.93
0.25	1.74	6.56	6.56	2.32	1.54	2.61	5.60	3.86	5.02	5.21	8.30	6.95
0.38	5.99	12.36	8.69	5.41	3.57	4.83	10.62	8.30	9.27	9.27	12.55	10.23
0.51	11.39	17.57	12.74	9.65	6.18	8.30	15.64	13.32	13.90	13.52	17.57	15.64
0.64	16.03	20.66	17.57	14.10	10.04	12.16	19.69	17.76	18.34	18.34	20.08	19.69
0.76	19.12	24.71	19.89	18.54	13.71	17.18	23.36	20.47	20.85	20.85	23.56	23.36
0.89	21.43	30.70	24.52	22.40	17.57	19.79	30.12	24.14	24.71	25.49	29.16	28.77
1.02	26.07	36.49	30.51	27.03	19.69	24.04	36.30	29.35	30.12	31.09	35.14	34.95
1.14	31.47	42.67	37.07	33.02	23.36	29.16	42.09	35.14	35.91	37.36	40.35	40.55
1.27	36.69	49.04	43.83	39.00	27.42	35.33	48.66	41.51	39.00	43.25	47.69	47.11
1.40	41.71	55.61	50.78	43.64	32.24	38.62	55.41	45.37	39.78	50.20	54.26	54.06
1.52	46.53	61.59	55.03	50.20	36.69	46.73	57.35	51.94	46.15	56.19	59.86	57.73
1.65	52.90	62.95	1.93	56.96	40.74	52.90	1.93	58.31	51.36	60.05	1.93	1.93
1.78	59.08	1.93		59.28	45.76	59.66		63.52	57.35	1.93		
1.91	65.07			3.86	52.13	63.33		9.65	59.28			
2.03	1.93				58.12	1.93			1.93			
2.16					59.28							
2.29					2.90							

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

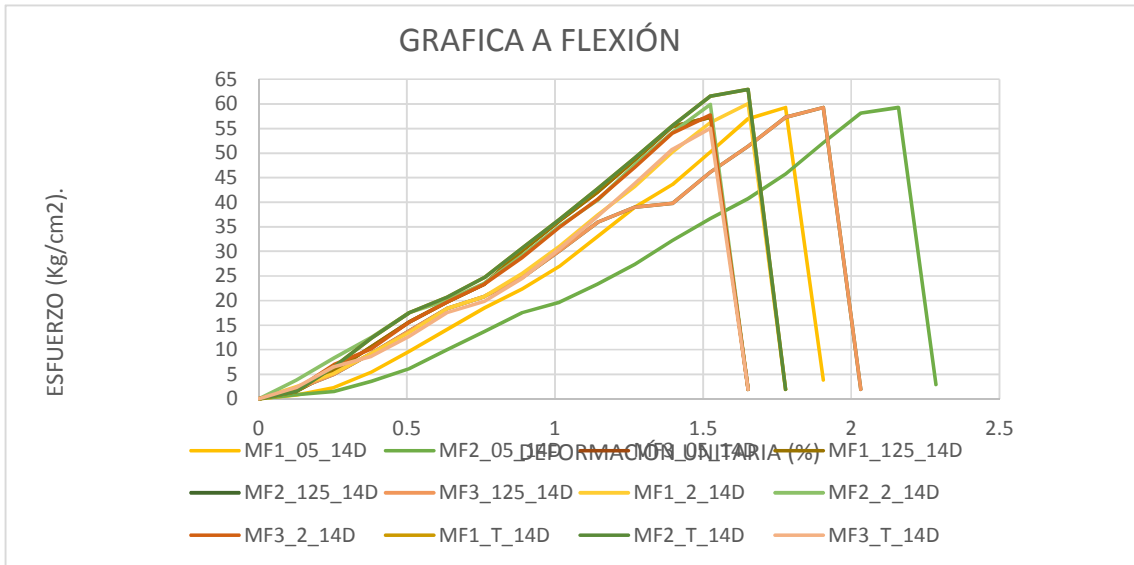


Figura 53. Grafica deformación, ensayo 14 días flexión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En este caso los resultados nos indican de que la mayoría de probetas alcanzan los mismo valores en resistencia a flexión, incluso se puede diferenciar que en este caso la probeta testigo actúa de mejor manera ya que tiene el mayor índice de resistencia para esta cantidad de días de curado.

Tabla 40: Resumen promedio ensayo a flexión, 14 días de curado.

PROBETA	CARGA kg/cm2
MF_T_14D	61.01
MF_05_14D	60.63
MF_125_14D	60.05
MF_05_14D	59.21

Fuente: El auto

Elaboración: El autor

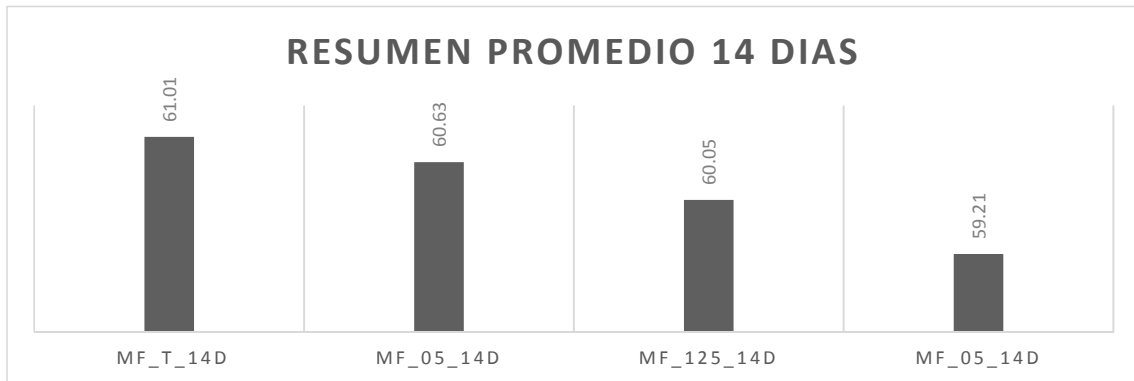


Figura 54. Resumen ensayo 14 días flexión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resultados 28 días de curado

Tabla 41: Resumen ensayo de flexión, 28 días.

Def	MF1_T_28D	MF2_T_28D	MF3_T_28D	MF1_05_28D	MF2_05_28D	MF3_05_28D	MF1_125_28D	MF2_125_28D	MF3_125_28D	MF1_2_28D	MF2_2_28D	MF3_2_28D
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.13	0.58	1.93	1.35	1.02	2.95	3.92	1.02	1.99	1.02	1.99	1.31	1.99
0.25	2.03	6.18	1.93	2.95	7.40	10.48	2.66	5.46	2.95	5.85	3.53	5.66
0.38	6.95	10.04	4.44	10.68	11.84	14.93	6.43	9.52	8.94	9.91	7.01	10.29
0.51	12.16	12.16	8.30	15.31	15.50	19.37	10.29	13.77	12.61	15.12	12.03	14.93
0.64	16.99	16.03	12.55	18.59	18.21	24.00	14.54	16.47	15.70	18.21	15.70	18.01
0.76	19.89	18.34	17.57	24.19	23.04	28.44	17.44	19.95	18.59	22.84	18.98	22.46
0.89	23.36	20.27	20.66	30.76	28.44	36.74	21.68	24.58	23.04	28.63	24.00	28.44
1.02	28.19	22.78	24.52	36.36	34.43	42.92	26.12	31.34	27.86	34.23	30.18	34.62
1.14	33.40	26.84	30.51	41.96	39.25	51.61	32.69	37.32	33.27	40.80	38.29	40.80
1.27	38.42	31.28	36.49	48.91	46.40	58.18	38.87	42.54	39.06	46.40	41.76	46.98
1.40	42.48	36.30	42.48	56.44	53.16	63.39	45.82	49.49	45.24	53.74	47.94	55.09
1.52	48.46	40.16	49.04	62.62	60.30	5.85	52.19	57.02	52.00	61.07	55.09	61.07
1.65	54.64	45.37	55.61	69.95	62.81		59.91	63.39	59.14	67.83	61.46	67.44
1.78	61.01	50.59	61.21	73.62	7.78		67.44	64.93	66.48	75.94	65.90	46.98
1.91	65.26	56.77	1.93	7.78			72.08	27.09	74.78	38.67	38.67	
2.03	1.93	61.21					7.78		82.50			
2.16		1.93							86.95			
2.29									7.78			

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

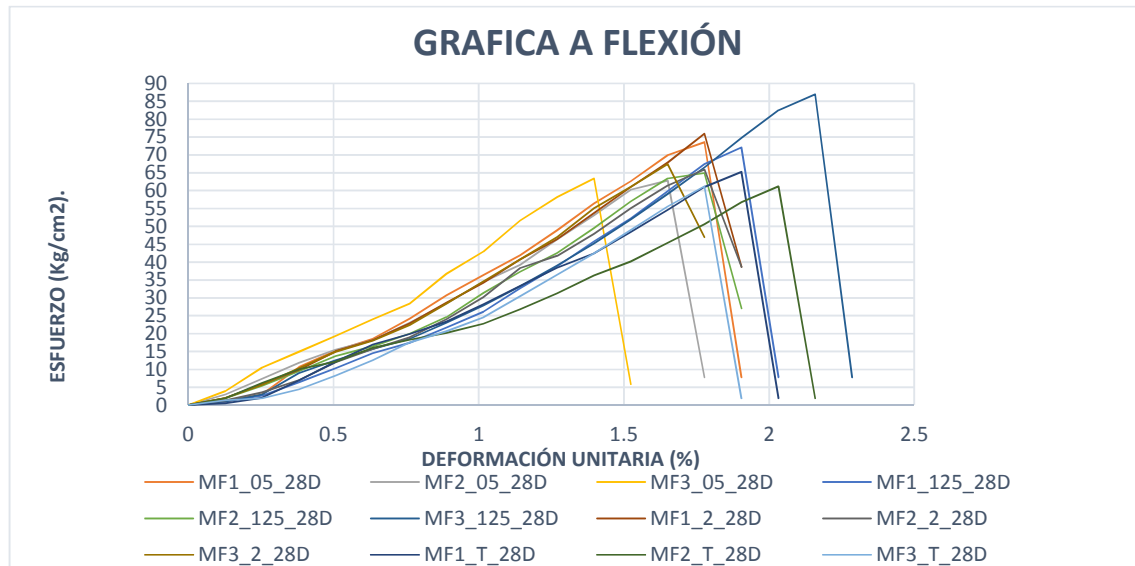


Figura 55. Grafica deformación flexión 28 días de curado.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En este caso las probetas con mayor resistencia siguen siendo las que cuenta con mayor porcentaje de fibra dentro de la mezcla 1.25% y 2% así mismo se puede diferenciar mayor diferencia con la probeta testigo ya que todas las muestras han llegado a su punto máximo.

Tabla 42: Resumen ensayo flexión, 28 días.

PROBETA	CARGA
	Kg/cm
MF_T_14D	62.56
MF_05_14D	66.61
MF_125_14D	74.65
MF_2_14D	69.76

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

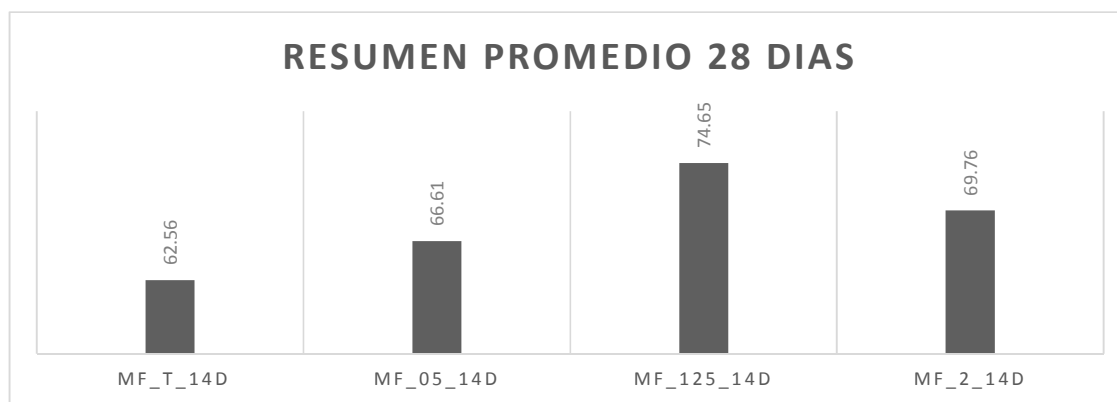


Figura 56. Resumen ensayo flexión 28 días.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Como un análisis general podemos decir que en todas las probetas que se ensayaron se incrementó el módulo de deformación, aún más se diferencia en el caso de las probetas con porcentaje del 1.25% y 2% ya que entre mayor cantidad fibra mejor son los resultados, sin embargo se puede evidenciar que en el porcentaje de 1.25% muestra mayor resultado, por lo que se evidencia que para este caso las probetas alcanzan mayor resistencias con un porcentaje menor que el máximo admitido.

Resumen de ensayo

Tabla 43: Resumen del ensayo, flexión.

PROBETA	7	14	28
MFT	51.62	61.01	62.56
MF05	55.91	60.63	66.61
MF125	62.36	60.05	74.65
MF2	63.20	59.21	69.76

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

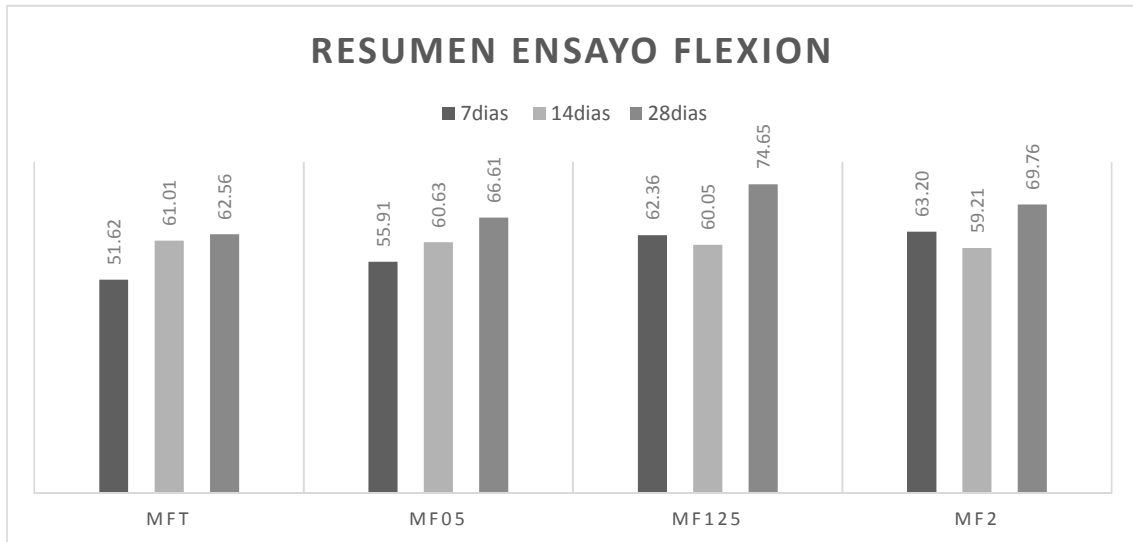


Figura 57. Resumen flexión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.6 Ensayo absorción de agua inmersión.

En este ensayo se determina la capacidad del material que tiene para absorber agua, en relación de la masa seca y el agua que absorbe. Este resultado se relaciona directamente con la porosidad del material. Se realizó bajo las normas UNEN EN 14617-1:2005. Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua.

3.6.1 Elaboración de muestras.

Para realizar este ensayo se necesita que todas las caras del espécimen se encuentren en buen estado ya que deben estar en contacto con el agua, por lo que se optó por utilizar probetas ya ensayadas a flexión ya que se puede diferenciar las zonas no dañadas de la probeta tras el ensayo.

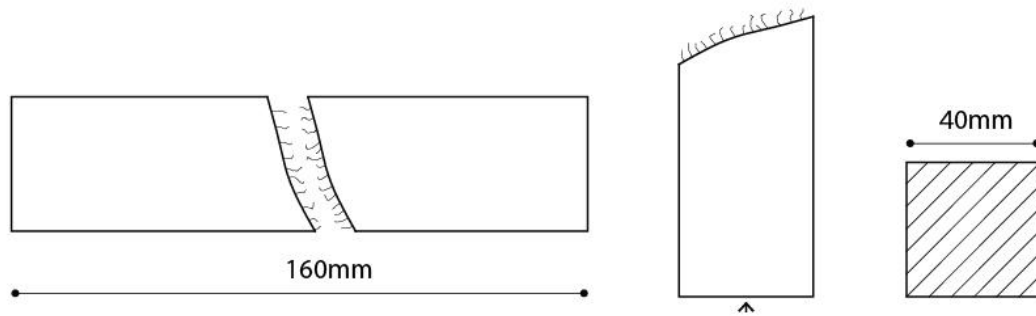


Figura 58. Obtención de probetas a partir de material ya ensayado.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.6.2 Procedimiento.

Las probetas son introducidas al horno a una temperatura de 75 grados durante 24 horas, seguidamente se retira y se deja enfriar hasta que alcance una temperatura ambiente, se registra su peso inicial y se introduce dentro de un recipiente completamente lleno de agua por un tiempo de 24 horas, para seguidamente secar los residuos de agua con un paño y registrar su peso saturado.

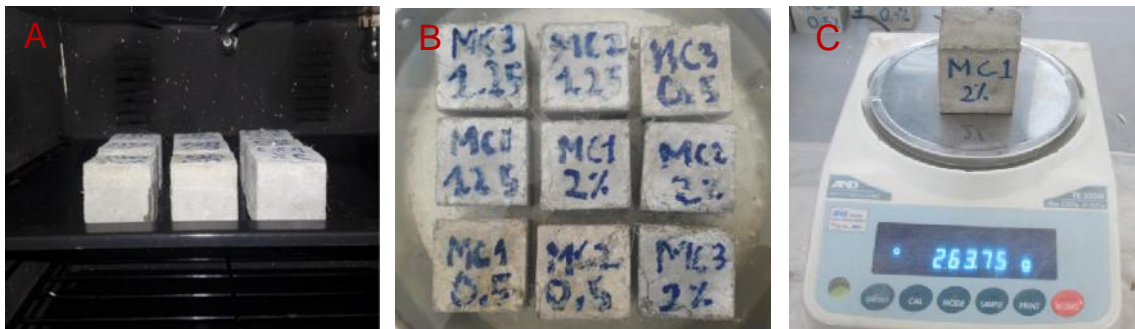


Figura 59. Procedimiento ensayo absorción de agua.

A. Secado de probetas en el horno

B. Probetas sumergidas en el agua

C. Pesado de probeta

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.6.3 Resultados.

Los resultados se calcularán a través de la siguiente fórmula;

$$C = \frac{(M - M_0) * 100}{M_0}$$

Donde:

Ca= es el coeficiente de absorción de agua.

Mt= masa saturada.

Mo= masa inicial.

Ensayo 7 días.

Tabla 44: Ensayo absorción por inmersión.

PROBETA	Peso inicial	Peso saturado	Peso saturado- peso inicial	Absorción de agua
	gr	gr	gr	%
MA1-05	238.02	256.77	18.75	7.88
MA2-05	255.67	277.12	21.45	8.39
MA3-05	226.36	250.72	24.36	10.76
MA1-125	248.40	276.3	27.9	11.23
MA2-125	226.13	252.55	26.42	11.68
MA3-125	258.36	258.36	28.74	11.12
MA1-2	244.61	271.73	27.12	11.09
MA2-2	236.06	268.32	32.36	13.71
MA3-2	246.76	278.09	31.33	12.70
MA1-T	256.98	272.21	15.23	5.93
MA2-T	259.00	273.32	14.32	5.53
MA3-T	243.28	259.68	16.68	6.86

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En el ensayo absorción de agua por inmersión se puede observar que en el caso de las probetas con mayor porcentaje de fibra 2% absorben la mayor cantidad de agua transcurridas las 24h. En el caso de las probetas sin fibras se puede observar un porcentaje menor de absorción.

Tabla 45: Ensayo absorción de agua, inmersión, 7 días.

PROBETA	Porcentaje de absorción
MA1-05	9.01
MA1-125	11.35
MA1-2	12.50
MA1-T	6.10

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

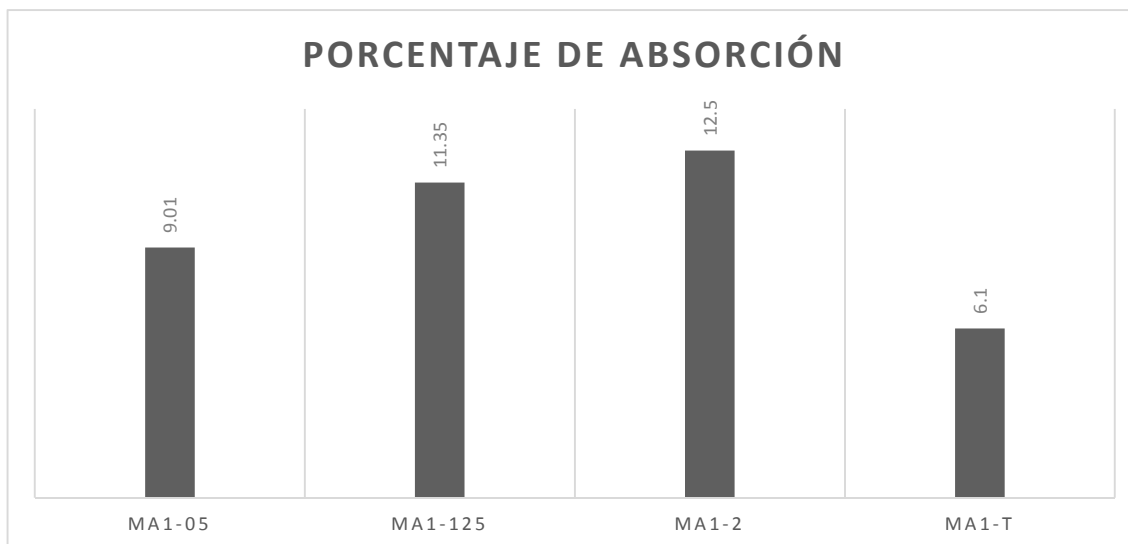


Figura 60. Ensayo absorción de agua 7 días.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Ensayo realizado a los 14 días de curado.

Tabla 46: Ensayo absorción de agua 14 días de curado.

PROBETA	Peso inicial	Peso saturado	Peso saturado- peso inicial	Densidad y porosidad
	gr	gr	gr	%
MA1-05	248.26	264.71	16.45	6.63
MA2-05	223.01	238.03	15.02	6.74
MA3-05	219.89	239.91	20.02	9.10
MA1-125	241.62	265.18	23.56	9.75
MA2-125	258.36	282.89	24.53	9.49
MA3-125	260.81	286.96	26.15	10.03
MA1-2	253.92	283.28	29.36	11.56
MA2-2	227.85	256.41	28.41	12.47
MA3-2	238.56	268.07	29.51	12.37
MA1-T	245.65	257.45	11.8	4.80
MA2-T	236.76	249.76	13	5.49
MA3-T	234.64	245.54	10.9	4.65

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En las probetas con menor cantidad de fibra se maneja un porcentaje menor de absorción de agua a los 14 días de curado pero se puede decir que a comparación con los porcentajes del ensayo de 7 días se mermado parcialmente los porcentajes de absorción de agua.

Tabla 47: Resumen ensayo absorción de agua inmersión, 14 días de curado.

PROBETA	Densidad y porosidad
	%
MA1-05	7.49
MA1-125	9.76
MA1-2	12.13
MA1-T	4.98

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

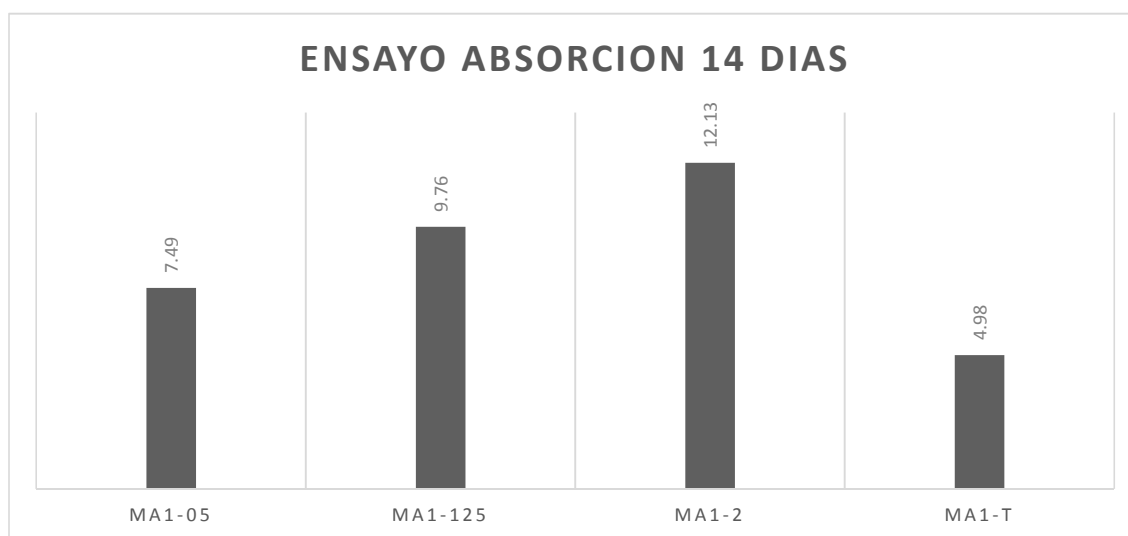


Figura 61. Resumen ensayo absorción inmersión, 14 días de curado.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Ensayo 28 días.

Tabla 48. Ensayo absorción inmersión, 28 días.

PROBETA	Peso inicial	Peso saturado	Peso saturado- peso inicial	Densidad y porosidad
	gr	gr	gr	%
MA1-05	243.01	258.61	15.6	6.42
MA2-05	219.15	232.65	13.5	6.16
MA3-05	231.10	245.6	14.5	6.27
MA1-125	255.21	271.91	16.7	6.54
MA2-125	263.78	281.91	18.13	6.87
MA3-125	234.83	254.06	19.23	8.19
MA1-2	241.61	264.14	22.53	9.32
MA2-2	228.40	249.76	21.36	9.35
MA3-2	244.75	269.25	24.5	10.01
MA1-T	242.56	252.19	9.63	3.97
MA2-T	247.3	257.32	10.02	4.05

MA3-T	245.56	254.29	8.73	3.56
-------	--------	--------	------	------

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Se puede verificar que se mantiene la relación de absorción de agua con los ensayos de 7 y 14 días, así mismo se puede verificar que en el caso de las probetas con la mayor cantidad de fibra 1.25 y 2 % presentan mayor porcentaje de absorción de agua.

Tabla 49: Ensayo absorción inmersión, 28 días.

PROBETA	Densidad y porosidad
	%
MA1-05	6.28
MA1-125	7.20
MA1-2	9.56
MA1-T	3.86

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se puede analizar de manera general, en el ensayo de absorción de agua por inmersión las probetas con menor cantidad de fibra dentro de la mezcla son las que absorben menos agua, pese a su tratamiento con parafina en todas las probetas absorben mayor porcentaje de agua que la testigo.

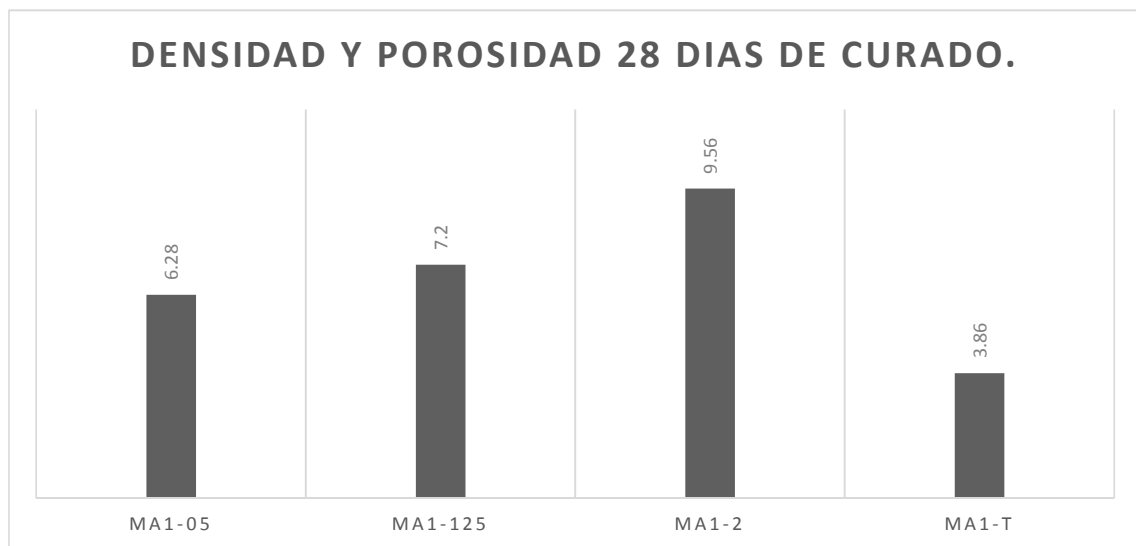


Figura 62. Resumen ensayo 28 días.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen de ensayo.

Tabla 50: Resumen ensayo absorción de agua por inmersión.

PROBETA	7 días	14 días	28 días
MA1-05	9.01	7.49	6.28
MA1-125	11.35	9.76	7.20
MA1-2	12.50	12.13	9.56
MA1-T	6.10	4.98	3.86

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

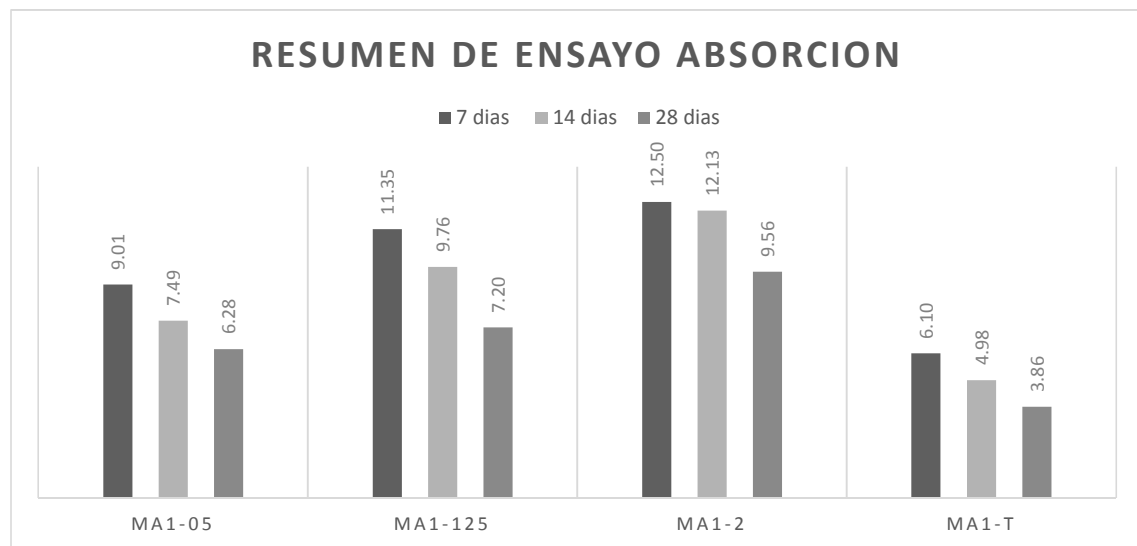


Figura 63. Ensayo absorción de agua por inmersión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.7 Ensayo absorción de agua por capilaridad.

Este ensayo consiste en determinar el coeficiente de capilaridad, la capacidad que tiene en este caso el mortero de absorber agua a través del tiempo.

Al igual que en el ensayo por inmersión se tomó en cuenta las muestras ya ensayadas para realizar este ensayo, ya que las mismas probetas presentan características óptimas para tener un resultado con mayor precisión.

3.7.1 Procedimiento.

El ensayo se elabora en base de la norma UNE 1925: 1999 y la norma UNE 772-11: 2001 "Determinación de la absorción de agua por capilaridad", que indica claramente el procedimiento el cual consiste en secar las probetas a (60°C o 65° C), para registrar su peso seco a continuación se mide el área de superficie que va a estar en contacto con el agua. La probeta se coloca en un soporte con el fin de que no haga contacto con el fondo del recipiente

y este libre introducido en el agua, el nivel de agua debe mantenerse constante entre (5 o 6 mm) durante todo el ensayo.

Se registra su peso en función del tiempo, con intervalos de 1, 3, 5, 10, 15, 20 y 40 min.



Figura 64. Secado de probetas.

- A. Probetas ya ensayadas
 - B. Probetas ingresadas el horno 24horas
- Fuente: El autor
Elaboración: El autor



Figura 65. Elaboración de ensayo absorción por capilaridad.

- A. Probetas sumergidas en agua a un nivel 5mm
 - B. Probetas antes de la toma de datos
 - C. Pesado de probetas
- Fuente: El autor
Elaboración: El autor

3.7.2 Resultados.

Los resultados se calcularan a través de la siguiente ecuación:

$$C_{c,t} = \frac{(m - m_0)}{A \cdot \sqrt{t}} \times 10^6 \left[\frac{g}{m^2 \times s^{0,5}} \right]$$

Donde:

C_{c,t}= Es el coeficiente de capilaridad

Mt= masa después del contacto con el agua en un tiempo (g)

Mo= Masa de inicial seca (g).

As= Superficie de la cara sumergida en el agua (mm²).

T= tiempo de contacto con el agua (s).

Ensayo absorción capilaridad 7 días.

Tabla 51: Ensayo absorción capilaridad, 7 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5
MF1-05	11.75	9.81	11.64	10.86	11.44	12.13
MF2-05	17.75	15.19	16.60	15.88	15.78	14.65
MF3-05	14.34	12.47	12.85	11.76	12.37	11.83
MF1-125	6.28	5.27	5.96	5.44	5.88	9.02
MF2-125	9.29	7.96	9.05	8.48	8.90	8.69
MF3-125	7.59	7.13	8.16	7.47	7.62	7.64
MF1-2	16.91	13.40	12.88	11.17	11.36	13.59
MF2-2	9.13	8.85	9.39	8.51	8.75	10.32
MF3-2	16.51	14.43	14.72	14.43	14.39	11.05
MA1-T	8.62	8.06	9.67	8.41	8.87	7.69
MA2-T	6.40	5.72	8.09	7.87	9.20	9.08
MA3-T	4.80	4.65	6.58	7.34	9.79	8.48

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen 7 días.

Tabla 52: Resumen ensayo absorción, 7 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5	gr/m ² .s.0.5
MF1-05	14.61	12.49	13.70	12.83	13.20	12.87
MF1-125	7.72	6.79	7.72	7.13	7.47	8.45
MF1-2	14.18	12.23	12.33	11.37	11.50	11.65
MA1-T	6.61	6.15	8.11	7.87	9.29	8.42

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

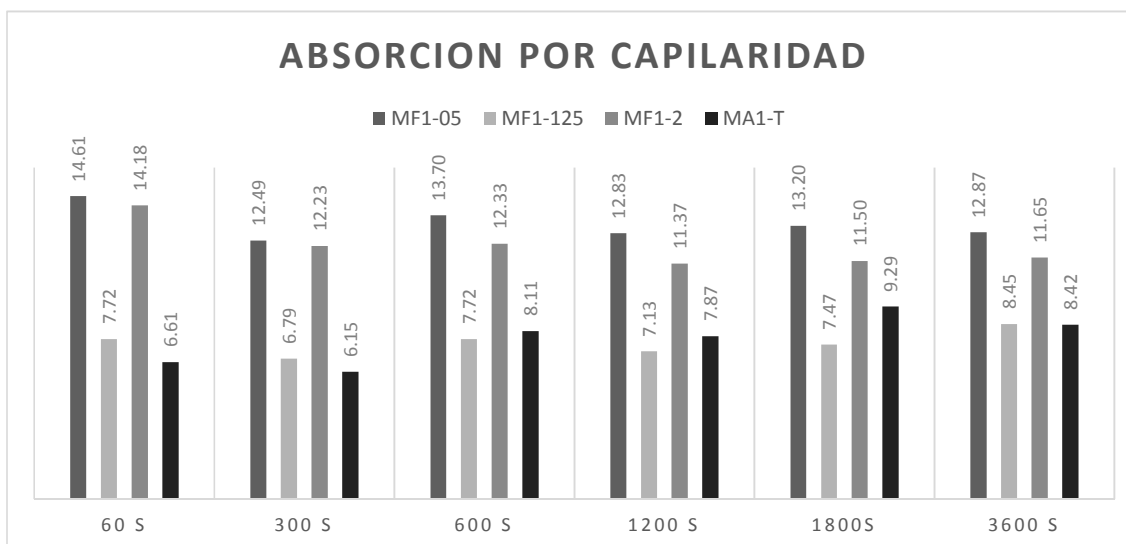


Figura 66. Resumen de ensayo absorción, 7 días.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Ensayo absorción de agua capilaridad, 14 días.

Tabla 53: Ensayo absorción de agua capilaridad, 14 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5
MFA-05	15.55	14.26	15.73	13.73	14.19	13.05
MFA-05	19.92	17.11	18.14	16.39	16.44	16.46
MFA-05	17.75	15.52	16.59	15.34	15.91	14.79
MFA-125	11.20	9.35	9.92	9.52	9.81	12.53
MFA-125	8.29	7.75	9.53	8.42	8.80	9.73
MFA-125	6.14	6.18	6.07	6.18	6.59	8.63
MFA-2	16.46	14.38	15.37	14.72	15.02	14.19
MFA-2	13.34	12.27	12.89	12.93	13.26	12.44
MFA-2	15.45	13.47	15.63	15.02	15.23	13.56
MA1-T	4.78	5.35	5.54	5.88	6.69	7.72
MA2-T	6.40	6.08	6.32	6.79	7.01	9.08
MA3-T	7.72	6.56	7.32	9.32	9.58	8.37

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En resumen

Tabla 54: Resumen ensayo absorción por capilaridad, 14 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5
MFA-05	17.74	15.63	16.82	15.15	15.51	14.77
MFA-125	8.54	7.76	8.51	8.04	8.40	10.29
MFA-2	15.08	13.37	14.63	14.22	14.50	13.40

MA1-T	6.30	5.99	6.40	7.33	7.76	8.39
-------	------	------	------	------	------	------

Fuente: El autor

Elaboración: El autor.

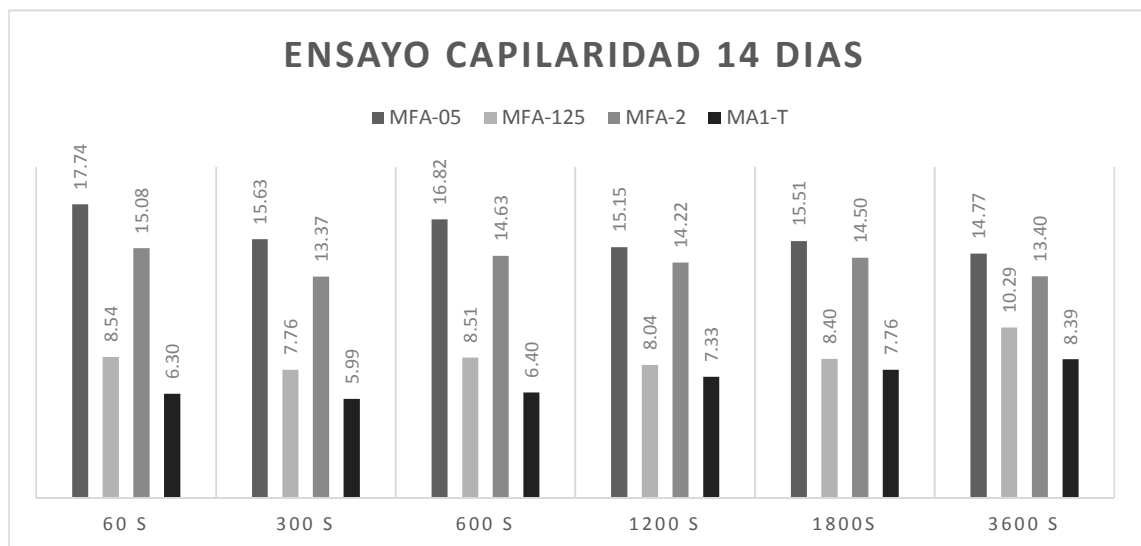


Figura. 67. Resumen ensayo absorción capilaridad, 14 días.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Ensayo 28 días.

Tabla 55. Ensayo absorción de agua capilaridad, 28 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	g/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5
MA1-05	14.35	13.85	16.24	14.52	15.17	14.43
MA2-05	21.28	19.74	23.93	20.80	21.88	20.56
MA3-05	17.27	17.91	22.10	19.31	20.21	19.77
MA1-125	8.59	8.39	10.38	9.09	10.27	10.69
MA2-125	10.96	9.80	11.14	9.45	10.29	10.61
MA3-125	6.98	10.40	12.51	11.10	12.18	12.11
MA1-2	20.63	19.16	21.33	18.45	18.11	14.65
MA2-2	15.45	8.98	18.81	16.07	21.73	14.96
MA3-2	21.06	17.02	19.21	17.02	17.60	16.52
MA1-T	6.33	6.37	9.01	8.50	9.54	9.81
MA2-T	4.70	6.65	8.17	7.88	9.72	9.50
MA3-T	5.60	5.01	10.62	8.94	10.51	10.32

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Resumen 28 días.

Tabla 56. Resumen ensayo absorción de agua, 28 días.

PROBETA	60 s	300 s	600 s	1200 s	1800s	3600 s
	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5	gr/m2 .s.0.5
MA-05	17.64	17.17	20.76	18.21	19.09	18.25

MA-125	8.84	9.53	11.34	9.88	10.91	11.14
MA-2	19.05	15.06	19.78	17.18	19.14	15.38
MA-T	5.54	6.01	9.27	8.44	9.92	9.88

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

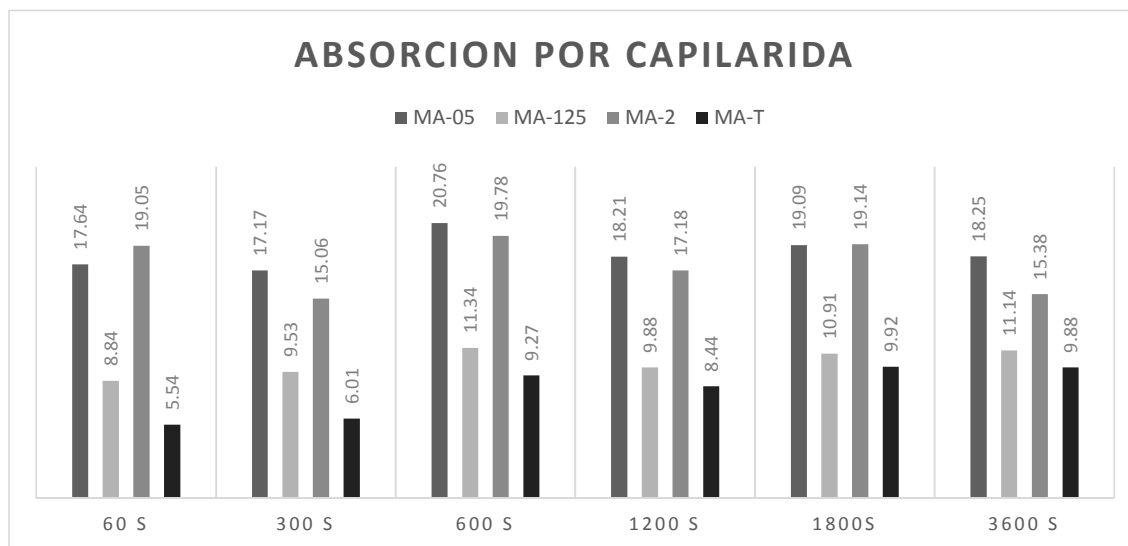


Figura 68. Resumen ensayo absorción por capilaridad, 28 días.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen del ensayo.

Tabla 57: Resumen ensayo absorción capilaridad.

PROBETA	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
MF1-05	13.28	15.93	18.51
MF1-125	7.54	8.59	10.27
MF1-2	12.21	14.20	17.59
MA1-T	7.74	7.02	8.17

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

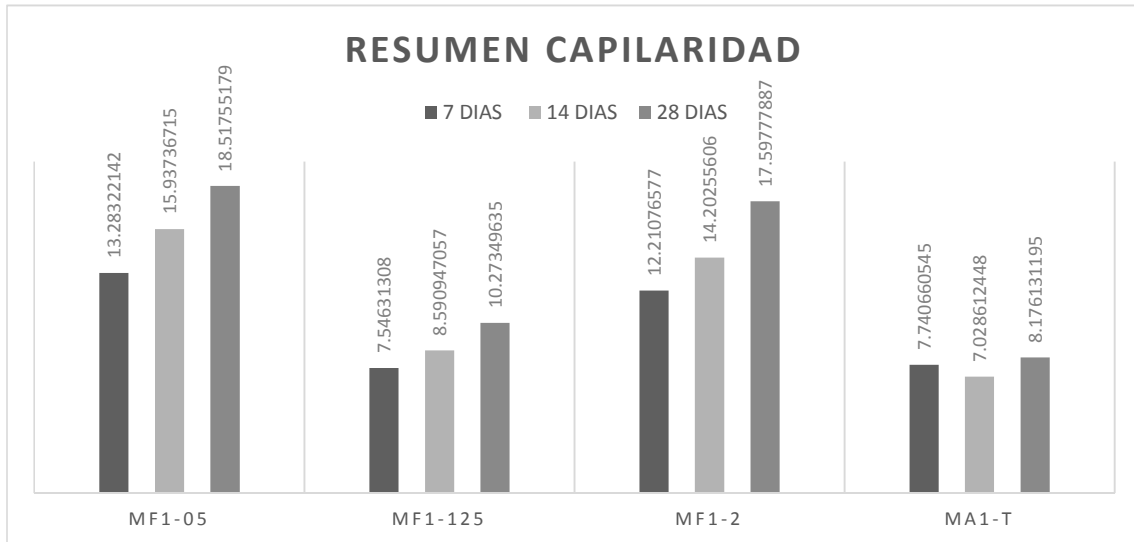


Figura 69. Ensayo absorción capilar.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.8 Ensayo Impacto.

Los ensayos de impacto por caída de dardo, nos proporcionan información del comportamiento del material frente a una masa en caída libre (despreciando el rozamiento con el aire), es decir la energía potencial con la que se golpea la probeta. Para este caso hemos utilizado las probetas ya ensayadas en el caso de flexión, las cuales presentan con buenas características para realizar este ensayo.

En este caso se han considerado a las probetas de 28 días de curado, ya que en dicho tiempo el mortero alcanza su máximo porcentaje de endurecimiento por lo que se obtendrán resultados con mayor precisión (Revuelta Crespo & Gutiérrez Jiménez, 2008).

3.8.1 Procedimiento.

Las probetas, con una dimensión de (60x40x40) mm, se colocan en el soporte de forma que la superficie de las probetas sea centrada, horizontal y perpendicular con respecto al impactador, seguidamente se mide la altura desde donde se dejara caer, se toma los datos del impactador en este caso su masa y seguidamente se procede a realizar el ensayo (Tabla, n.d.).

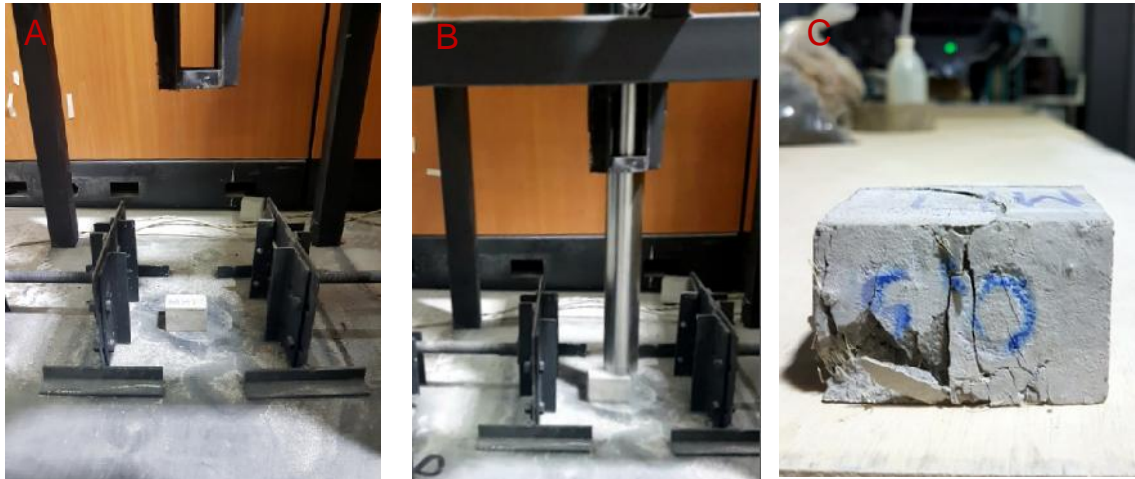


Figura 70. Procedimiento ensayo al impacto, 28 días.

A. Introducción de probeta dentro de la máquina de ensayo

B. Impacto de la probeta

C. Resultado del ensayo

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Luego de la primera caída del impactador se verifica que no haya fallado.

3.8.2 Resultados.

Tabla 58. Ensayo Impacto 28 días.

Probeta	Altura inicial	Aceleración de la gravedad	Masa de la barra	energía potencial	Números de impacto	Tipo de deterioro			
	m					m/s ²	Kg	J	Numero de golpes
MF1-05	0.5	9.8	10	49	1	C	E		
MF2-05	0.5	9.8	10	49	1	C	D		
MF3-05	0.5	9.8	10	49	1	C	F		
MF1-125	0.5	9.8	10	49	1	C	D	E	
MF2-125	0.5	9.8	10	49	1	C	F		
MF3-125	0.5	9.8	10	49	1	C	C	F	
MF1-2	0.5	9.8	10	49	3	A	C	D	
MF2-2	0.5	9.8	10	49	3	A	A	E	
MF3-2	0.5	9.8	10	49	3	A	C	D	

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Tabla 59. Descripción del daño producido.

Nivel	Descripción de la Probeta
A	Ningún deterioro
B	Líneas o trazas alrededor del impacto Ni fisuras radiales ni desprendimiento de material (escamaduras)
C	Fisuras radiales de longitud de menores a 5mm Sin desprendimiento del material

D	Fisuras radiales de longitud entre 5 y 10mm Sin desprendimiento del material
E	Fisuras radiales de longitud mayores o iguales a 10mm Sin desprendimiento del material
F	Desprendimiento del material

Fuente:(Tabla, n.d.)

Elaboración: El autor

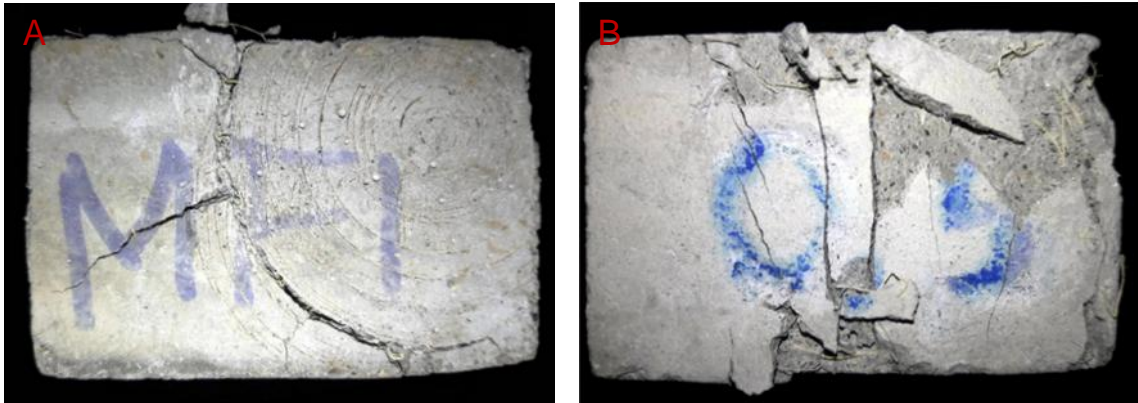


Figura 71. Características de probeta 0.5%. 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

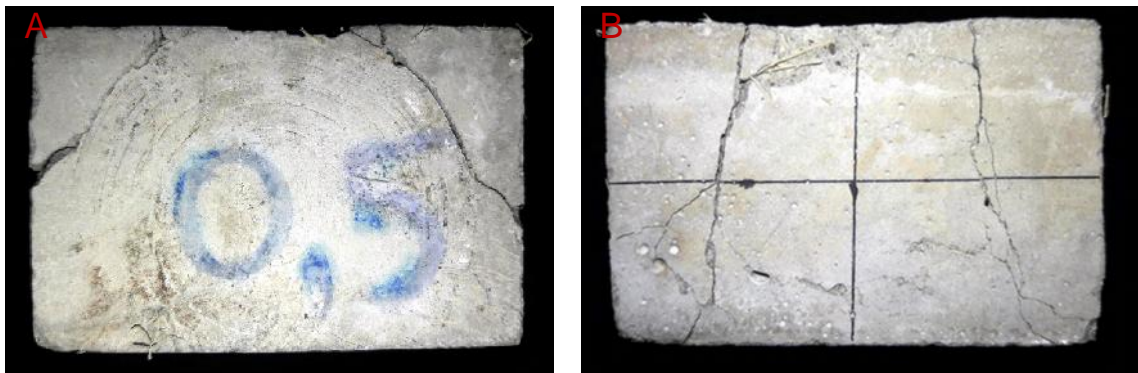


Figura 72. Características luego del ensayo 0.5%, 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 75. Características de probeta 1.25%, 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 74. Características de probeta 0.5%, 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 73. Características de probeta 1.25%, 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista Lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

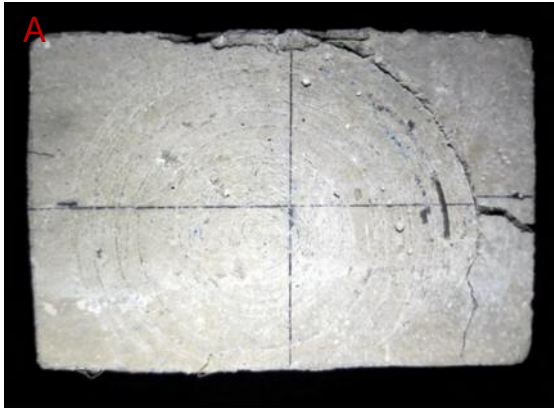


Figura 76. Características probeta 2%, 28 días.

A. Vista frontal.

B. Vista lateral.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 77. Características de probeta 2% , 28 días.

A. Vista en planta

B. Vista Lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 78. Características probeta 2%, 28 días.

A. Fuente: El autor

B. Elaboración: El autor

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

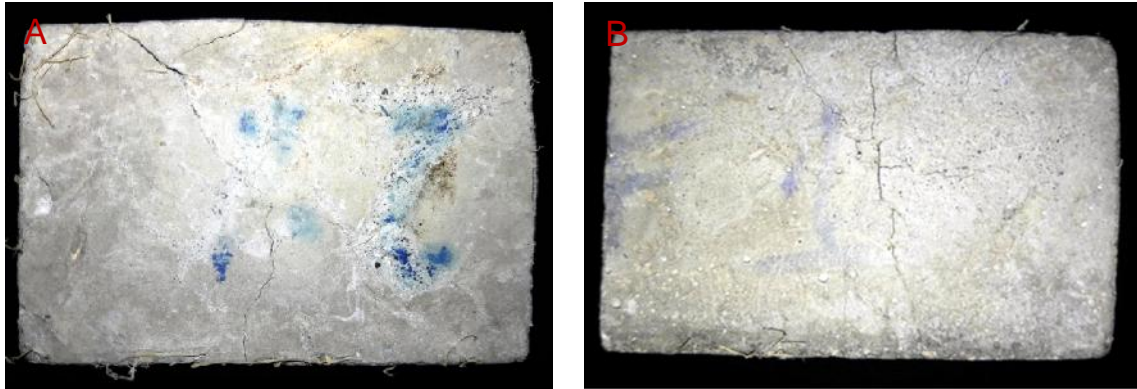


Figura 79. Características de probetas 2%, 28 días.

A. Vista frontal

B. Vista lateral

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.9 Ensayo Conductividad térmica y transmitancia térmica.

En este ensayo se caracteriza al material su conductividad térmica, si es un buen aislante térmico o no, y su transmisibilidad de calor entre dos ambientes separados por dicho elemento, el ensayo se establece bajo las normas chilenas NCH 853 “Acondicionamiento térmico, envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancia térmicas”.

3.9.1 Elaboración de paneles.

Para la realización de este ensayo se establece la elaboración de paneles de (150x300x 15) mm, bajo la norma ASTM C 1185, se utiliza la misma dosificación establecida bajo el ensayo a fluidez el proceso, es el mismo que en la elaboración de probetas, sin embargo se utilizan otros tipos de moldes para hacer los paneles de las dimensiones ya mencionadas.

Se engrasan los moldes para evitar la adherencia con el molde y se procede a colocar la masa dentro del mismo, se apisona en una sola capa con 5 golpes en 2 secuencias, se fragua por 24h, seguidamente se procede a retirar del molde y sumergir dentro del agua durante 28 días.



Figura 80. Realización de paneles.

- A. Apisonado de panel
 - B. Enmoldado de paneles
 - C. Curado de paneles
- Fuente: El autor
Elaboración: El Autor

3.9.2 Procedimiento.

En este ensayo se debe simular dos cámaras, de aire confinado o caliente y otra de aire ambiente, simulando dos habitáculos, por lo que se procede a elaborar una caja que presente estas características, 38cm de ancho x 70 de largo y 30cm de alto, al interior con un forraje de yeso y espuma Flex, al exterior un forraje de madera para evitar que el aire frío ingrese desde el exterior, además cuenta con dos espacios separados para colocar los paneles a ensayar, esta caja también cuenta con un espacio en donde se coloca una fuente de calor en este caso un foco incandescente de 80W.



Figura 81. Equipo para ensayo conductividad termica y trasmittancia térmica.

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Antes de ingresar los paneles al equipo se registran sus datos de peso y longitud.

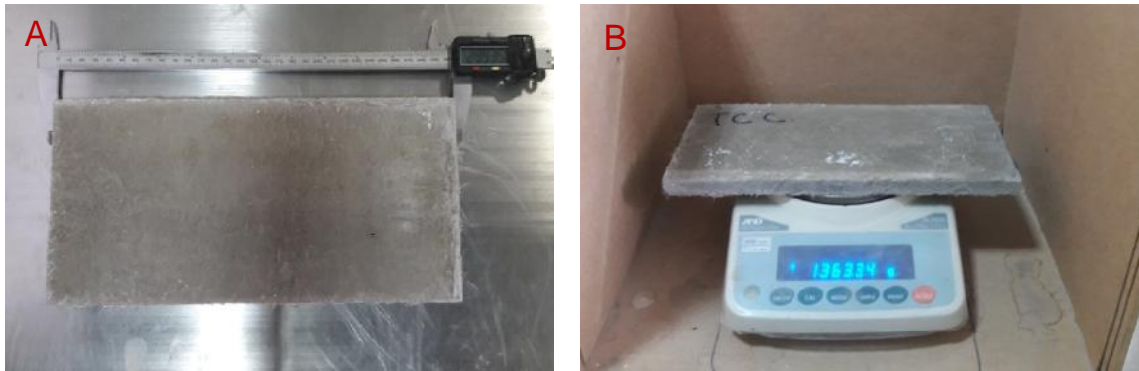


Figura 82. Peso y medida de paneles.

A. Medición de panel

B. Pesado de panel

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se procede utilizando los termómetros que se introducen conjuntamente con el panel a ensayar dentro de la caja, los paneles se encuentran completamente secos para evitar que existan errores al momento del ensayo, seguidamente se enciende el foco de 110W, se registra su temperatura inicial, y se procede a tomar los datos en los intervalos de tiempo de 1, 30 y 60 min.

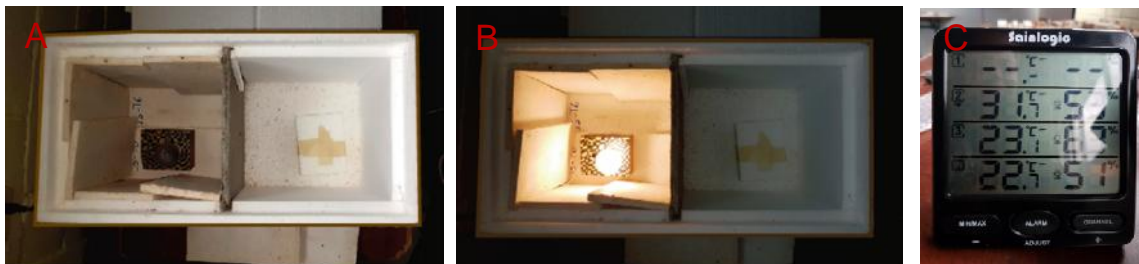


Figura 83. Ensayo térmico.

A. Caja previo al ensayo

B. Probeta dentro del ensayo

C. Termómetro exterior, toma de datos

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.9.3 Resultado.

Para realizar los resultados de este ensayo se aplicó la siguiente fórmula.

$$Q' = k \frac{(T1 - T2)}{L}$$

En dónde:

K= Conductividad térmica.

A= área del material.

L= espesor del material.

Q= índice de transferencia de calor.

T1= temperatura final.

T2= temperatura inicial.

T= variación de tiempo.

Resultados 1 min.

Tabla 60: Resultados conductividad térmica.

Nombre de Panel	t1	t2	Conductividad	Área del materia	Espesor	Índice de transferencia de calor	Media de índice Trasferencia de calor	Índice total de calor
	C	C	W/(m.°C)	m2	m	w	kw	Q.t
MP1_2	27.90	22.84	0.16	0.084	0.015	4.53	0.0447	
MP2_2	27.20	22.85	0.16	0.084	0.015	3.90		0.0045
MP3_2	28.20	22.63	0.16	0.084	0.015	4.99		
MP1_125	27.40	22.23	0.16	0.084	0.015	4.63	0.0463	
MP2_125	27.70	22.63	0.16	0.084	0.015	4.54		0.0046
MP3_125	27.50	22.23	0.16	0.084	0.015	4.72		
MP1_05	27.30	22.61	0.16	0.084	0.015	4.20	0.0456	
MP2_05	28.10	22.21	0.16	0.084	0.015	5.28		0.0046
MP3_05	27.90	23.22	0.16	0.084	0.015	4.19		

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

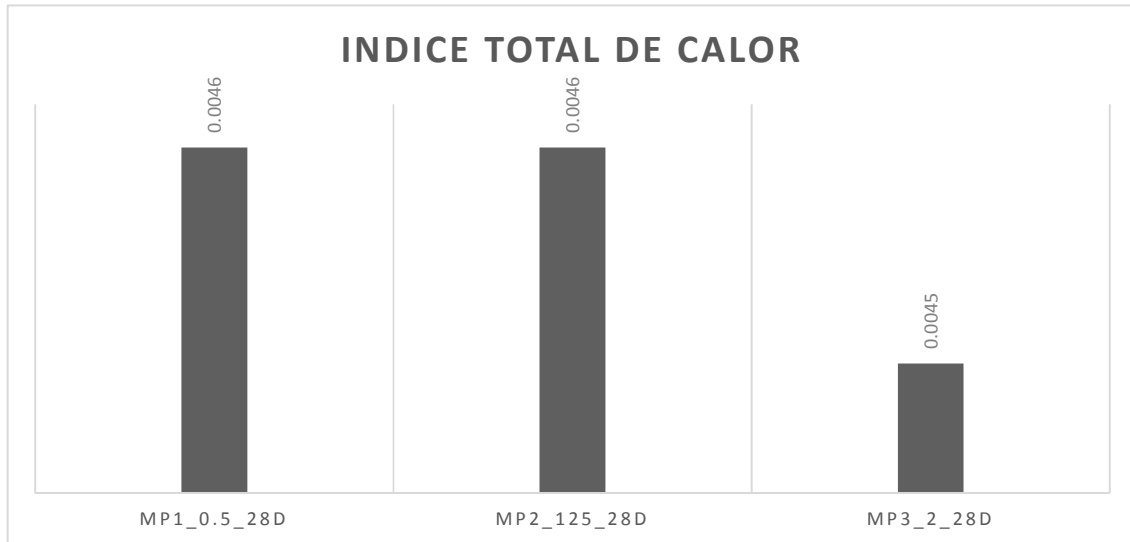


Figura 84. Índice total de calor 1min.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen de ensayo 30 minuto.

Tabla 61: Resumen ensayo 30min.

Nombre de Panel	t1	t2	Conductividad	Área del materia	Espesor	Índice de transferencia de calor	Media de índice Tránsfere ncia de calor	Índice total de calor
	C	C	W/(m.°C)	m2	m	w	kw	Q.t
MP1_2	49.60	30.10	0.16	0.084	0.015	17.47	0.1655	
MP2_2	49.10	30.20	0.16	0.084	0.015	16.93		0.083
MP3_2	47.40	30.40	0.16	0.084	0.015	15.23		
MP1_125	49.40	28.20	0.16	0.084	0.015	19.00	0.1900	
MP2_125	49.70	28.60	0.16	0.084	0.015	18.91		0.095
MP3_125	49.50	28.20	0.16	0.084	0.015	19.08		
MP1_05	49.20	26.80	0.16	0.084	0.015	20.07	0.1992	
MP2_05	49.80	26.80	0.16	0.084	0.015	20.61		0.100
MP3_05	47.60	26.30	0.16	0.084	0.015	19.08		

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

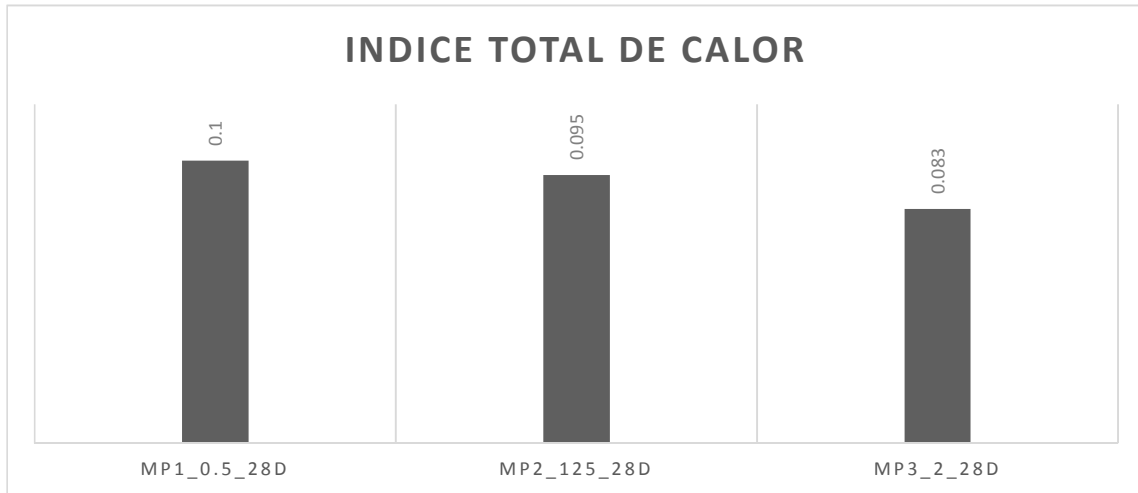


Figura 85. Índice de calor 30min.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen ensayo 60 min.

Tabla 62: Resumen ensayo, 60 min.

Nombre de Panel	t1	t2	Conductividad	Área del materia	Índice de transferencia de calor	Índice de transferencia de calor	Media de índice Trásferencia de calor	Índice total de calor
	C	C	W/(m.°C)	m2	m	w	kw	Q.t
MP1_2	59.10	38.00	0.16	0.084	0.015	18.91	0.1879	
MP2_2	59.20	38.50	0.16	0.084	0.015	18.55		0.188
MP3_2	59.30	38.20	0.16	0.084	0.015	18.91		
MP1_125	59.80	35.80	0.16	0.084	0.015	21.50	0.2147	
MP2_125	59.60	35.60	0.16	0.084	0.015	21.50		0.215
MP3_125	59.40	35.50	0.16	0.084	0.015	21.41		
MP1_05	59.10	33.20	0.16	0.084	0.015	23.21	0.2330	
MP2_05	59.30	33.30	0.16	0.084	0.015	23.30		0.233
MP3_05	59.50	33.40	0.16	0.084	0.015	23.39		

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

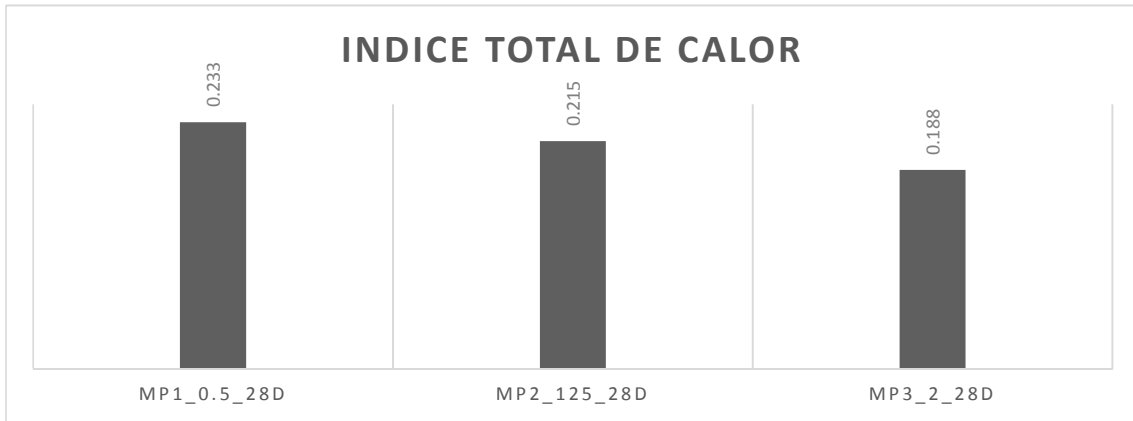


Figura 86. Índice total de calor.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen general del ensayo conductividad térmica.

Tabla 63: Resumen total del ensayo.

Nombre de Panel			
	0.01h	0.5h	1h
MP1_0.5	0.0046	0.1	0.233
MP2_125	0.0046	0.095	0.215
MP3_2	0.0045	0.083	0.188

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen conductividad térmica

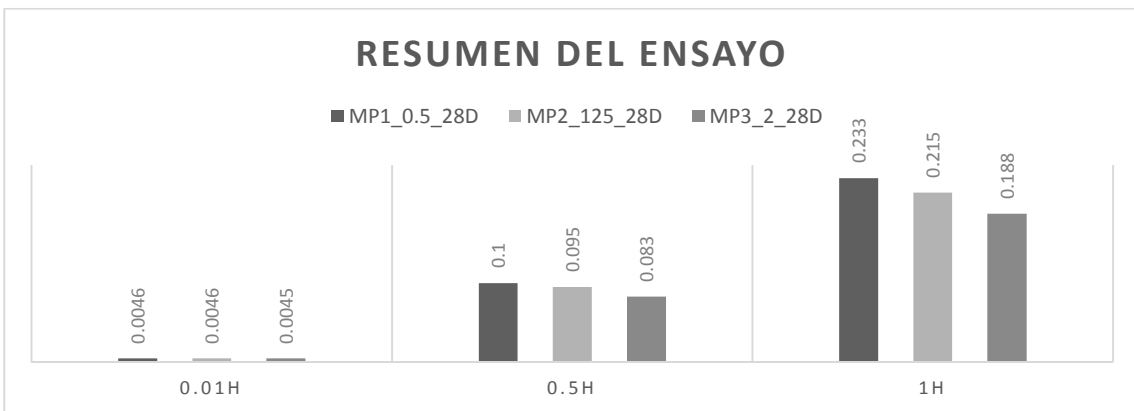


Figura 87. Resumen del ensayo.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.10 Ensayo Acústico.

Este ensayo nos proporciona información para caracterizar acústicamente un elemento separador de los locales, para lo cual utilizamos el mismo equipo que en el ensayo térmico ya que consta de dos cámaras beneficiando así la utilidad para realizar el ensayo.

3.10.1 Procedimiento

El ensayo se realizó bajo las normas UNEN-EN-ISO 140-4 “Medición in situ de aislamiento al ruido aéreo entre locales”, se utilizaron paneles anteriormente ensayados en la resistencia térmica, ya que no presentan fallas considerables, por ende son óptimos para su utilización, en primera instancia se calibro el sonómetro por medio de un tono de 110dB a 1000Hz, por medio de una fuente de ruido rosa.

Para continuar el ensayo se procedió a colocar el panel divisorio a ensayar, simulando dos ambientes en el primero se coloca la fuente de ruido rosa y en el segundo el sonómetro ya calibrado, Los datos se tomaron en tiempos de 5, 10 y 15min.

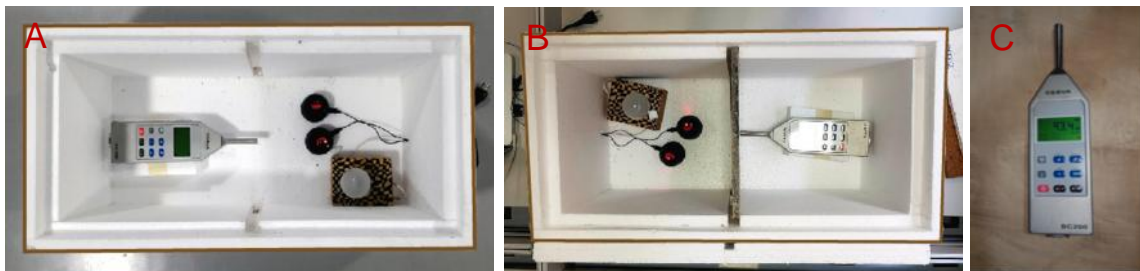


Figura 89. Calibración de sonómetro.

- A. Fuente de ruido rosa.
- B. Parlantes.
- C. Sonómetro.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

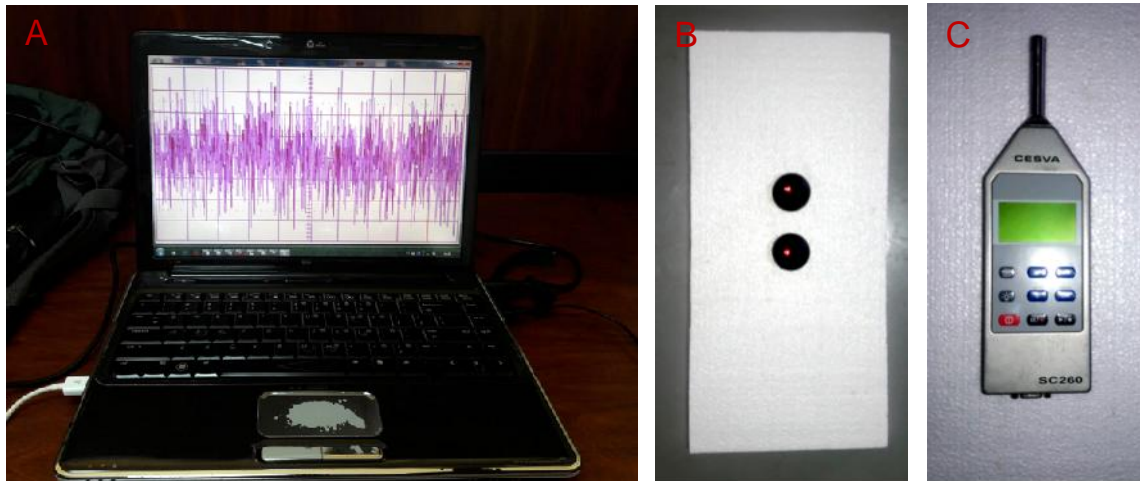


Figura 88. Realización de ensayo acústico

- A. Introducción del sonómetro
- B. Colocación de panel previo al ensayo
- C. Toma de datos con el sonómetro

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.10.2 Resultados.

Aislamiento acústico bruto de un local respecto del otro.

Se calculó bajo la siguiente ecuación:

$$D = L1 - L2$$

En donde

D= Aislamiento acústico

L1= es el nivel de intensidad acústica en el local emisor

L2= es el nivel de intensidad acústica en el local receptor.

- Aislamiento acústico ruido aéreo

Se calculó bajo la siguiente formula.

$$R = D + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right)$$

En donde

R= ruido aéreo, en dB

S= es la superficie del elemento separador, en m²

A= es la absorción del recinto separador en m²

Tabla 64: Resumen ensayo acustico.

Nombre de panel	Calibrador		Tiempo 15 min		Aislamiento acústico bruto	Ruido aéreo
	last mast	Last min	last mast	Last min		
	dB	dB	dB	dB		
MF1-05	110	88.8	88.9	69.4	21.1	21.07
MF2-05	110	88.8	88.7	69.2	21.3	21.27
MF3-05	110	88.8	88.7	68.9	21.3	21.27
MF1-125	110	88.8	86.2	65	23.8	23.77
MF2-125	110	88.8	86.7	65.6	23.3	23.27
MF3-125	110	88.8	86.3	65.9	23.7	23.77
MF1-2	110	88.8	85.7	64.2	24.3	24.27
MF2-2	110	88.8	85.2	63.8	24.8	24.77
MF3-2	110	88.8	85.5	63.6	24.5	24.47

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

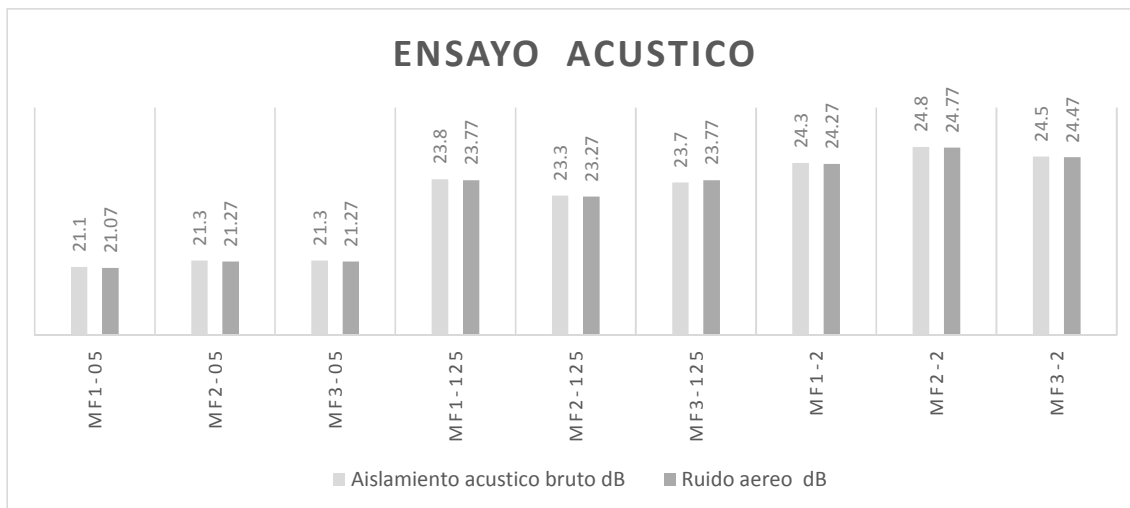


Figura 90. Resumen ensayo acústico.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.11 Ensayo Fuego.

En este ensayo se somete al fuego a una probeta, donde se caracteriza su resistencia bajo la presión de altas temperaturas durante un periodo de tiempo. Se realizó bajo la norma NTE INEN 804:2013 "Prevención de incendios. Determinación de la resistencia de la resistencia al fuego de elementos constructivos"

3.11.1 Procedimiento.

Para realizar este ensayo se utilizaron paneles anteriormente ensayados, los cuales fueron ubicados a una inclinación de 70°C, donde se colocó el soplete de una forma perpendicular con respecto al panel, los ensayos estuvieron expuestos al fuego por un tiempo mínimo de 30min o hasta que el material falle.



Figura 91. Ensayo fuego.

A. Inicio del ensayo

B. Panel durante el ensayo

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.11.2 Resultados.

Tabla 65: Resumen ensayo al fuego.

NOMBRE DE PANEL	Tiempo	combustión	Clasificación resistencia al fuego
	min		
MF1-05	82	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF2-05	77	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF3-05	81	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF1-125	73	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF2-125	68	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF3-125	75	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF1-2	66	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF2-2	62	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60
MF3-2	64	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	F60

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Resumen del ensayo.

Tabla 66: Resumen de ensayo al fuego.

Panel	Tiempo
MF1-05	80
MF1-125	72
MF1-2	64

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.12 Análisis referencial.

Después de todos los ensayos realizados se resume sus características en la siguiente tabla.

Tabla 67: Características técnicas del mortero de cemento con refuerzo de fibra de cabuya.

Ensayo	Unidad	% de fibra		
		0.5%	1.25%	2%
Compresión.	Mpa	34.18	33.69	33.81
Flexión.	Kg/ cm ²	62.56	66.61	74.65
Absorción de Agua inmersión.	%	6.28	7.2	9.56

Absorción de Agua capilaridad.	%	10.27	17.59	18.51
Impacto	#	2	3	4
Conductividad de calor.	KW	0.23	0.215	0.188
Acústica	dBa	21	23.4	24.44
Fuego	min	80	72	64

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Según la norma NTE INEN 2518 2010, “Morteros para unidades de mampostería”, clasifica el mortero según sus características mecánicas.

Tabla 68: Guía para la selección de morteros.

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min (MPa).	Retención de agua, % min.
Cemento para mortero.	M	17.2	75
	S	12.4	75
	N	5.2	75
	O	2.4	75

M: Alta resistencia

S: Media resistencia

N: Uso para mortero de pega paredes exteriores

O: Uso para mortero de pega pared interiores no portantes.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Notándose para este caso, es un mortero tipo M (alta resistencia), en la misma según el tipo define el uso dentro de la construcción.

Tabla 69: Guía especificación de uso de mortero.

Ubicación	Segmento de construcción	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, por encima del nivel de terreno.	Muro portante.	N	S o M
	Muro no portante.	O ^B	N o S
	Antepecho.	N	S
Exterior, en o por debajo del nivel de terreno.	Muro de cimentación, pozos de inspección, desagües, pavimentos, caminos y patios.	S ^C	M o N ^C
Interior.	Muro portante.	N	S o M
	Tabiquería no portante.	O	N
Interior o exterior.	Reparación o acabado.	O	N

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Conforme la tabla se establece su utilidad en: exterior, muro de cimentación, pozos de inspección desagües, pavimentos y caminos.

3.13 Comparación con otros morteros de cemento reforzados con fibras naturales.

Al hacer una comparativa debemos tener en cuenta que existe la diferencia con los demás morteros en porcentajes de fibra, tratamiento, longitud y las dosificaciones específicas. Sin los ensayos son los mismos con lo que se puede establecer una comparativa a través de porcentajes verificando cada uno de sus comportamientos en sus diferentes propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 70: Comparativa con otros morteros de cemento con fibras naturales.

	Flexión	Compresión	Abs. Inmersión	Abs Capilaridad	Impacto	Térmica	Acústico	Fuego
Fibra de cáñamo	17%	24%	3%	---	-----	-----	-----	-----
Sisal residual	35.9%	7.4%	13.7%	27%	45%	-----	-----	----
Fibra de Coco	16.5%	5.7%	21%	27%	32%			
Fibra de lino	50%	12%	18%	33%	-----	12%	-----	-----
Fibra de cabuya	24.5%	10.3%	12%	22%	58%	6%	8%	-13%

Fuente:(Abdullah, Jamaludin, Mohd Noor, & Hussin, 2011)(Barra et al., 2015)(Al-mohamadawi et al., 2016)

Elaboración: El autor

Como se puede identificar el mortero de cemento mantiene una resistencia a flexión intermedia 24.5% de incremento, así también se pudo notar que en el caso de compresión apenas y mejoran el mortero, esta constante se evidencia en todos los morteros compuestos por fibras naturales, para el caso de absorción de agua, el tratamiento de parafina actúa notoriamente ya que se encuentra entre los porcentajes más bajos de absorción, en el caso de impacto el comportamiento es mejor que el de sisal residual y fibra de coco esto gracias a que la fibra absorbe la energía potencial y evita las fisuras tempranamente.

**CAPITULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Ensayo compresión.

Los resultados se vieron afectados por dos variables; la relación de proporción de fibra dentro de la masa y el porcentaje de porosidad del material, la adición de fibras resulto una disminución para la resistencia a compresión esto probablemente al efecto que hacen las fibras ya que incrementa la cantidad de huecos de aire atrapados en la mezcla afectando directamente el contacto entre las fibras y la pasta (Wang et al., 2013).

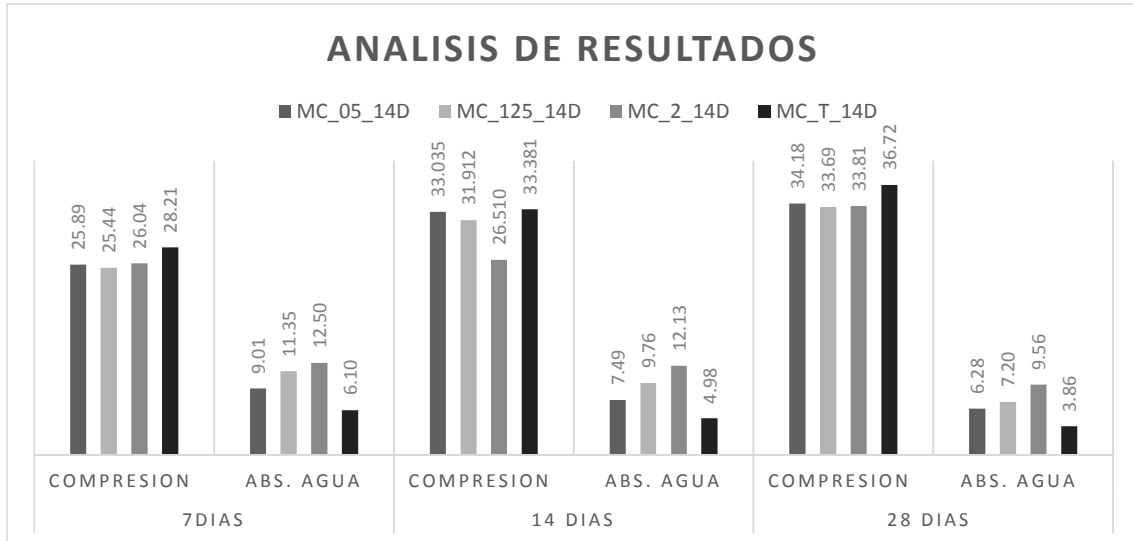


Figura 92. Análisis comparativo entre absorción y compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La resistencia a compresión aumento un 24.5% a partir de los 7 días hasta llegar a los 28 días de curado. En comparación con la prueba testigo, se pudo observar una disminución del 5.5% en el caso de las probetas con menor cantidad de fibra (0.5%), para el caso de porcentaje de fibra de 1.25% se disminuyó en un 8.3% y para el caso del 2% de fibra se disminuyó un 8.14% de la resistencia a la compresión, esto se relaciona directamente con el porcentaje de absorción de agua que disminuyó en un 3% desde los 7 días , hasta llegar a los 28 días de curado, con respecto a la probeta testigo aumenta su índice absorción de agua en el caso de 0.5% de fibra aumenta 2.4% , en el caso de 1.25% de fibra aumenta un 3.35% y en el caso de 2% de fibra 5.7%. Por ende existe un efecto negativo con el mayor porcentaje de fibra ya que ocasiona mayor grado de vacíos dentro de la pasta donde se acumula agua debilitando la hidratación interna de la pasta, además esto huecos vacíos formados son el punto de inflexión principal para el bajo comportamiento a compresión del mortero (Al-mohamadawi et al., 2016).

4.2 Ensayo flexión.

Los resultados obtenidos fueron favorables, es decir que las cantidades de absorción de agua, la cantidad de poros, longitud de fibra no causaron un cambio negativo como en el caso del ensayo a compresión, sin embargo se pudo observar que en el caso de proporciones de fibra si afectaron a los resultados.

El módulo de ruptura de las probetas aumento ligeramente con el valor de proporciones de fibra dentro de la pasta. La mayor resistencia con respecto a la probeta testigo se observó con el porcentaje de 1.25% de fibra que aumento un 15.8% a diferencia del porcentaje de 2% de fibra que aumento un 10.3% y para el porcentaje de menor fibra 0.5% aumento un 6% . Además se pudo observar un aumento de resistencia del módulo de rotura de un 17% a partir de los 7 días hasta llegar a los 28 días (Çomak, Bideci, & Salli Bideci, 2018).

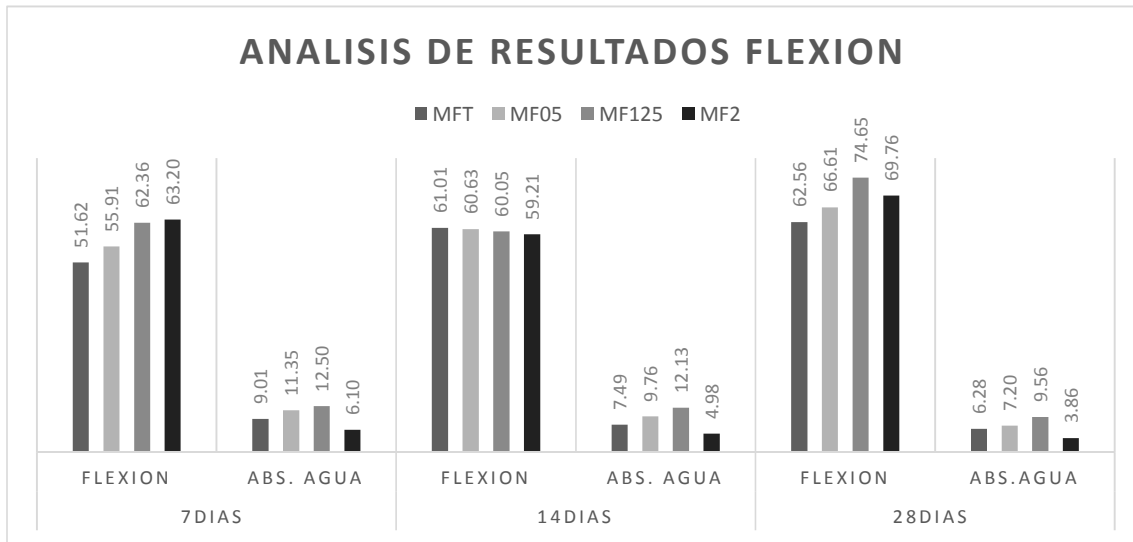


Figura 93. Análisis comparativo entre absorción y flexión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Para las muestras de 2% de fibra se obtuvo una resistencia menor que la resistencia de 1.25 %, esto debido a su proporción de fibra, ya que genera mayor aglomeración de fibra y vacíos donde se acumulan agua y generan poros, que intervienen directamente en la fractura temprana del material (Wei, Ma, & Thomas, 2016).

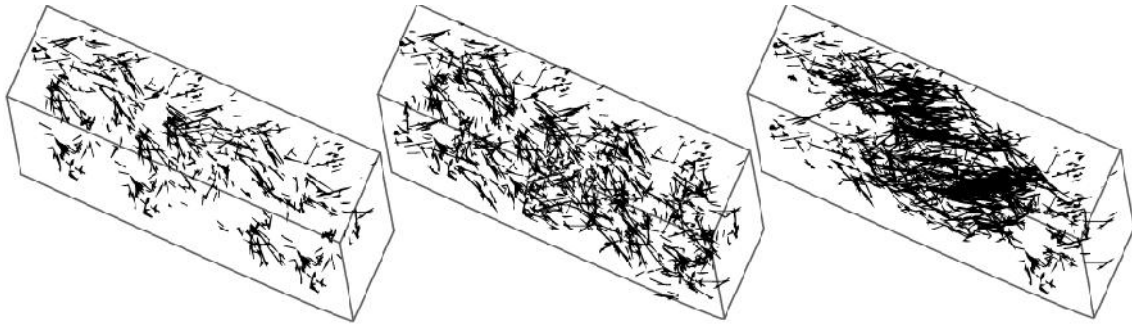


Figura 94. Distribución de fibras, interior.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.3 Ensayo Absorción de agua (inmersión y capilaridad).

Los resultados muestran que el recubrimiento con parafina en las fibras mejoraron los resultados de absorción de agua, la absorción máxima 5.7 % con respecto al ensayo testigo se observó en las muestras con mayor porcentaje de fibra (2%) y el menor 2.4% se registró en los porcentajes de 0.5%, por lo que se comprueba que a mayor cantidad de fibra mayor es la cantidad de poros que se forman dentro de la pasta. Estos resultados van a la par en el caso de los ensayos capilares se registran un incremento de máximo de agua a través del tiempo 30.6 % para el porcentaje de 2% y un 28.7 % para el porcentaje de 0.5%.

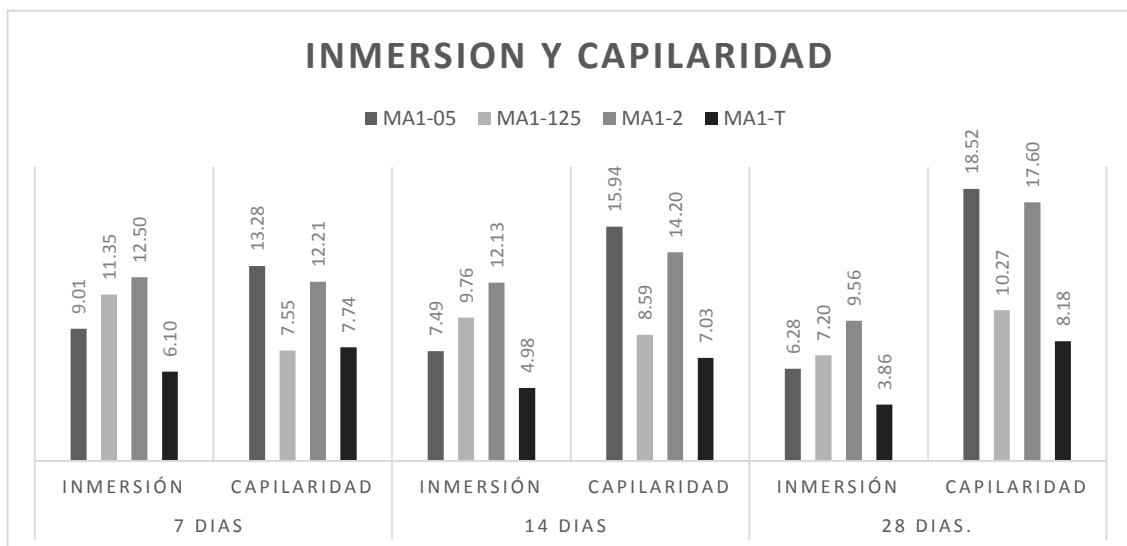


Figura 95. Análisis comparativo absorción de agua (inmersión capilaridad).

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Además se registró un hecho inusual en el caso de absorción por inmersión, su porcentaje de absorción de agua disminuyó a través del tiempo de curado esto debido al proceso de maduración del cemento; hidratación, cristalización, fraguado y endurecimiento, lo que no permitió más el paso de agua a ciertos poros internos reduciendo su porcentaje de absorción de agua (Barra et al., 2015).

4.4 Ensayo Impacto.

Los resultados de impacto se pueden evidenciar en la categoría de daño que se produjo a las probetas ensayadas, el mayor número de impactos se dio en las probetas con porcentaje de fibra del 2%, esto debido a que las fibras absorben la energía que se produce cuando el mástil choca violentamente y las disipa a través de las fibras antes de su falla inicial, la aglomeración de fibras evita que esta energía de deformación produzcan grietas y fisuras por lo que se necesita mayor cantidad de energía potencial para su fallo (Ramakrishna & Sundararajan, 2005).

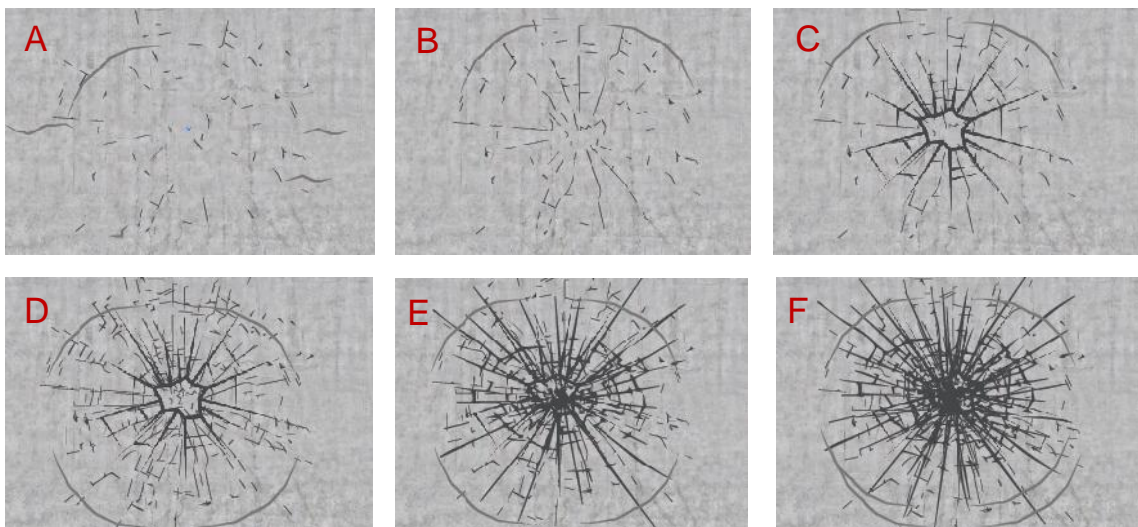


Figura 96. Análisis del desgaste de la muestras en el ensayo impacto.

De A, hasta D: proceso de deformación de muestra a través de la variación de impactos

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se pudo observar de manera general los especímenes no generaron desprendimientos abruptos tras la formación de fisuras a diferencia del muestra testigo que se desprendió en piezas separadas, también se pudo analizar que hubo muestras de resistencia relativamente baja, esto debido a proporción de fibra (0.5%) además de su baja ductilidad y mayor susceptibilidad a la fragilización.

En el caso de las fibras con mayor proporción de fibra (2%) se pudo observar la gran cantidad de energía absorbida desde la primera grieta hasta su fracaso final no así para el caso de fibra del 0.5% la que aligero su fracaso tras su primera grieta.

4.5 Ensayo a Transferencia de calor.

El comportamiento térmico del mortero se vio afectado por el tratamiento de las fibras y la densidad del mortero, pese a que la parafina tiene un porcentaje elevado de conductividad térmica 0.21 W/mK, al momento de ingresar a la matriz actúa como un aislante térmico ya que deja abierta algunas brechas por donde ingresa el calor y se disipa hacia las fibras aumentando la pérdida de calor (Al-mohamadawi et al., 2016).

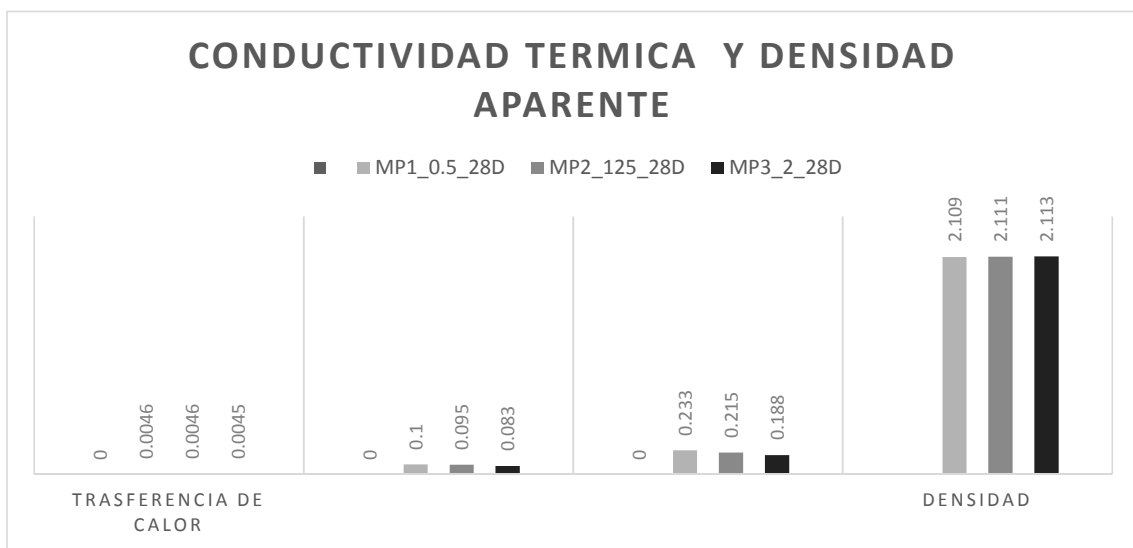


Figura 97 Comparativa densidad conductuvidad térmica.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Las probetas con mayor porcentaje de fibra 2 % fueron las que aumentan la pérdida de calor de hasta los 20W a diferencia de las probetas con menor cantidad de fibra 0.5% que presentan 17 W de pérdida de calor esto también se debe a su densidad del material ya que mantiene un rango de variación mínima. Por ende la pérdida de calor entre los diferentes porcentajes es mínimo.

4.6 Ensayo acústico.

En los resultados de la medición de ruido aéreo se puede evidenciar que las probetas con menor cantidad de fibra 0.5%, obtuvieron un índice pequeño de aislamiento acústico entre 21.2 dB a la vez se puede observar que en los casos de muestras con mayor cantidad de fibras se lleva un resultado muy similar de 24 dB, esto se debe a la incidencia de la densidad del material. Pese a la rigidez del mortero que actúa directamente en el aislamiento, las fibras actúan como un amortiguador capaces de disipar la energía sonora por ende a mayor fibra

(amortiguación) habrá mayor disipación y aumento de aislamiento acústico, además la densidad hace que el material sea más denso con mayor cantidad de más por lo que también es un factor que se considera en el aislamiento acústico (Minvu, 2006).

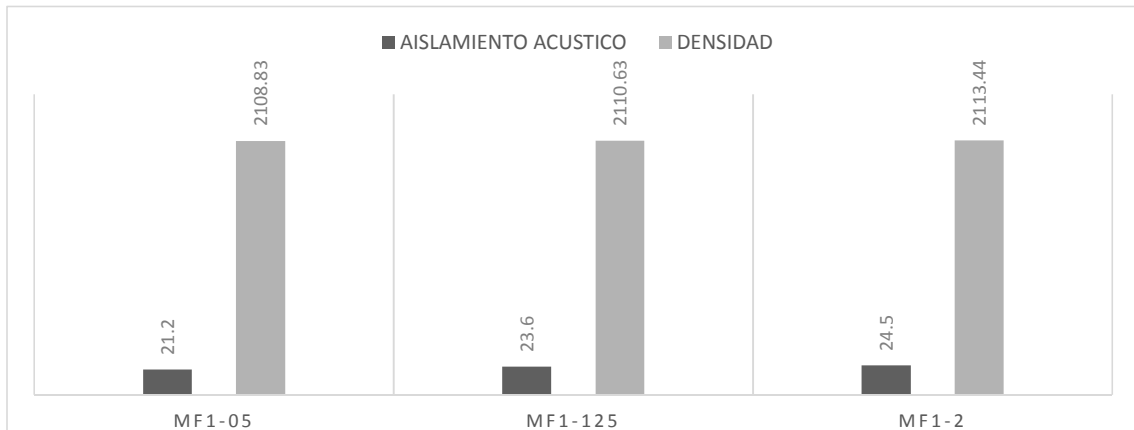


Figura 98. Comparativa Aislamiento acústico- densidad

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.7 Ensayo Fuego

Los resultados del ensayo al fuego fueron favorables, la densidad y la proporción de fibra afectan directamente al mortero de cemento, esto debido a que en la variación de temperatura ya que el mortero experimenta un cambio en su estabilidad mecánica debido a la presencia de fisuras.

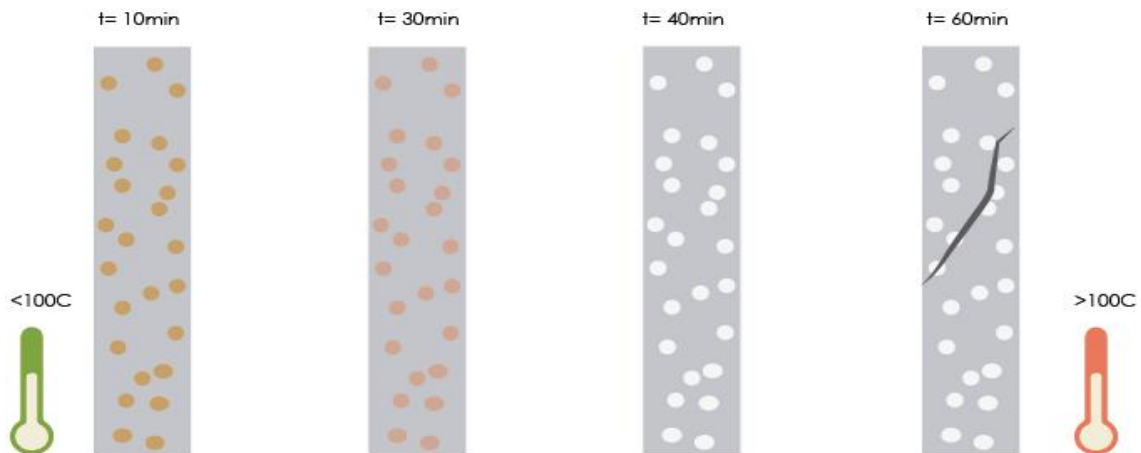


Figura. 99. Diagrama perdida de fibras en el interior de la pasta.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Las probetas con el 2% de fibra fueron las que menor tiempo registraron, esto debido a su cantidad de fibra dentro de la mezcla, ya que pasado los 40 min, las fibras desaparecen y aumentan los vacíos por donde se transporta oxígeno hacia el interior, este canal se complementa con la presencia de poros exterior- interior, esto acelera la presencia de fisuras (Varona et al., 2018).

CONCLUSIONES.

La investigación presenta un mortero de cemento con refuerzo de fibra de cabuya al cual se le adicionó un recubrimiento de parafina en las fibras, las pruebas se realizaron en diferentes porcentajes de fibra (0.5%, 1.25% y 2%) pudiéndose concluir.

- La inclusión de fibra de cabuya en el caso del comportamiento a compresión disminuyó los resultados, los elemento con menor fibra 0.5% obtuvieron mayor resistencia, en cambio el máximo porcentaje 2%, esto debido a que disminuye la trabajabilidad y la adherencia entre la matriz la fibra reduciendo el comportamiento a compresión.
- La resistencia a flexión se aumenta considerablemente, en el porcentaje de 2% de fibra, se registra un resultado inferior al de 1.25% ya que el exceso de fibra hace la aglomeración incontrolable de fibra formando vacíos más propensos a la fractura.
- En el caso de absorción de agua el tratamiento de parafina presente bajo el porcentaje de absorción, capilaridad y porosidad a razón de las proporciones de fibra en el caso de capilaridad se registró un aumento acelerado de agua hacia el interior de la muestra en un tiempo corto esto debido a los poros abiertos en la superficie.
- La relación de resistencia al impacto, incrementa conforme al contenido de fibra debido a que las fibras absorben con mayor facilidad la energía potencial incrementando su resistencia a la fisuración.
- La adición de fibra ruido aéreo la matriz de cemento actúa como un aislante acústico ya que presenta un porcentaje elevado de absorción de sonido gracias a las fibras y la densidad del mortero
- Para el caso ensayo térmico, pese al recubrimiento de parafina y la pasta de cemento, las fibras actúan de una forma positiva, absorben la mayor cantidad de calor actuando como un aislante térmico.
- La variación de temperatura superior a los 100°C hace que las fibras desaparezcan haciendo más propenso a las fisuras en elevadas temperaturas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda siempre realizar un ensayo a fluidez ya que las especificaciones de dosificaciones cambian según el tipo de fibra, ya que crea un tipo de mezcla demasiado seca o demasiado aguosa.
- En el proceso de recubrimiento de parafina a la fibra, al momento de la eliminación de grumos, se recomienda utilizar otros procedimientos ya que la variación de temperatura por un tiempo de 10 min, disminuye las propiedades físicas y químicas de la fibra.
- Se recomienda utilizar otros tipos de tratamiento a la fibra para poder realizar una comparativa entre sus resultados y verificar el óptimo tratamiento.
- En el caso del método de ensayo a impacto se recomienda utilizar equipos electrónicos, para que los ensayos sean más precisos y se pueda caracterizar de mejor manera el compuesto cementicio.

BIBLIOGRAFÍA.

- Abdullah, A., Jamaludin, S. B., Mohd Noor, M., & Hussin, K. (2011). Composite cement reinforced coconut fiber: Physical and mechanical properties and fracture behavior. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7), 1228–1240.
- Abrishambaf, A., Pimentel, M., & Nunes, S. (2017a). Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Research*, 97, 28–40. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.03.007>
- Abrishambaf, A., Pimentel, M., & Nunes, S. (2017b). Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Research*, 97, 28–40. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.03.007>
- Al-mohamadawi, A., Benhabib, K., Dheilly, R., & Goullieux, A. (2016). Influence of lignocellulosic aggregate coating with paraffin wax on flax shive and cement-shive composite properties, 102, 94–104. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.190>
- Barra, B. N., Santos, S. F., Bergo, P. V. A., Alves, C., Ghavami, K., & Savastano, H. (2015). Residual sisal fibers treated by methane cold plasma discharge for potential application in cement based material. *Industrial Crops and Products*, 77, 691–702. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.052>
- Çomak, B., Bideci, A., & Salli Bideci, Ö. (2018). Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar. *Construction and Building Materials*, 169, 794–799. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.029>
- Comino, P., Saint, J., & Vetrotex, G. (2014). El GRC Material Compuesto de Matriz Cementicia reforzado Con fibra de Vidrio AR, 1–19.
- Cómo preparar pasta de cemento. (2018). Retrieved from <https://comohacerpara.com/preparar-pasta-cemento-2362h.html>
- Dávila, J. L., Galeas, S., Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.
- Deicy. (2009). Cadena productiva del fique. Retrieved from <https://www.blogger.com/profile/13084409463396782151>
- Del, D. (n.d.). Sika® Cem Plastificante, 1–3.
- Howland, J. J., & Martín, A. R. (2013). Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos. *Materiales de Construcción*, 63(312), 515–527. <http://doi.org/10.3989/mc.2013.04812>
- Juarez, C. (2002). Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construccion en Mexico.
- Juarez Alvarado, C., Rodríguez López, P., Rivera Villarreal, R., & Rechy De Von Roth, M. D. L. Á. (2003). Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. *Ciencia Uanl*, 4, 465–476.
- Karinski, Y. S., Yankelevsky, D. Z., Zhutovsky, S., & Feldgun, V. R. (2017). Uniaxial confined compression tests of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 153, 247–260. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.010>
- Laffarga, J. O. M. (1997). Reseña histórica de los Materiales de construcción, 24, 81–91.

- Llerena, A., Tutor, E., Llu, J., Co-tutores, M., Arq, C., & Blanes, J. C. (n.d.). Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales:
- Minvu. (2006). Manual de Aplicación Reglamentación Acústica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Miravete, A., & Castejón, L. (2002). Materiales compuestos. *Temas de Disseny*, (20), 123–139.
- Navarro, C., & Barbero, E. (2014). Introducción a los materiales compuestos, 1–30. Retrieved from http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_146_164_97_1349.pdf
- Olivares Santiago, M., Galán Marín, C., & Roa Fernández, J. (2003). Los composites: características y aplicaciones en la edificación. *Informes de La Construcción*, 54(Tabla 1), 45–62.
- Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 68, 96–108. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>
- Ozerkan, N. G., Ahsan, B., Mansour, S., & Iyengar, S. R. (2013). Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(2), 131–142. <http://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.04.002>
- Parafina, D. E. L. A. C. D. E. (n.d.). Fórmula molecular :
- Pettarin, V., Nacional, U., Mar, D., Justo, A. J. B., Plata, M., & Aires, B. (2011). Caracterización de materiales por ensayos de impacto biaxial instrumentado, (1), 1–13.
- Quintero Garcia, S. L., & Gonzalez Salcedo, L. O. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecanicas del concreto. *Ingenieria Y Desarrollo*, 135–150.
- Ramakrishna, G., & Sundararajan, T. (2005). Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: A comparative study. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 547–553. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.006>
- Revuelta Crespo, D., & Gutiérrez Jiménez, J. P. (2008). Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el muestreo, extracción y rotura de probetas testigo. *II Jornadas de Investigación En Construcción. Actas de Las Jornadas. G.1. Calidad Y Seguridad: Seguridad Estructural*, (1), 1337–1349. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10261/6298>
- Sathiparan, N., Rupasinghe, M. N., & H.M. Pavithra, B. (2017). Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application. *Construction and Building Materials*, 142, 23–30. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.058>
- Tabla, S. (n.d.). Coeficiente de determinación, 1–2.
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19, 113–120.
- Tolêdo Romildo, F. R., Ghavami, K., England, G. L., & Scrivener, K. (2003). Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 185–196. [http://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00018-5](http://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00018-5)
- Varona, F. B., Baeza, F. J., Bru, D., & Ivorra, S. (2018). Influence of high temperature on the mechanical properties of hybrid fibre reinforced normal and high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 159, 73–82. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.129>

- Villegas, R. (2000). Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Ensayos de alteración de materiales petreos. *PH Boletín Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico*, 31, 78–88.
- Wang, J. Y., Chia, K. S., Liew, J. Y. R., & Zhang, M. H. (2013). Flexural performance of fiber-reinforced ultra lightweight cement composites with low fiber content. *Cement and Concrete Composites*, 43, 39–47. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.06.006>
- Wei, J., Ma, S., & Thomas, D. G. (2016). Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites. *Corrosion Science*, 106, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.01.020>
- Wei, J., & Meyer, C. (2015). Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete Research*, 73, 1–16. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.019>
- Yousefieh, N., Joshaghani, A., Hajibandeh, E., & Shekarchi, M. (2017). Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. *Construction and Building Materials*, 148, 833–845. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.093>