



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Título del proyecto:

“ESTUDIO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS
NATURALES DE CABUYA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO.”

Autor (a):

STEFANI ANDREA ESTRELLA CHARCOPA.

Director:

OSCAR CEVALLOS V.; Ph.D.

Riobamba - Ecuador

2015-2016

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“ESTUDIO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS NATURALES DE CABUYA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO”** presentado por Stefani Andrea Estrella Charcopa y dirigida por Oscar Cevallos Velásquez.; Ph. D.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

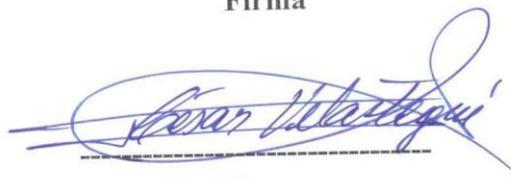
Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. César Velasteguí
Miembro del Tribunal



Firma

Oscar Cevallos; Ph.D.
Miembro del Tribunal

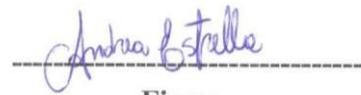


Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Stefani Andrea Estrella Charcopa y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

Stefani A. Estrella Ch.
Autor del Proyecto



Firma

C.I. 0803261460

AGRADECIMIENTO

A la primera persona a quien expreso mi más afectuoso agradecimiento es a mi tutor Oscar Cevallos, quien con su ayuda y conocimientos se hizo posible realizar este proyecto de investigación.

A las Autoridades y Docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo por las facilidades dadas para la culminación de esta etapa de crecimiento en mi formación profesional.

A mis familiares y amigos que en todo momento me brindaron su apoyo, confianza y comprensión.

DEDICATORIA

A Dios por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de fuerzas para vencer los obstáculos y permitirme vivir este grandioso momento.

A mis padres Roberto y Narcisa, quienes siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome consejos para ser de mí una mejor persona.

A mi hermana Valentina por estar siempre a mi lado animándome.

A mi hermosa familia que en todo momento me alentaron para lograr mis metas.

A todas mis amigas y amigos que de una u otra forma me han brindado su ayuda, y de manera muy especial a Jonathan ♥ por ser mi apoyo y mi fuerza incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 CONCRETO	5
1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO.....	6
1.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.....	11
1.3.1 TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS EN EL CONCRETO.....	13
1.3.2 FIBRA DE ESTOPA DE COCO	21
1.3.3 INFLUENCIA DE LA FIBRA DE COCO EN EL CONCRETO	26
1.3.4 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA.....	28
1.3.5 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA	28
1.4 MATERIALES COMPUESTOS	29
1.4.1 COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	30
1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	33
1.4.3 TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS COMO REFUERZO	36
1.4.3.1 PRESENTACIÓN DE LAS FIBRAS	37
1.4.4 FIBRA DE CABUYA	39
1.4.4.1 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LA FIBRA DE CABUYA.....	40
1.4.4.2 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA	40
1.4.5 DISEÑO DEL MATERIAL COMPUESTO.....	58
1.4.5.1 LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS	59
1.4.5.2 CANTIDAD DE FIBRAS.....	59
1.4.5.3 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS.....	60

1.4.6	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL COMPUESTO..	61
1.4.7	UTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES EN MATERIALES COMPUESTOS.....	62
1.4.8	APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.....	63
1.5	DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA	65
1.6	MÉTODOS PARA CONTRARRESTAR EL DEBILITAMIENTO DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA	66

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA	70
2.1 TIPO DE ESTUDIO	70
2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	70
2.2.1 POBLACIÓN	70
2.2.2 MUESTRA.....	71
2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	71
2.4 PROCEDIMIENTOS	73
2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	75
2.5.1 MATERIALES.....	75
2.5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRAS.....	79
2.5.2.1 PRUEBA SEM.....	79
2.5.2.2 ENSAYO DE DENSIDAD ESPECÍFICA.....	80
2.5.2.3 ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA	81
2.5.2.4 ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL.....	81
2.5.2.5 ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LAS FIBRAS	82
2.5.2.6 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FIBRAS	84
2.5.3 CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO	86
2.5.3.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	86
2.5.3.2 ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA Y MASA UNITARIA COMPACTADA	87
2.5.3.3 ENSAYO DE DENSIDAD DEL AGREGADO FINO.	88
2.5.3.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	89
2.5.3.5 DOSIFICACIÓN DEL MORTERO	91
2.5.3.6 ENSAYO DE FLUIDEZ EN MORTEROS.....	91
2.5.3.7 CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS.....	93

2.5.3.8	DENSIDAD DEL MORTERO	95
2.5.3.8.1	ESTADO FRESCO	95
2.5.3.8.2	ESTADO ENDURECIDO	96
2.5.3.9	ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO (MÉTODO VICAT). 96	
2.5.3.10	ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS	98
2.5.3.11	ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MORTEROS .	103
2.5.4	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	105
2.5.4.1	ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS	105
2.5.4.2	DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO	106
2.5.4.3	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	108
2.5.4.4	ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD	109
2.5.4.5	RESISTENCIA A FLEXIÓN	111
2.5.4.6	RESISTENCIA A TRACCIÓN	112
2.5.5	CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO	116
2.5.5.1	DOSIFICACIÓN.....	116
2.5.5.2	ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS	118
2.5.5.3	ASENTAMIENTO.....	125
2.5.5.4	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	126
2.5.5.5	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	130
2.5.5.6	TENACIDAD.....	131
2.5.5.7	ENSAYO DE MEDICIÓN DEL pH.....	132

CAPÍTULO III

RESULTADOS	134
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS	134
3.1.1 FIBRA DE CABUYA	134
3.1.1.1 PRUEBA SEM.....	134
3.1.1.2 DENSIDAD ESPECÍFICA	136
3.1.1.3 MASA POR UNIDAD DE ÁREA.....	137
3.1.1.4 DENSIDAD LINEAL	138
3.1.1.5 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	139
3.1.1.6 DETERMINACIÓN DEL ÁREA TRANSVERSAL	140
3.1.1.6.1 UTILIZANDO TEX.....	140
3.1.1.6.2 UTILIZANDO MASA POR UNIDAD DE ÁREA	141

3.1.1.7	ESPESOR EQUIVALENTE.....	142
3.1.1.8	RESISTENCIA A TRACCIÓN	143
3.1.1.8.1	ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO.....	143
3.1.1.8.2	ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO CON RESINA.....	145
3.1.1.8.3	ENSAYO DE TRACCIÓN DEL TEJIDO CON RESINA.....	147
3.1.1.9	TENACIDAD.....	149
3.1.1.9.1	HILO	149
3.1.1.9.2	HILO CON RESINA.....	150
3.1.1.11	MÓDULO YOUNG	151
3.1.1.11.1	HILO	151
3.1.1.11.2	HILO CON RESINA.....	152
3.1.1.11.3	TEJIDO CON RESINA.....	153
3.1.2	FIBRA DE COCO.....	154
3.1.2.1	PRUEBA SEM.....	154
3.1.2.2	DENSIDAD ESPECÍFICA	155
3.1.2.3	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	156
3.1.2.4	DENSIDAD LINEAL	157
3.1.2.5	ÁREA TRANSVERSAL	158
3.1.2.6	TENACIDAD.....	159
3.1.2.7	ENSAYO DE TRACCIÓN	160
3.1.2.8	MÓDULO DE YOUNG.....	162
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ CEMENTICIA	163
3.2.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO	163
3.2.2	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	165
3.2.3	MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO	166
3.2.4	MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO FINO.....	167
3.2.5	DOSIFICACIÓN DEL MORTERO	168
3.2.6	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (7 DÍAS)	169
3.2.6.1	DOSIFICACIÓN 1.....	169
3.2.6.2	DOSIFICACIÓN 2.....	170
3.2.7	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (28 DÍAS).....	171
3.2.7.1	DOSIFICACIÓN 1	171
3.2.7.2	DOSIFICACIÓN 2.....	172
3.2.8	RESISTENCIA A FLEXIÓN (28 DÍAS)	173

3.2.8.1	DOSIFICACIÓN 1.....	173
3.2.8.2	DOSIFICACIÓN 2.....	174
3.2.9	FLUIDEZ EN MORTEROS.....	175
3.2.9.1	DOSIFICACIÓN 1.....	175
3.2.9.2	DOSIFICACIÓN 2.....	176
3.2.10	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOSIFICACIÓN ÓPTIMA	177
3.2.10.1	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	178
3.2.11	RESISTENCIA A FLEXIÓN DE DOSIFICACIÓN ÓPTIMA.....	180
3.2.12	MÓDULO DE YOUNG.....	181
3.2.13	DEFLEXIÓN.....	182
3.2.14	DENSIDAD DEL MORTERO.....	184
3.2.14.1	ESTADO FRESCO.....	184
3.2.14.2	ESTADO ENDURECIDO.....	185
3.2.15	TIEMPO DE FRAGUADO.....	186
3.2.16	CONTENIDO DE AIRE.....	187
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO FRCM.....	188
	REFORZADO CON TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA.....	188
3.3.1	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	188
3.3.2	ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD.....	189
3.3.3	DENSIDAD.....	190
3.3.4	RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	191
3.3.4.1	MORTERO SIN REFUERZO.....	191
3.3.4.2	FRCM.....	193
3.3.5	MÓDULO DE YOUNG A FLEXIÓN.....	195
3.3.5.1	MORTERO SIN REFUERZO.....	195
3.3.5.2	FRCM.....	196
3.3.6	DEFLEXIÓN.....	197
3.3.6.1	MORTERO SIN REFUERZO.....	197
3.3.6.2	FRCM.....	198
3.3.7	RESISTENCIA A TRACCIÓN.....	199
3.3.7.1	MORTERO SIN REFUERZO.....	199
3.3.7.2	FRCM.....	201
3.3.8	MÓDULO DE YOUNG A TRACCIÓN.....	203
3.3.8.1	MORTERO SIN REFUERZO.....	203

3.3.8.2	FRCM.....	204
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO	205
3.4.1	DOSIFICACIÓN	205
3.4.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	208
3.4.2.1	AGREGADO FINO	208
3.4.2.2	AGREGADO GRUESO.....	210
3.4.2.3	MICRO SÍLICE	212
3.4.3	ASENTAMIENTO.....	214
3.4.4	RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	215
3.4.4.1	CONCRETO SIMPLE	215
3.4.4.1.1	7 DÍAS.....	215
3.4.4.1.2	28 DÍAS.....	216
3.4.4.1.3	35 DÍAS.....	217
3.4.4.2	CONCRETO REFORZADO CON FRCM.....	219
3.4.4.2	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	221
3.4.4.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM	223
3.4.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	225
3.4.5.1	CONCRETO SIMPLE	225
3.4.5.2	CONCRETO REFORZADO CON FRCM.....	226
3.4.5.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	227
3.4.5.4	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM	228
3.4.6	RESISTENCIA A FLEXIÓN	229
3.4.6.1	CONCRETO SIMPLE	229
3.4.6.2	CONCRETO SIMPLE REFORZADO CON FRCM.....	231
3.4.6.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	233
3.4.6.4	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM	235
3.4.7	MÓDULO DE YOUNG.....	237
3.4.7.1	CONCRETO SIMPLE	237
3.4.7.2	CONCRETO REFORZADO CON FRCM.....	238
3.4.7.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	240
3.4.7.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM.	241
3.4.8	DEFLEXIÓN.....	243
3.4.8.1	CONCRETO SIMPLE	243
3.4.8.2	CONCRETO REFORZADO CON FRCM.....	244

3.4.8.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	245
3.4.8.4	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM.	246
3.4.9	ENERGÍA DE FRACTURA O TENACIDAD.....	247
3.4.10	DUCTILIDAD	248
3.4.10.1	COMPRESIÓN	248
3.4.10.2	FLEXIÓN	249
3.4.11	pH EN ESTADO ENDURECIDO	250
3.4.11.1	CONCRETO SIMPLE	250
3.4.11.2	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.....	250
CAPÍTULO IV		
DISCUSIÓN		251
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA	251
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO	253
4.3	PROPIEDADES DEL MORTERO	254
4.4	PROPIEDADES DEL FRCM.....	254
4.5	COMPARACIÓN ENTRE EL MATERIAL COMPUESTO Y EL.....	255
	MORTERO	255
4.5.1	DENSIDAD.....	255
4.5.2	RESISTENCIA A TRACCIÓN	256
4.5.3	RESISTENCIA A FLEXIÓN	260
4.6	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL	
	REFORZAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO	261
4.6.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	262
4.6.2	RESISTENCIA A FLEXIÓN	266
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		271
5.1	CONCLUSIONES	271
5.2	RECOMENDACIONES	274
CAPÍTULO VI		
PROPUESTA		276
6.1	TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	276
6.2	INTRODUCCIÓN	276
6.3	OBJETIVOS	278
6.3.1	OBJETIVO GENERAL	278

6.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	278
6.4	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA	279
6.4.1	MATERIALES COMPUESTOS	279
6.4.2	MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ CEMENTICIA.....	280
	REFORZADO CON TEJIDOS (FRCM)	280
6.4.3	FIBRA DE CABUYA	282
6.4.4	DISEÑO DEL MATERIAL COMPUESTO.....	284
6.4.5	PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO	285
6.4.6	UTILIZACIÓN DE FIBRAS NATURALES EN MATERIALES.....	286
	COMPUESTOS.....	286
6.4.7	COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON MATERIAL COMPUESTO FRCM.....	287
6.4.8	APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MATERIALES.....	287
	COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS	287
6.4.9	CONCRETO	288
6.4.10	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	289
6.4.11	CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	291
6.4.12	FIBRA DE ESTOPA DE COCO	291
6.4.13	UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO EN LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO.....	293
6.4.14	INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA	295
6.4.15	INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA	295
6.4.16	DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA	296
6.4.17	MÉTODOS PARA CONTRARRESTAR EL DEBILITAMIENTO	297
	DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA	297
6.4.17.4	ACCIONES RELACIONADAS CON LA MATRIZ CEMENTICIA	298
6.5	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	298
6.5.1	PROPIEDADES DE LAS FIBRAS NATURALES	299
6.5.2	MATERIAL COMPUESTO DE FRCM-CABUYA	300

6.5.3	FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	302
6.5.4	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	303
6.5.5	RESISTSTENCIA A LA FLEXIÓN	305
6.5.6	ANÁLISIS DE COSTO	308
6.6	DISEÑO ORGANIZACIONAL	310
CAPÍTULO VII		
BIBLIOGRAFÍA.....		311

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la fibra de coco.....	22
Tabla 2. Ventajas y desventajas del material compuesto con matriz cementicia.	35
Tabla 3. Comparación entre fibras vegetales y fibras de vidrio.....	63
Tabla 4. Muestra de la investigación.....	71
Tabla 5. Operacionalización de la variable independiente.....	72
Tabla 6. Operacionalización de la variable dependiente.....	73
Tabla 7. Relación agua/cemento	117
Tabla 8. Densidad específica de la fibra de cabuya.	136
Tabla 9. Masa por unidad de área de la fibra de cabuya.	137
Tabla 10. Densidad lineal del hilo de cabuya.....	138
Tabla 11. Porcentaje de absorción de la fibra de cabuya.	139
Tabla 12. Área transversal del hilo y del tejido de cabuya utilizando el tex.....	140
Tabla 13. Área transversal del hilo de cabuya utilizando la masa por unidad de área	141
Tabla 14. Espesor equivalente del hilo de cabuya.	142
Tabla 15. Resistencia a tracción del hilo de cabuya.....	143
Tabla 16. Resistencia a tracción del hilo de cabuya con resina.	145
Tabla 17. Resistencia a tracción del tejido de cabuya con resina.	147
Tabla 18. Tenacidad del hilo de cabuya.....	149
Tabla 19. Tenacidad del hilo de cabuya con resina.....	150
Tabla 20. Módulo de Young del hilo de cabuya.	151
Tabla 21. Módulo de Young del hilo de cabuya con resina.....	152

Tabla 22. Módulo de Young del tejido de cabuya con resina.	153
Tabla 23. Densidad específica de la fibra de coco.	155
Tabla 24. Porcentaje de absorción de la fibra de coco.	156
Tabla 25. Densidad lineal de la fibra de coco.	157
Tabla 26. Área transversal de las fibras de coco.	158
Tabla 27. Tenacidad de las fibras de coco.	159
Tabla 28. Ensayo de tracción de las fibras de coco.	160
Tabla 29. Módulo de Young a tracción de las fibras de coco.	162
Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino.	163
Tabla 31. Porcentaje de absorción del agregado fino.	165
Tabla 32. Masa unitaria suelta del agregado fino.	166
Tabla 33. Masa unitaria compactada del agregado fino.	167
Tabla 34. Alternativas de dosificación para el mortero.	168
Tabla 35. Resistencia a compresión del mortero 7 días - Dosificación 1	169
Tabla 36. Resistencia a compresión del mortero 7 días - Dosificación 2	170
Tabla 37. Resistencia a compresión del motero 28 días - Dosificación 1.....	171
Tabla 38. Resistencia a compresión del motero 28 días - Dosificación 2.....	172
Tabla 39. Resistencia a flexión del motero 28 días - Dosificación 1	173
Tabla 40. Resistencia a flexión del motero 28 días - Dosificación 2	174
Tabla 41. Fluidez en morteros - Dosificación 1	175
Tabla 42. Fluidez en morteros - Dosificación 2	176
Tabla 43. Resistencia a compresión - Dosificación óptima.	177
Tabla 44. Módulo de Elasticidad a compresión del mortero.	178
Tabla 45. Resistencia a flexión del mortero.	180

Tabla 46. Módulo de Young a flexión del mortero.....	181
Tabla 47. Deflexión del mortero.	182
Tabla 48. Densidad del mortero en estado fresco.	184
Tabla 49. Densidad del mortero en estado endurecido.	185
Tabla 50. Tiempo de fraguado. Método Vicat.	186
Tabla 51. Contenido de aire en el mortero.	187
Tabla 52. Porcentaje de absorción del FRCM.	188
Tabla 53. Absorción del FRCM por capilaridad.	189
Tabla 54. Densidad del material compuesto.	190
Tabla 55. Módulo de rotura del mortero sin refuerzo.	191
Tabla 56. Módulo de rotura del FRCM.....	193
Tabla 57. Módulo de Young del mortero sin refuerzo.....	195
Tabla 58. Módulo de Young del FRCM.	196
Tabla 59. Deflexión del mortero sin refuerzo.	197
Tabla 60. Deflexión del FRCM.....	198
Tabla 61. Resistencia a tracción del mortero sin refuerzo.	199
Tabla 62. Resistencia a tracción del FRCM.....	201
Tabla 63. Módulo de Young del mortero sin refuerzo.....	203
Tabla 64. Módulo de Young del FRCM.	204
Tabla 65. Dosificación del concreto simple.....	207
Tabla 66. Dosificación del concreto con fibras de coco.	207
Tabla 67. Análisis granulométrico del agregado fino (polvo de piedra).....	208
Tabla 68. Análisis granulométrico del agregado grueso.	210
Tabla 69. Análisis granulométrico del micro sílice.....	212

Tabla 70. Asentamiento del concreto.....	214
Tabla 71. Ensayo de compresión del concreto simple a los 7 días.	215
Tabla 72. Ensayo de compresión del concreto simple a los 28 días.	216
Tabla 73. Ensayo de compresión del concreto simple a los 35 días.	217
Tabla 74. Ensayo de compresión del concreto reforzado con FRCM.....	219
Tabla 75. Ensayo de compresión del concreto reforzado con fibra de coco.....	221
Tabla 76. Ensayo de compresión del concreto reforzado con fibra de coco y FRCM.	223
Tabla 77. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto simple sometido a compresión.....	225
Tabla 78. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con FRCM sometido a compresión.....	226
Tabla 79. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con fibras de coco sometido a compresión.	227
Tabla 80. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM sometido a compresión.	228
Tabla 81. Ensayo de flexión del concreto simple.....	229
Tabla 82. Ensayo de flexión del concreto simple reforzado con FRCM.	231
Tabla 83. Ensayo de flexión del concreto reforzado con fibras de coco.....	233
Tabla 84. Ensayo de flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.	235
Tabla 85. Módulo de Young del concreto simple sometido a cargas en flexión.	237

Tabla 86. Módulo de Young del concreto reforzado con FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 1, 2, 3).....	238
Tabla 87. Módulo de Young del concreto reforzado con FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 4, 5).....	239
Tabla 88. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco sometido a cargas en flexión.	240
Tabla 89. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 1, 3).	241
Tabla 90. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 2, 4, 5).	242
Tabla 91. Deflexión experimental y teórica del concreto simple.....	243
Tabla 92. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con FRCM.....	244
Tabla 93. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con fibras de coco.....	245
Tabla 94. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.	246
Tabla 95. Tenacidad de los especímenes.	247
Tabla 96. Ductilidad de los especímenes sometidos a compresión.....	248
Tabla 97. Ductilidad de los especímenes sometidos a flexión.....	249
Tabla 98. pH del concreto simple.	250
Tabla 99. pH del concreto reforzado con fibras de coco.....	250
Tabla 100. Porcentaje de la resistencia a compresión de los especímenes.	262
Tabla 101. Porcentaje de la resistencia a flexión de los especímenes.....	266

Tabla 102. Propiedades del hilo de cabuya.	299
Tabla 103. Propiedades de la fibra de coco.....	300
Tabla 104. Propiedades de la matriz cementicia.	300
Tabla 105. Propiedades del tejido de cabuya impregnado con resina.....	301
Tabla 106. Propiedades del material compuesto de FRCM-cabuya.	301
Tabla 107. Resultados del ensayo a compresión del concreto simple.	303
Tabla 108. Resultados del ensayo a compresión del concreto reforzado con FRCM-cabuya.	304
Tabla 109. Resultados del ensayo a flexión del concreto simple.....	305
Tabla 110. Resultados del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM-cabuya.	305
Tabla 111. Análisis de precios unitario de FRP.....	308
Tabla 112. Análisis de precios unitario de FRCM.....	308
Tabla 113. Análisis de precios unitario del concreto convencional.....	309
Tabla 114. Análisis de precios unitario del concreto reforzado con fibras de coco.....	309

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas esfuerzo - deformación.....	9
Figura 2. Ductilidad del concreto.....	9
Figura 3. Curvas de esfuerzo – deformación para hormigón reforzado con fibras.....	12
Figura 4. Formas comerciales de la fibra de vidrio.....	14
Figura 5. Formas comerciales de la fibra de carbono.	15
Figura 6. Formas de fibras de acero.....	17
Figura 7. Fibra orgánica kevlar-49.....	18
Figura 8. Formas comerciales de las fibras naturales.	21
Figura 9. Corte longitudinal del coco y sus partes.....	22
Figura 10. Fibra de estopa de coco.	22
Figura 11. Corte de la cáscara del coco.	24
Figura 12. Fibra de coco seca.....	25
Figura 13. Máquina desfibradora para cascaras de coco.	25
Figura 14. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras.....	28
Figura 15. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.....	29
Figura 16. Material compuesto sometido a cargas mecánicas.....	31
Figura 17. Morfologías de compuestos reforzados con fibras.....	35
Figura 18. Materiales compuestos estructurales.	36
Figura 19. Diversas formas de presentación de los hilos.....	37
Figura 20. Tipos de tejidos.....	38
Figura 21. Planta y fibra de cabuya.	39

Figura 22. Flujograma de procesos	41
Figura 23. Corte de las hojas de cabuya	42
Figura 24. Máquina desfibadora.	45
Figura 25. Desfibrado de la cabuya en campo	46
Figura 26. Lavado de la fibra de cabuya	47
Figura 27. Estrado en triángulo o caballete.	48
Figura 28. Ejemplo del secado natural con estrado en triángulo	49
Figura 29. Estrado plano o barbacoa.....	49
Figura 30. Clasificación de la fibra	51
Figura 31. Empacado de la fibra de cabuya.	51
Figura 32. Flujograma del proceso de hilatura artesanal	52
Figura 33. Escarminado de la fibra de cabuya	53
Figura 34. Hilado de la cabuya	54
Figura 35. Elaboración del tejido de cabuya.....	55
Figura 36. Partes principales del telar	57
Figura 37. Estructura básica del tejido de cabuya.....	58
Figura 38. Curva longitud de fibras - Resistencia de la tensión	59
Figura 39. Orientación de las fibras	61
Figura 40. Tela de cabuya bidireccional.	76
Figura 41. Resina poliéster transparente y catalizador.	76
Figura 42. Tejido de cabuya recubierto con resina.	77
Figura 43. Hilos de cabuya recubiertos con resina.	77
Figura 44. Fibra de coco en forma de monofilamentos.	78
Figura 45. Aditivo Plastocrete 161 HE.	78
Figura 46. Sika Fume.	79

Figura 47. Ensayo de densidad específica.	80
Figura 48. Ensayo de masa por unidad de área.	81
Figura 49. Ensayo de densidad lineal.	82
Figura 50. Ensayo de absorción de las fibras - Peso seco.	83
Figura 51. Ensayo de absorción de las fibras - Peso SSS.	84
Figura 52. Ensayo de tracción de las fibras, preparación de muestras: (a) y (b) cabuya, (c) coco.	85
Figura 53. Equipo para el ensayo de tracción.	86
Figura 54. Ensayo de granulometría de agregado fino.	87
Figura 55. Ensayo de: (a) MUS, (b) MUC.	88
Figura 56. Ensayo de densidad del agregado fino.	89
Figura 57. Ensayo de absorción del agregado fino.	90
Figura 58. Equipo para el ensayo de fluidez en morteros.	92
Figura 59. Ensayo de fluidez en morteros.	92
Figura 60. Diagrama esquemático del medidor tipo B.	93
Figura 61. Ensayo de contenido de aire en mortero.	95
Figura 62. Esquema del aparato de vicat.	96
Figura 63. Ensayo de tiempo de fraguado.	98
Figura 64. Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo	99
Figura 65. Elaboración de muestras para el ensayo a compresión en morteros... ..	99
Figura 66. Elaboración de muestras para el ensayo a compresión en morteros.	100
Figura 67. Partes de un deformímetro análogo.	101
Figura 68. Lectura de un deformímetro análogo.	102
Figura 69. Ensayo de deformación a compresión en morteros.	102
Figura 70. Orden de apisonamiento en el molde de los especímenes.	103

Figura 71. Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.	103
Figura 72. Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.	104
Figura 73. Elaboración del FRCM.	105
Figura 74. Densidad del FRCM - Peso seco.	106
Figura 75. Densidad del FRCM – Principio de Arquímedes (a) peso inicial, (b) peso final	107
Figura 76. Ensayo del porcentaje de absorción del FRCM. (a) Peso SSS, (b) Peso seco.....	108
Figura 77. Configuración de la muestra durante el ensayo.....	109
Figura 78. Ensayo de absorción por capilaridad del FRCM.	110
Figura 79. Ensayo de flexión del mortero.....	111
Figura 80. Muestra para el ensayo de tracción.....	112
Figura 81. Placas de acero usadas en el ensayo de tracción.	113
Figura 82. Agarre tipo horquilla.	114
Figura 83. Horquilla perno roscado.	114
Figura 84. Configuración del ensayo de tracción.	115
Figura 85. Fibras de estopa de coco con longitud de 5 cm.	119
Figura 86. Moldes utilizados para elaborar las probetas.....	119
Figura 87. Tratamiento con cal para las fibras de coco.	120
Figura 88. Elaboración del concreto simple y el concreto reforzado con fibras de coco.	121
Figura 89. Llenado de moldes.....	122
Figura 90. Muestras de cilindros y vigas.	123
Figura 91. Muestras reforzadas con FRCM - cilindros.....	124
Figura 92. Muestras reforzadas con FRCM - vigas.	125
Figura 93. Ensayo de asentamiento del concreto.	126

Figura 94. Equipo utilizado para el cabeceo de cilindros.	127
Figura 95. Cabeceo con mortero de azufre en cilindros.	128
Figura 96. Ensayo de compresión.	129
Figura 97. Ensayo de flexión en vigas.	131
Figura 99. Ensayo de medición del pH del concreto.	132
Figura 100. Prueba SEM (a) fibra de cabuya (b) hilo de cabuya.	135
Figura 101. Resultados del ensayo de tracción del hilo de cabuya.	144
Figura 102. Resultados del ensayo de tracción del hilo de cabuya con resina. .	146
Figura 103. Resultados del ensayo de tracción del tejido de cabuya con resina.	148
Figura 104. Prueba sem de la fibra de coco.	154
Figura 105. Resultados del ensayo de tracción de las fibras de coco.	161
Figura 106. Análisis granulométrico del agregado fino.	164
Figura 107. Curvas carga vs deformación del ensayo a compresión del mortero.	179
Figura 108. Curvas carga vs deflexión del mortero.	183
Figura 109. Curva tiempo de fraguado vs penetración.	187
Figura 110. Curvas carga vs deflexión del mortero sin refuerzo.	192
Figura 111. Curvas carga vs deflexión del FRCM.	194
Figura 112. Curvas carga vs deformación del mortero sin refuerzo sometido a cargas de tracción.	200
Figura 113. Curvas carga vs deformación del FRCM sometido a cargas de tracción.	202
Figura 114. Análisis granulométrico del agregado fino (polvo de piedra).	209
Figura 115. Análisis granulométrico del agregado grueso	211
Figura 116. Análisis granulométrico del micro sílice.	213
Figura 117. Asentamiento del concreto.	214

Figura 118. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto simple.	218
Figura 119. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con FRCM.	220
Figura 120. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con fibras de coco.	222
Figura 121. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.	224
Figura 122. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto simple.	230
Figura 123. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con FRCM.	232
Figura 124. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco.	234
Figura 125. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.	236
Figura 126. Tipo de rotura en los hilos de cabuya: (a) hilo (b) hilo con resina.	252
Figura 127. Curvas Esfuerzo vs Deformación unitaria: (a) hilo (b) hilo con resina.	252
Figura 128. Tipo de falla del tejido recubierto con resina.	253
Figura 129. Curva masa de agua absorbida vs tiempo del FRCM.	255
Figura 130. Densidad del motero y del FRCM.	255
Figura 131. Comparación de la resistencia a tracción entre el mortero y FRCM.	256
Figura 132. Falla del mortero sometido a tracción.	257
Figura 133. Falla del FRCM sometido a tracción.	257
Figura 134. Adherencia de del tejido en la matriz cementicia.	258

Figura 135. Curvas esfuerzo vs deformación (a) mortero (b) FRCM.....	260
Figura 136. Etapas del comportamiento a tracción del FRCM.....	260
Figura 137. Resistencia a flexión del mortero y del FRCM.	261
Figura 138. Comportamiento a flexión del (a) mortero y (b) FRCM.	261
Figura 139. Resultado de la resistencia a compresión de los especímenes.....	262
Figura 140. Falla a compresión de los especímenes de PC, PC-FRCM, CFRC, CFRC-FRCM.	263
Figura 141. Deformación unitaria de los diferentes especímenes.	264
Figura 142. Comportamiento de los especímenes sometidos a cargas de compresión.	265
Figura 143. Módulo de elasticidad de los diferentes especímenes.	265
Figura 144. Resultado de la resistencia a flexión de los especímenes.....	266
Figura 145. Falla a flexión de las vigas.	267
Figura 146. Falla a flexión del FRCM.	268
Figura 147. Falla debonding.	268
Figura 148. Deformación unitaria de los especímenes sometidos a flexión.....	269
Figura 149. Comportamiento de los especímenes bajo cargas a flexión.	270
Figura 150. Componentes de un material compuesto reforzado con fibras.....	280
Figura 151. Morfología de las fibras.....	281
Figura 152. Presentación de los tejidos de fibras de cabuya.....	284
Figura 153. Reforzamiento de los cilindros de concreto simple.....	303
Figura 154. Reforzamiento de las vigas de concreto con fibra de coco.....	303
Figura 155. Comportamiento a compresión del concreto con y sin refuerzo. ...	304
Figura 156. Comparación del resultado de la deformación unitaria a compresión.	305

Figura 157. Comportamiento a flexión de las vigas de concreto con y sin refuerzo.....	306
Figura 158. Comportamiento a flexión del concreto simple.....	307
Figura 159. Comportamiento a flexión del concreto con fibras de coco reforzado.	307
Figura 160. Diseño organizacional.	310

RESUMEN

El propósito de este estudio es contribuir con información acerca de la adición de fibras de coco a una dosificación y la aplicación de un material compuesto FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composite) reforzado con tejidos de fibras naturales de cabuya como sistema de refuerzo para elementos de concreto. La caracterización física y mecánica de los materiales considerados en esta tesis fue realizada en fibras de coco, hilos y tejidos de fibra de cabuya, y muestras de mortero de cemento y concreto. El concreto se preparó usando cemento portland puzolánico proporcionado por la empresa "Cemento Chimborazo" y agregados de la mina "Cerro Negro", que se encuentran en la provincia de Chimborazo, mientras que las muestras de materiales compuestos se prepararon usando una matriz de mortero de cemento portland reforzado con tejidos de cabuya. Adicionalmente, propiedades físicas y mecánicas de las muestras de material compuesto tales como: absorción de agua, absorción por capilaridad, densidad, resistencia a tracción, resistencia a flexión, entre otras, fueron también evaluadas. Las pruebas de tracción y flexión también fueron usadas para estudiar el comportamiento mecánico de la matriz de mortero. Por otra parte, se incorporó 3% de fibra de estopa de coco (volumen en peso) en muestras de concreto, fibras que tenían una longitud de 5 cm, con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del concreto a flexión y/o compresión. Finalmente, se presentan los resultados de ensayos realizados en muestras de cilindros y vigas de concreto simple, concreto reforzadas con fibras de coco, concreto reforzadas con material compuesto, y concreto reforzadas con fibra de coco y material compuesto en términos de sus propiedades mecánicas a compresión y flexión. Los resultados encontrados en esta tesis revelan que las muestras de concreto reforzadas con materiales compuestos FRCM lograron una mejora en la resistencia a la compresión del 6% y las muestras de concreto reforzadas con fibras de coco y compuestos FRCM demostraron una mejora del 93% en su resistencia a la flexión, en comparación con hormigón simple muestras.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE IDIOMAS INSTITUCIONAL

Lic. Eduardo Heredia

19 de agosto del 2016

ABSTRACT

The purpose of this study is to contribute with information about the addition of coir fibers at a concrete mix and the application of a FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix) composite reinforced with fabrics of natural fibers of cabuya (sisal) as a strengthening system for concrete elements. The physical and mechanical characterization of the materials considered in this thesis was performed in coir fibers, yarns and fabrics of cabuya fibers, and samples of cement mortar and concrete. The concrete was prepared by using pozzolanic portland cement provided by the company "Cemento Chimborazo" and aggregates of the mine "Cerro Negro", located in the province of Chimborazo, whereas samples of composite materials were prepared using a cement portland matrix reinforced with fabrics of cabuya. Furthermore, physical and mechanical properties of the samples of composite material such as, water absorption, absorption by capillarity, density, tensile strength, flexural strength, among others, were evaluated. The tensile and flexural tests were also employed to study the mechanical behavior of the mortar matrix. On the other hand, 3% of straw of coir fibers (volume in weight) was added in concrete samples, fibers that had a length of 5 cm, in order to improve the flexural and/or compressive properties of the concrete. Finally, the results of tests conducted on samples of cylinders and beams of plain concrete, concrete reinforced by coir fibers, concrete reinforced with composite materials, and concrete reinforced with coir fibers and composite materials in terms of their mechanical properties in compression and bending are presented. The results found in this thesis reveal that the samples of concrete reinforced with FRCM composites achieved an improvement in the compressive strength of 6% and concrete samples reinforced with coir fibers and FRCM composites exhibited an improvement of 93% in their flexural strength, in comparison with samples of plain concrete.



INTRODUCCIÓN

Las fibras de plástico y las fibras sintéticas predominan en el mercado de la construcción, pero se puede observar que en la actualidad las fibras naturales están recuperando su espacio perdido, esto se debe a que son productos con diversas ventajas en sostenibilidad y protección del ambiente debido a sus características biodegradables. La sociedad está creando concientización acerca del deterioro del ambiente, lo que origina que uno de los requisitos para los constructores sea la producción amigable con el ambiente.

En el presente trabajo de titulación acerca de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya y el reforzamiento del concreto con fibras de coco, se considera de suma importancia, ya que además de optimizar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado, se contribuirá con la disminución de generación de residuos, transformación de entorno y uso considerable de energía.

Existen diversas características del concreto reforzado con fibras de coco y del material compuesto reforzado con fibras de cabuya obtenido, entre éstas se encuentra la facilidad de elaboración, pues existe disponibilidad de las fibras en el mercado nacional y no necesitan de un proceso adicional para incorporarlas como refuerzo. Otra característica es la gran variedad de comercialización, puesto que se pueden encontrar tejidos e hilos de cabuya y fibras de coco de diferentes tamaños.

Gracias a la consistencia y uniformidad que presentan los tejidos de cabuya estas pueden ser orientadas en diferentes formas, lo que nos ayuda a conseguir una mayor resistencia mecánica en diferentes direcciones.

Por todo lo expuesto, la hipótesis planteada para la investigación es: la adición de fibras de coco a la dosificación y la aplicación de un material compuesto "FRCM" sostenible mejorará las propiedades mecánicas del concreto.

La presente investigación posee seis capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

En el **capítulo 1** (*fundamentación teórica*), se realiza una revisión de la literatura relacionada con los aspectos generales de los materiales compuestos y el concreto. Las características y propiedades mecánicas de las fibras de cabuya y coco, aplicaciones en la construcción de los materiales compuestos reforzados con fibras, durabilidad de las fibras naturales en una matriz cementicia y por último los métodos para contrarrestar el debilitamiento de las fibras naturales.

En el **capítulo 2** (*metodología*), se detalla los ensayos preliminares que se realizaron para la fibra de cabuya (hilo y tejido) y la fibra de coco. Seguidamente, se presenta el procedimiento experimental y la caracterización mecánica del material compuesto y del concreto reforzado con fibras de coco. Finalmente, se realiza la obtención y evaluación del modelo que se utilizará como reforzamiento en los elementos estructurales de concreto.

En el **capítulo 3** (*resultados*), se tabulan los valores obtenidos de los ensayos realizados, para posteriormente determinar la mejor configuración del material de refuerzo. Seguidamente se detallan los resultados de los ensayos a flexión y compresión de las muestras de cilindros y vigas con y sin reforzamiento.

En el **capítulo 4** (*discusión*), se analiza y se discuten los resultados para realizar la correcta caracterización de la fibras de coco y cabuya, del mortero, del material compuesto reforzado y de las muestras de cilindro y vigas de concreto simple, concreto reforzado con fibras de coco, concreto reforzado con material compuesto, y concreto reforzado con fibra de coco y material compuesto.

En el **capítulo 5** (*conclusiones y recomendaciones*), se expone las conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo de investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados en base a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas durante el proceso experimental y los resultados analizados, también se presenta las recomendaciones que se deben tener en cuenta durante la utilización del material de reforzamiento.

En el **capítulo 6** (*propuesta*), se propone el uso de un material compuesto reforzado con tejido de fibras de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de los elementos de concreto reforzado.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 ANTECEDENTES

El concreto es uno de los materiales de construcción artificiales más antiguos que se conocen. Los romanos empleaban un concreto a base de cal y puzolanas para realizar sus construcciones, muchos de cuyos restos han llegado hasta nuestros días permaneciendo expuestas al ataque de los agentes ambientales. (Pujadas, 2009)

La construcción en el Ecuador, tiene en el concreto, a uno de sus materiales más importantes para las consideraciones del diseño y costo de las obras que se ejecutan. Es indiscutible que esta industria requiere de un concreto de calidad para la ejecución de sus obras, lo cual hace necesario la calidad de agregados, que cumplan las especificaciones señaladas en normas nacionales e internacionales.

Instituciones importantes alrededor del mundo han publicado numerosas normas y métodos para experimentación de concretos reforzados con distintos tipos de fibras. La mayoría de estas instituciones tales como la ACI, ASTM, de origen Americano, desarrollan programas de investigación de manera constante en sus respectivos países, para los cuales se emplean, en todos los casos, materia prima propia de sus regiones. Lo cual hace que aquellas normas internacionales para el diseño de concretos (sean o no reforzados), no se apliquen para materiales propios de nuestra región, en particular nuestro país.

Debido a que nuestro país esta surcado de norte a sur por una sección volcánica de la cordillera de los Andes, se tiene una infinidad de materiales de tipo pétreo básico para la fabricación de concretos reforzados.

Luego, las características físico-mecánicas de los concretos que se fabriquen varían en función de la procedencia del material pétreo extraído, incluso si éstos son o no reforzados.

De todo lo expuesto, se halló importante realizar, una investigación que aporte información relacionada con la utilización de fibras como refuerzo en concretos con un agregado propio de nuestra región, debido a la poca o nula información que en la actualidad existe en nuestro país acerca de este material compuesto.

1.2 CONCRETO

Se puede definir al concreto como una piedra artificial formada al mezclar cuatro materiales principales como son: grava, arena, cemento y agua. Las propiedades del concreto dependen en su gran mayoría de las proporciones y calidad de los materiales en la mezcla y de las condiciones de humedad y temperatura, durante el trabajo de fabricación y fraguado. (Romo, 2000).

Para mejorar las propiedades del concreto se puede añadir aditivos o se puede reemplazar sus componentes principales por componentes con diferentes características como cementos para el fraguado lento, agregados más livianos, agregados pesados, etc. (Romo, 2000).

El hormigón ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco (Romo, 2000).

La principal característica estructural del hormigón es su gran resistencia a los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos como: tracción, flexión, cortante, etc.; por este motivo es habitual combinarlo con acero, recibiendo el nombre de hormigón armado; comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas solicitaciones (Barros & Ramírez, 2012).

1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

1.2.1.1 Propiedades del concreto fresco

El concreto fresco es un material heterogéneo, en él existen tres fases: la sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables (Hidalgo, 2011).

Entre las principales propiedades del concreto fresco tenemos: la consistencia, la docilidad, la homogeneidad.

- **Consistencia**

Habilidad que tiene el concreto fresco para deformarse. La consistencia varía por diversos factores: cantidad de agua, tamaño máximo, forma de los áridos, etc.; el que más influye es la cantidad de agua de amasado. (Hidalgo, 2011)

Existen diversos ensayos para determinar la consistencia, siendo el más empleado el cono de Abrams.

- **Trabajabilidad**

Capacidad de un concreto para ser manipulado, amasado o puesto en obra con medios de compactación con el que se dispone. Está relacionada con su consistencia, homogeneidad, y la habilidad que el concreto presente para eliminar el aire ocluido (Hidalgo, 2011).

La trabajabilidad depende, entre otros factores, de los siguientes (Hidalgo, 2011):

- a) De la cantidad de agua de amasado. Cuanto mayor sea ésta, mayor será la docilidad.
- b) De la granulometría de los áridos, siendo más dóciles los concretos cuyo contenido en arena es mayor.
- c) La trabajabilidad es mayor con áridos redondeados que con áridos procedentes de triturado.

- d) La trabajabilidad aumenta con el contenido en cemento y con la finura de éste.
- e) El empleo de un plastificante aumenta la docilidad del concreto.

- **Homogeneidad**

Cualidad en la cual los diferentes componentes del concreto aparecen distribuidos en toda la masa. La homogeneidad se obtiene con un buen amasado y, para mantenerse, se necesita de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada. La homogeneidad puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra) o por decantación (los granos gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie, cuando la mezcla es muy líquida). Ambos fenómenos aumentan con el contenido de agua, con el tamaño máximo del árido, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre (Hidalgo, 2011).

- **Masa Específica o Densidad**

Cantidad de peso por unidad de volumen (densidad = peso/volumen). Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra. Debemos recordar que mientras mayor sea la densidad de los agregados utilizados y mejor compactada esté la mezcla, será mayor la densidad del hormigón (Construmática, 2008).

1.2.1.2 Propiedades del concreto endurecido

Entre las propiedades más importantes de concreto endurecido tenemos las siguientes:

- **Resistencia a la Compresión**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área,

y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa (Osorio, 2013).

La resistencia a la compresión de concretos normales y de mediana resistencia está dominada por la relación agua/cemento (a menor relación agua/cemento mayor resistencia) y por el nivel de compactación (a mayor compactación mayor resistencia), pero también son factores importantes la cantidad de cemento (a mayor cantidad de cemento mayor resistencia) y la granulometría de los agregados (mejores granulometrías dan lugar a mayores resistencias) (Romo, 2000).

- **Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación}$ es una medida de la rigidez, es decir la resistencia del hormigón a la deformación (Romo, 2000).

Cuando se dibujan las curvas Esfuerzo-Deformación de las muestras cilíndricas de hormigón, sometidas a compresión, se obtienen diferentes tipos de gráficos que dependen fundamentalmente de la resistencia a la rotura del material como se muestra en la figura 1. Los concretos de menor resistencia suelen mostrar una mayor capacidad de deformación que los concretos más resistentes (Romo, 2000).

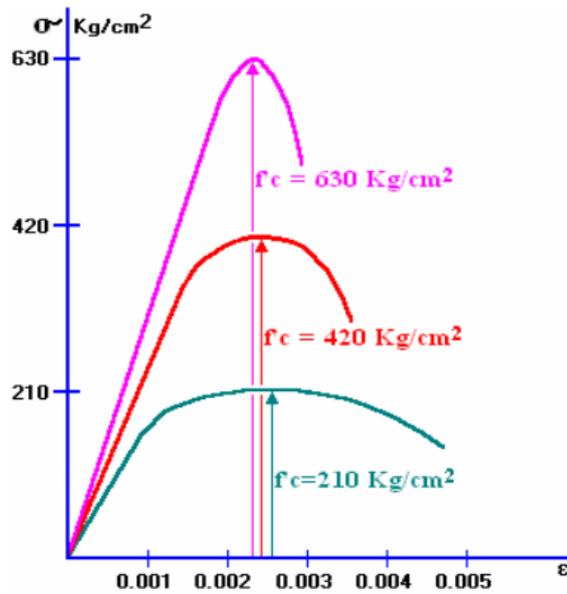


Figura 1. Curvas esfuerzo - deformación

Fuente: (Romo, 2000)

- **Ductilidad**

Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga, una medida cuantitativa de esa ductilidad sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico, ver figura 2 (Romo, 2000).

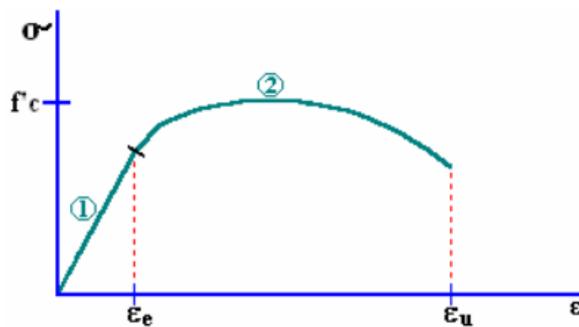


Figura 2. Ductilidad del concreto

Fuente: (Romo, 2000)



$$\mu_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_e}$$

Donde:

μ_{ε} : Índice de ductilidad por deformación

ε_u : Deformación unitaria de rotura

ε_e : Deformación unitaria elástica máxima

- **Resistencia a la Tracción**

El concreto es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción, esta resistencia representa hasta un 10% de su capacidad a la compresión. Es por ello que en el concreto armado los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero de refuerzo (Romo, 2000).

Las investigaciones sugieren utilizar expresiones como la siguiente para determinar un valor aproximado del esfuerzo máximo de tracción f_t que puede soportar el hormigón (Romo, 2000):

$$f_t = 1.5 \sqrt{f_c}$$

Donde:

f_t : Resistencia a la tracción del hormigón

f_c : Resistencia a la compresión del hormigón

- **Resistencia al Corte**

Debido a que las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales, la resistencia al corte del concreto V_c tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción (Romo, 2000).

Los resultados de laboratorio sugieren expresiones como la siguiente, para describir la resistencia al corte (Romo, 2000):

$$V_c = \sqrt{f_c}$$

Donde:

V_c : Resistencia al corte del concreto

f_c : Resistencia a la compresión del concreto

- **Flujo Plástico**

Cuando se somete al hormigón a cargas de larga duración, el material tiene una deformación instantánea en el momento inicial de la carga y una deformación adicional a largo plazo como producto del flujo plástico del hormigón (Romo, 2000).

El fenómeno del flujo plástico se produce por la migración de las partículas de agua que no alcanzan a combinarse con el cemento, y que debido a las altas presiones se mueven por las microporosidades del hormigón (Romo, 2000).

1.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

El concreto reforzado con fibras (FRC) está formado por una matriz formada por cemento, agregados (fino y grueso), agua y fibras adecuadas, además se puede incorporar aditivos (Barros & Ramírez, 2012).

La matriz de concreto mantiene al material unido dando resistencia a compresión y rigidez, distribuyendo los esfuerzos y protegiendo las fibras. Las fibras, por su parte, soportan los esfuerzos de tracción que resisten por adherencia al hormigón, controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma, a la vez que mejoran la tenacidad. (Barros & Ramírez, 2012).

Las fibras, al añadirse al concreto, se dispersan perfectamente en todo el volumen de éste. Esto confiere a dicha matriz un armado en tres dimensiones en el que las fibras cosen las fisuras del concreto formando un puente entre los agregados gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y que llevan al concreto a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial (Barros & Ramírez, 2012).

La adición de estas fibras no condiciona la naturaleza de los componentes del concreto por lo que éstos deben ser los adecuados para que el concreto alcance y mantenga las características requeridas (Barros & Ramírez, 2012).

La tenacidad se define como el área bajo la curva Esfuerzo – Deformación. En la figura 3 se puede ver que al agregar fibras al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz (IMCYC, 2007).

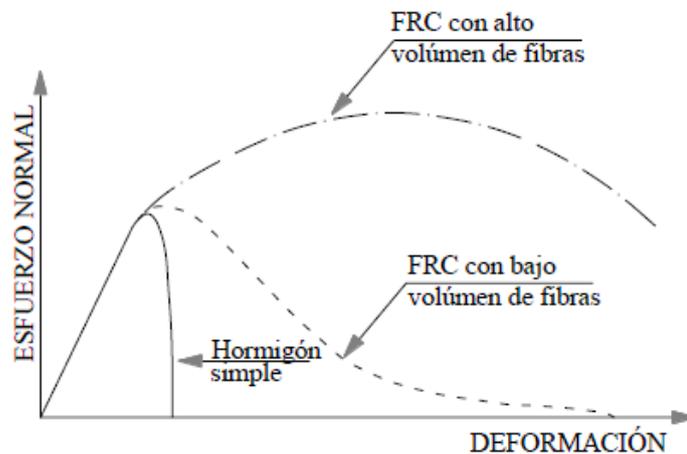


Figura 3. Curvas de esfuerzo – deformación para hormigón reforzado con fibras.

Fuente: (IMCYC, 2007)

1.3.1 TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS EN EL CONCRETO

Las fibras utilizadas para reforzar el concreto son discontinuas, presentan una distribución discreta y uniforme que da al material una gran isotropía y homogeneidad (Barros & Ramírez, 2012).

La acción reforzante y la eficacia en la transmisión de tensiones de las fibras utilizadas en el concreto depende de muchos factores pero, especialmente, de la naturaleza y del tipo de fibra (Barros & Ramírez, 2012).

Las propiedades características de las fibras apropiadas para concretos son (Barros & Ramírez, 2012):

- Propiedades geométricas: longitud, sección transversal, relación de aspecto, forma.
- Propiedades físico-químico: rugosidad de la superficie, densidad, estabilidad química, resistencia al fuego.
- Propiedades mecánicas: rigidez, resistencia, ductilidad, elongación a la rotura.

FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es un material que está formado por numerosos y extremadamente finas fibras de vidrio. Se utiliza comúnmente como material aislante. También se utiliza como agente de refuerzo para muchos productos.

La fibra de vidrio tiene propiedades comparables a los de otras fibras como las fibras de polímeros y de carbono. Aunque no es tan fuerte o tan rígida como la fibra de carbono, es mucho más barata y mucho menos frágil (Mariano, 2011).

En el mercado existe una amplia gama de formas de fibras de vidrio que se pueden emplear para el reforzamiento de concretos (ver figura 4).



Figura 4. Formas comerciales de la fibra de vidrio.

Fuente: (Mariano, 2011)

Ventajas del uso de las fibras de vidrio (Cevallos, 2015):

- Buena resistencia y durabilidad
- Menor costos de herramientas
- Mayor flexibilidad de diseño
- Mantenimiento mínimo
- Resistente a la corrosión

Desventajas del uso de las fibras de vidrio (Cevallos, 2015):

- Las propiedades mecánicas no son tan buenas como las fibras de refuerzo de acero o de otro tipo.

FIBRA DE CARBONO

La fibra de carbono se incluye en el grupo de los materiales compuestos, es decir, aquellos que están hechos a partir de la unión de dos o más componentes, que dan lugar a uno nuevo con propiedades y cualidades superiores, que no son alcanzables por cada uno de los componentes de manera independiente (Llano, 2009).

Desde mediados de los años 80 se ha implementado la técnica de reforzamiento en base de textiles y fibra de carbono la cual; como es un material de muy poco peso, es utilizado como base de reforzamiento para aumentar la resistencia estructural de la construcción (FortaInG, 2015).

En la figura 5 se puede observar algunos tipos de fibras de carbono disponibles comercialmente.

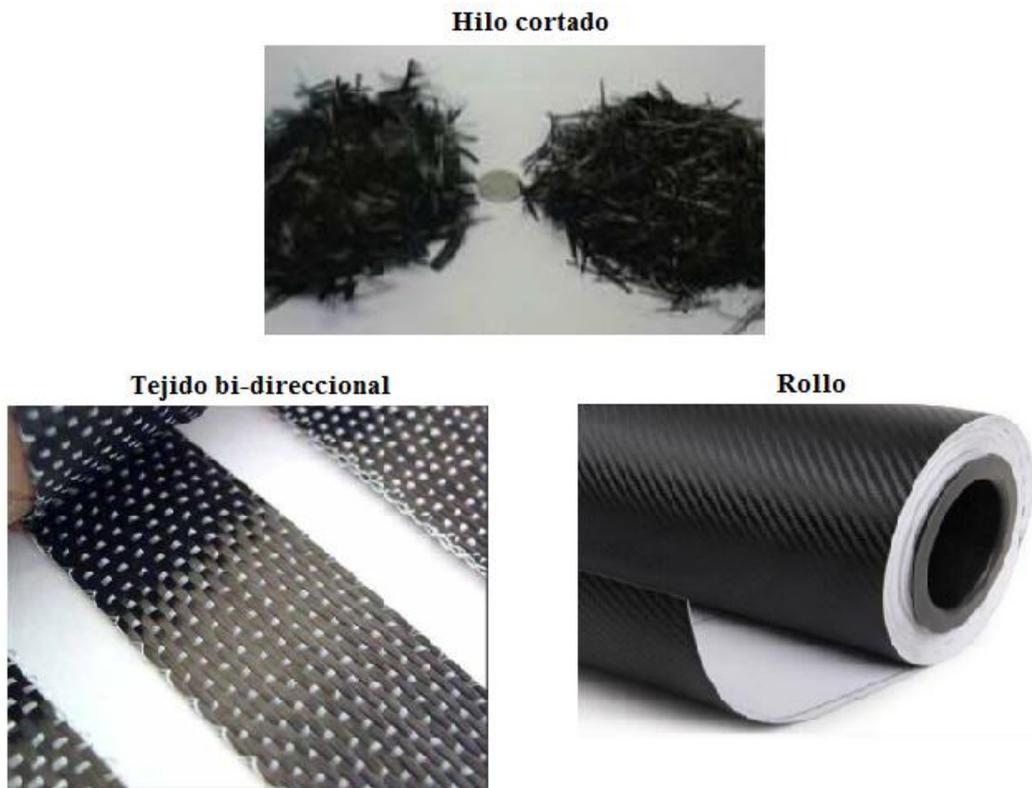


Figura 5. Formas comerciales de la fibra de carbono.

Fuente: (Express, 2013)

Dentro de las ventajas que ofrece este tipo de material están (Cevallos, 2015):

- Resistencia a las variaciones de temperatura
- Material muy ligero
- Ahorro de tiempo en su aplicación.

Desventajas del uso de las fibras de carbono (Cevallos, 2015):

- Significativamente más caros que las fibras de vidrio
- Comportamiento frágil

FIBRA DE ACERO

Las fibras de acero son elementos de corta longitud y pequeña sección que se adicionan al hormigón con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas, con las características necesarias para dispersarse aleatoriamente en una mezcla de hormigón en estado fresco, empleando metodologías de mezclado tradicionales (Barros & Ramírez, 2012).

La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada. (Ver figura 6).

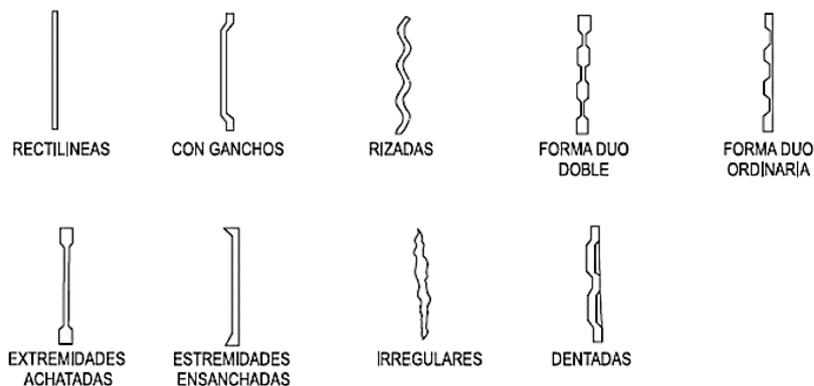


Figura 6. Formas de fibras de acero.

Fuente: (Irias, 2013)

Ventajas del uso de las fibras de acero (Irias, 2013):

- Mejora la resistencia a la erosión
- Mejora la resistencia al hielo y deshielo
- Incremento de la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración
- Permite ahorros de material

Desventajas del uso de las fibras de acero (Irias, 2013):

- Probable aparición de las fibras en la superficie
- Oxidación de la fibra de acero
- Formación de erizos
- Pérdida de docilidad

FIBRA ORGÁNICA

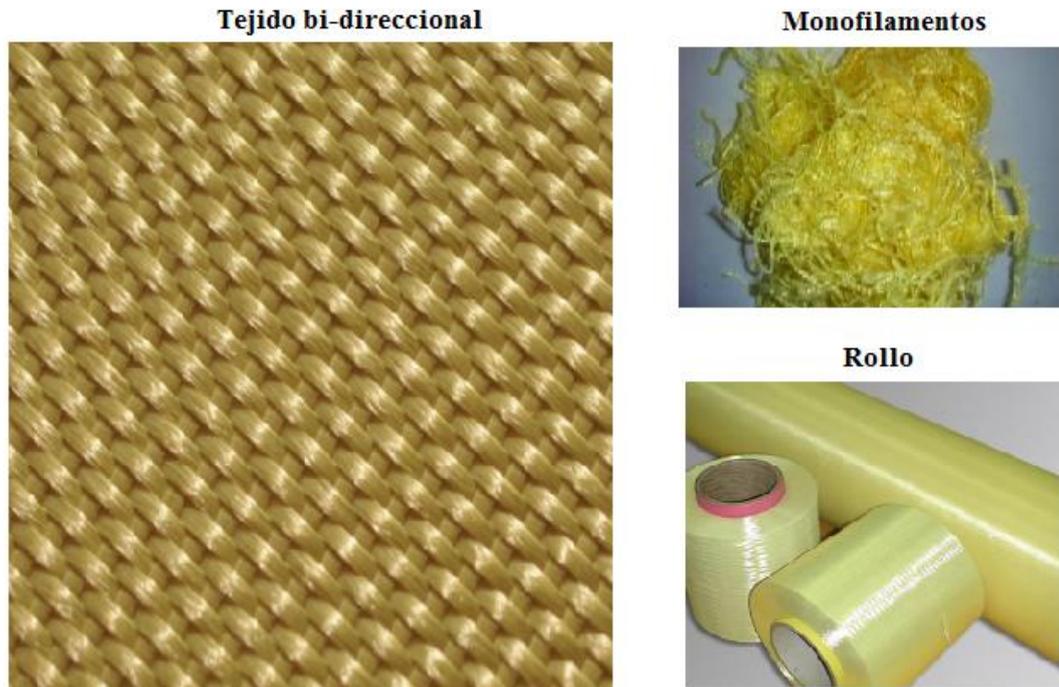


Figura 7. Fibra orgánica kevlar-49

Fuente: (Avilés, 2013)

Una característica importante de las fibras orgánicas es que son extremadamente difíciles de cortar debido a la estructura fibrilar. La fibra conocida como kevlar-49 fue uno de los más importantes sucesos de fibras orgánicas en las últimas tres décadas (ver figura 7). El kevlar 49 se emplea cuando las fibras se van a embeber en una resina para formar un material compuesto. Las fibras de kevlar 49 están tratadas superficialmente para favorecer la unión con la resina (Cevallos, 2015).

Las fibras orgánicas para aplicaciones estructurales se introdujeron para aplicaciones comerciales en 1971. Las fibras de grafito son algunos de los materiales de más alta resistencia (Cevallos, 2015).

Las ventajas de la utilización de fibras orgánicas son (Cevallos, 2015):

- Alta resistencia
- Alta rigidez
- Alta resistencia y rigidez específica
- Excelente resistencia al impacto

- Resistente a la corrosión

Las desventajas de la utilización de fibras orgánicas son (Cevallos, 2015):

- Más caros que las fibras de vidrio
- Las propiedades pueden verse afectados por factores ambientales (radiación ultravioleta)

FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales son sustancias muy alargadas producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería (FAO, 2009).

A las fibras naturales, en forma general, se puede clasificarlas en dos grandes grupos de acuerdo a su origen. Esto es, orgánico y mineral.

De las fibras de origen orgánico, las más conocidas son las fibras vegetales, las mismas que pueden ser clasificadas de acuerdo a la estructura y disposición de la fibra en la planta. Así se tienen (Barros & Ramírez, 2012):

a) Fibras de células largas o múltiples, las mismas que corresponden dos categorías:

- Fibras duras o foliares, de contextura muy rígida y localizadas a lo largo de los tejidos carnosos de las grandes hojas. Ejemplos de este tipo de fibras son la cabuya, pitas (henequén, fique y sisal), abacá, yuca, piña, la vaina de las hojas de plátano, entre otras.
- Fibras suaves o liberianas, de contextura suave y flexible, como son el lino, yute, ramio, cáñamo, entre otros.

b) Fibras cortas o unicelulares, generalmente suaves y lanosas como el ceibo, beldaco, bototillo, algodón.

c) Órganos fibrosos completos, constituidos por fibras duras asociadas. Entre estos, se tiene:

- Fibras foliares, como la pajilla, la paja blanca y el sigse.
- Fibras caulinares, como el mimbre, bejucos y lianas en general.
- Fibras radicales, como las raíces flexibles de algunas especies.

El proceso mediante el cual se obtienen las fibras vegetales es denominado “descotización”. Por lo general las fibras duras mantienen su estructura y forma luego de este proceso.

En las plantas las fibras están unidas por una especie de goma y resina, las que son eliminadas en el proceso de “lavado”, el cual puede hacerse con agua y productos químicos.

Ventajas de usar fibras naturales (Cevallos, 2015):

- Bajo costo
- Recurso renovable
- Baja densidad
- Módulo Young alto
- Buena resistencia a la tracción
- No abrasivo para herramientas y módulos
- No hay riesgos para la salud
- Bajo consumo de energía en la producción
- Biodegradable
- Disponibilidad mundial
- Capacidad de reducción acústica
- Se puede almacenar por mucho tiempo

Desventajas de usar fibras naturales (Cevallos, 2015):

- Absorción de humedad
- Poca resistencia microbiana
- Las propiedades de las fibras anisotrópicas
- Baja resistencia a la compresión

- La eficiencia de la producción depende de las condiciones ambientales
- El tiempo requerido para la preparación de la fibra demanda un trabajo intensivo.

Las diferentes fibras naturales se las puede encontrar en el mercado en diversas presentaciones (ver figura 8).



Figura 8. Formas comerciales de las fibras naturales.

Fuente: (2013). Cómo identificar y conocer las fibras naturales. Recuperado de http://comohacerpara.com/identificar-y-conocer-las-fibras-naturales_5584h.html

1.3.2 FIBRA DE ESTOPA DE COCO

El coco en su exterior se conforma por la estopa o mesocarpio. El valor de esta parte estriba en su contenido de fibra, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa, como agregado en la industria del concreto. (Quintero & González, 2006)

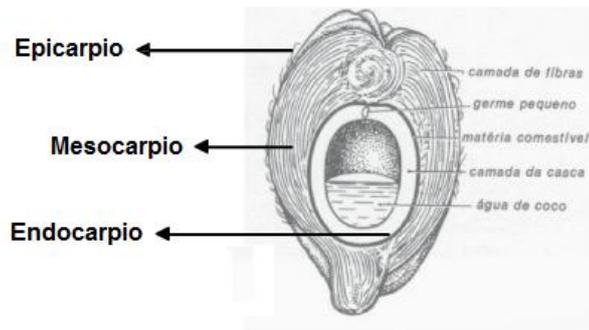


Figura 9. Corte longitudinal del coco y sus partes.

Fuente: Guayaquil (2007). Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo. Tesis de grado de la Universidad de Guayaquil.



Figura 10. Fibra de estopa de coco.

Fuente: (2003).EcoSiglos. Recuperado de <http://www.ecosiglos.com>

1.3.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE COCO

La composición química promedio de la estopa de coco es el resultado del estudio elaborado en la universidad de Guadalajara, México y se obtuvieron los siguientes resultados (Villegas & Vélez, 2007):

Tabla 1. Composición química de la fibra de coco.

COMPONENTES	%
Lignita	42,5
Celulosa	32,3
Pentosa	14,7
Grasas saponificables	5,1
Grasa insaponificables	0,7
Cenizas	3,5

Proteínas	1,2
Total	100

Fuente: (Villegas & Vélez, 2007)

1.3.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FIBRA DE COCO

La fibra de coco presenta diversas propiedades para su utilización entre las cuales se puede mencionar (Villegas & Vélez, 2007):

- La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras, tales como el "sisal", el "hanequen" y "abacá".
- Es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño, lo que confiere elevados índices de rigidez y dureza.
- La baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua, son algunas de sus características.
- Su capacidad de retención del agua varía entre el 20% y 50%.
- La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento (térmico y acústico).
- Alta porosidad. Hasta el 95% que le confiere una excelente distribución del aire y agua. El paso del aire sigue siendo superior al 20% aún saturado de agua favoreciendo la salud de las raíces.
- Material Orgánico 100%. Además es gracias a su contenido en lignina (mayor a 45%) muy estable asegurando unas buenas características físicas durante un largo periodo (tiene una alta rentabilidad frente a otros sustratos orgánicos).

1.3.2.3 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE COCO

El procedimiento de extracción de la fibra de coco se inicia con la obtención de la cáscara (cubierta externa del coco), este paso se realiza manualmente, utilizando una estaca de madera o hierro afilado, fijada en la tierra a 90 cm aproximadamente. El coco se clava en la punta de la misma, para perforar la

cáscara y el extremo redondo del coco, moviéndose para ir removiendo la cáscara por partes (Montañez & Uzcátegui, 2009).



Figura 11. Corte de la cáscara del coco.

Fuente: (Duarte, 2012)

Una vez obtenidas las cascaras del coco, se procede a secarla al sol, una vez hecho este proceso, la cascara de coco, coge un color parecido al de la cabuya (ver fig.12), cuando se observe que la cascara tiene ese color está listo para convertirlo en fibra.



Figura 12. Fibra de coco seca.

Fuente: (Depositphotos, 2014)

Luego se procede a colocar la cascara seca, en la máquina desfibradora, esta máquina saca toda la fibra de la cascara, se calcula que en doce cascara de coco, podemos obtener un kilogramo de fibra de coco. La máquina desfibradora posee un rodillo con puntas, donde procesa la cascara al producto deseado, la capacidad de producción es de una tonelada por hora.



Figura 13. Máquina desfibradora para cascara de coco.

Fuente: (Suárez & ong, 2011)

1.3.3 INFLUENCIA DE LA FIBRA DE COCO EN EL CONCRETO

Fibras vegetales dentro de matrices cementicias han sido investigadas a nivel mundial, en donde destacan el uso de fibras naturales como material de refuerzo en estructuras compuestas.

El desempeño de los compuestos reforzados con fibras es controlado principalmente por la dosis, por la longitud de la fibra, por las propiedades físicas de la fibra y de la matriz y por la adherencia entre las dos fases. Además se agrega el efecto de orientación de una fibra en la matriz (Barros & Ramírez, 2012).

Los principales parámetros relacionados al desempeño de los hormigones reforzados con fibras, se describen a continuación (Barros & Ramírez, 2012):

- **Dosis de la fibra.**

Una alta dosis de fibras otorga una mayor resistencia post-fisuración y menor dimensión de fisuras, desde que las fibras puedan absorber las cargas adicionales ocasionadas por la fisura.

- **Módulo de elasticidad de la fibra.**

Un alto valor de módulo de elasticidad causaría un efecto similar a la dosis de fibra, pero, en la práctica, cuanto mayor sea el módulo, mayor será la probabilidad de que haya un arrancamiento de las fibras.

- **Adherencia entre la fibra y la matriz.**

Las características de resistencia, deformación y patrones de rotura de una gran variedad de compuestos cimentados reforzados con fibras dependen fundamentalmente de la adherencia fibra-matriz. Una alta adherencia entre la fibra y la matriz reduce el tamaño de las fisuras y amplía su distribución por el compuesto.

- **Resistencia de la fibra.**

Aumentando la resistencia de las fibras, aumenta también la ductilidad del compuesto, desde que no ocurra la rotura en las ligaciones de adherencia. La resistencia de la fibra dependerá, en la práctica, de las características post-fisuración deseadas, así como la dosis de fibra y de las propiedades de adherencia fibra-matriz.

- **Deformidad de la fibra.**

La ductilidad se puede aumentar con la utilización de fibras que presenten alta deformación a la rotura. Esto se debe al hecho de que compuestos con fibras de alto grado de deformidad consuman energía bajo la forma de estiramiento de la fibra.

- **Compatibilidad entre la fibra y la matriz.**

La compatibilidad química y física entre las fibras y la matriz es muy importante. A corto plazo, las fibras que absorben agua pueden ocasionar una excesiva pérdida de trabajabilidad del hormigón. Además, las fibras que absorben agua sufren una variación de volumen y, la adherencia fibra-matriz queda comprometida.

- **Longitud de la fibra.**

Cuanto menor sea la longitud de la fibra, mayor será la probabilidad de que sean arrancadas. Para una tensión dada de cizalladura (corte) superficial aplicada a la fibra, ésta será mejor utilizada si su comportamiento es lo suficientemente capaz de permitir que la tensión cortante desarrolle una tensión de tracción igual a su resistencia a tracción. En verdad no basta tan solo con razonar sobre la longitud de la fibra. Hay que tener en cuenta su diámetro. Pues depende de él la capacidad de que la fibra desarrolle las resistencias al corte y a la tracción.

1.3.4 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA

La orientación relativa de las fibras, su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas: (1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y (2) alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean (Figura.14a), mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear (Figura.14b) o bien se pueden orientar al azar (Figura.13c) o alinearse parcialmente (Barros & Ramírez, 2012).

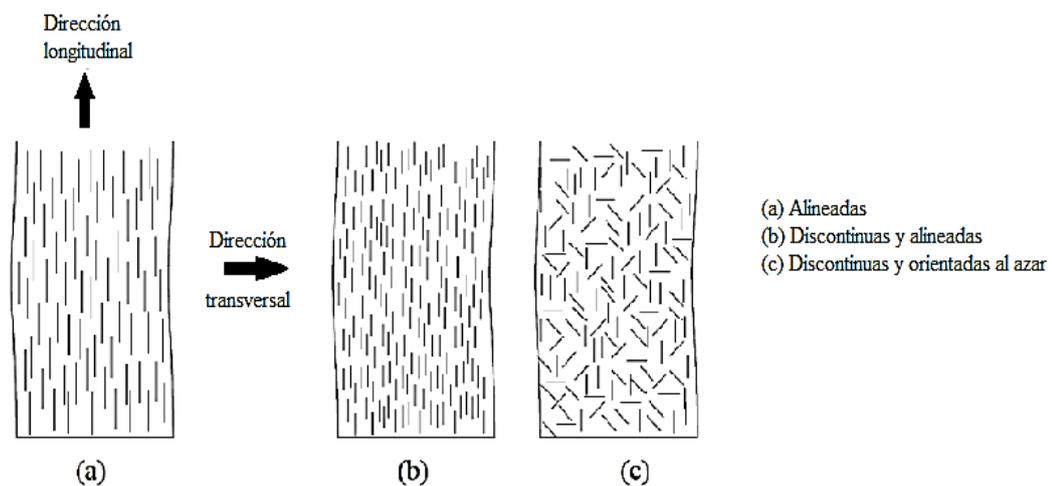


Figura 14. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras.

Fuente: (Beltrán, 2003)

1.3.5 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA

La mínima longitud se la puede definir como la longitud que debe tener una fibra para que su carga sea igual al de la carga de rotura por tracción.

Una fibra “infinita” presenta una superficie “Infinita” de anclaje con la matriz, en estas condiciones, difícilmente matriz y fibra se romperán antes de alcanzar la carga máxima de rotura de la fibra. Si la fibra no es “infinita”, se la denomina “corta”, la superficie de anclaje que ofrece es menor en esta situación, como la fibra soporta mayor carga que la matriz, casi siempre la matriz empieza a acusar los efectos de la

carga antes de la fibra. En este caso, primero se agrietará la matriz e, inmediatamente después, romperá la fibra. Si las fibras no pueden “anclarse de forma eficaz” a la matriz, ante las cargas se deslizaran y serán arrancadas de la matriz al romperse la pieza (Nielsen, 1998).

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el que se muestra en la Fig.15; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz (Barros & Ramírez, 2012).

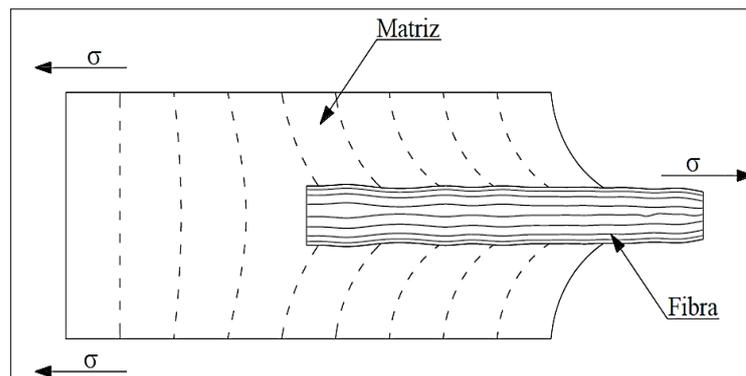


Figura 15. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.

Fuente: (Beltrán, 2003)

1.4 MATERIALES COMPUESTOS

Se puede definir a los materiales compuestos como aquellos formados por dos o más materiales sin que se provoque reacción química entre ellos. Los materiales de esta familia surgen de la necesidad de obtener materiales con una combinación de propiedades que difícilmente se encuentren en los cerámicos, los plásticos o los

metales. Por ejemplo, en la industria del transporte son necesarios materiales ligeros, rígidos, resistentes al impacto y que resistan bien la corrosión y el desgaste, propiedades éstas que rara vez se dan juntas; por lo que se “diseña” un material según la aplicación para la cual se necesitan (Stupenengo, 2011).

1.4.1 COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

En todos los materiales compuestos se pueden distinguir dos componentes principales: la *matriz* y el *refuerzo*

1.4.1.1 LA MATRIZ

La matriz es el componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante y en la que el refuerzo queda embebido. El material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo (Stupenengo, 2011).

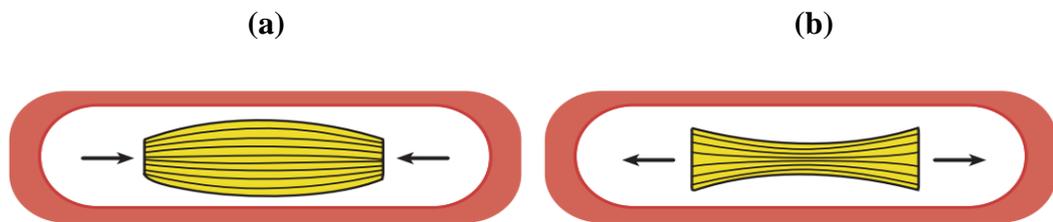
FUNCIONES PRINCIPALES DE LA MATRIZ (Stupenengo, 2011).

- definir las propiedades físicas y químicas
- transmitir las cargas al refuerzo
- protegerlo y brindarle cohesión

Así como también permitirá determinar algunas características del material compuesto como la conformabilidad y el acabado superficial, es decir, de las propiedades de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que, generalmente, no involucrarán posteriores etapas de acabado.

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

- 1) Bajo cargas de compresión: es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.



(a) Compresión, (b) Tracción

Figura 16. Material compuesto sometido a cargas mecánicas.

Fuente: (Stupenengo, 2011)

- 2) En tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una excelente adhesión entre la matriz y el refuerzo. Además, muchas veces es la matriz la que determina la resistencia al impacto y la encargada de detener la propagación de fisuras.

PROPIEDADES DE LAS MATRICES

La matriz de un material compuesto (Stupenengo, 2011):

- soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta
- transfiere la carga a las fibras fuertes
- las protege de sufrir daños durante su manufactura y uso
- evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

1.4.1.2 EL REFUERZO

El material de refuerzo es la fase discontinua, es el elemento resistente que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee.

En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión (Stupenengo, 2011).

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Si bien, como veremos más adelante, los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras (Stupenengo, 2011).

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta (Stupenengo, 2011).

1.4.1.3 LA INTERFASE

Además de las características de las fibras y de la matriz, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interfase (la región de contacto) entre estos dos componentes.

Si la interfase es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza (Stupenengo, 2011).

Lograr una buena adhesión entre la fibra y la matriz no es tarea fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (polímero - vidrio, metal - cerámico) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que resulten más compatibles con la matriz, y aumenten la adhesión entre los componentes del material compuesto (Stupenengo, 2011).

1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Existe una clasificación de materiales compuestos en función de la naturaleza de la matriz:

- ***Compuestos de matriz polimérica:*** son los más comunes. También se los conoce como polímeros (o plásticos) reforzados con fibras. La matriz es un polímero y una variedad de fibras, tales como las de vidrio, las de carbono o las aramídicas, se utilizan como refuerzo (Stupenengo, 2011).
- ***Compuestos de matriz metálica:*** se utilizan cada vez más en la industria automotriz. Estos materiales están formados por metales “livianos” como el aluminio como matriz y fibras de refuerzo como las de carburo de silicio (Stupenengo, 2011).
- ***Compuestos de matriz cerámica o cementicia:*** se utilizan en aplicaciones de alta temperatura. Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras. (Stupenengo, 2011).

De acuerdo a la forma que posea el refuerzo, es posible clasificar a los materiales compuestos de la siguiente manera:

- compuestos reforzados con partículas
- compuestos reforzados con fibras
- compuestos estructurales.

COMPUESTOS REFORZADOS CON PARTÍCULAS.

La adición de partículas a una determinada matriz, es un recurso utilizado habitualmente para obtener materiales más resistentes. Las partículas de refuerzo suelen ser más resistentes que la propia matriz, cohesionándose fuertemente con ella mejorando sus propiedades mecánicas (Stupenengo, 2011).

Los materiales compuestos reforzados con partículas se clasifican a su vez en materiales reforzados con partículas grandes y otros consolidados por dispersión.

En los **compuestos con partículas grandes**, el término “grande” se utiliza para indicar las interacciones entre la matriz y las partículas a un nivel macroscópico. Estos materiales están diseñados para producir combinación de propiedades poco usuales. El material compuesto reforzado con partículas grandes más común es el hormigón donde su matriz (cemento) como las partículas (grava y arena) son materiales cerámicos (Stupenengo, 2011).

Los **compuestos consolidados por dispersión** son aquellos en los cuales las partículas poseen de 10 a 250 mm de diámetro. Las partículas dispersas se introducen en la matriz con métodos distintos (Stupenengo, 2011).

COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.

Según la norma ACI 549.4R-13 define a los materiales compuestos reforzados con fibras (FRCM) como un aglomerante inorgánico hidráulico y no hidráulico de cemento (mortero) que contiene como refuerzo estructural mallas o tejidos. Si el mortero es modificado con polímeros, el contenido máximo de compuestos orgánicos (polímeros secos) en la matriz es limitada hasta el 5% del peso del cemento.

La mayoría de los compuestos reforzados con fibra consiguen una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor

parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas (Stupenengo, 2011).

Las fibras utilizadas en este tipo de material compuesto presentan morfologías variadas: (Fig.17a) Fibras continuas unidireccionales, (Fig.17b) Fibras discontinuas orientadas al azar, (Fig.17c) Fibras ortogonales o tejidos, (Fig.17d) Fibras en capas múltiples. Ejemplo: fibra de vidrio.

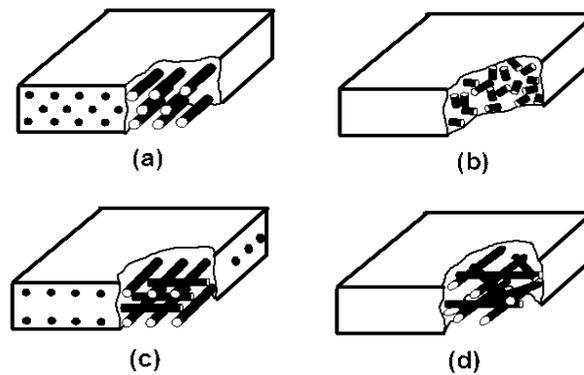


Figura 17. Morfologías de compuestos reforzados con fibras.

Fuente: (Londoño, 2013)

Tabla 2. Ventajas y desventajas del material compuesto con matriz cementicia.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - estabilidad dimensional a altas temperaturas - alta estabilidad química - alta estabilidad térmica - excelentes propiedades mecánicas (resistencia y rigidez) - resistente a la absorción de humedad - aplicable a temperaturas extremas (2000 ° a 4000 °) 	<ul style="list-style-type: none"> - muy frágil - se requieren presiones muy altas de consolidación - muy caro de producir y mantener

Fuente: (Cevallos, 2015)

COMPUESTOS ESTRUCTURALES.

Los materiales compuestos estructurales presentan una combinación de materiales homogéneos y las propiedades dependen más de la geometría del diseño de los elementos estructurales que de la naturaleza de los materiales constituyentes.

Estas capas de materiales suelen ser laminares o sandwiches y son muy anisotrópicos. Por ejemplo, la madera contrachapada.

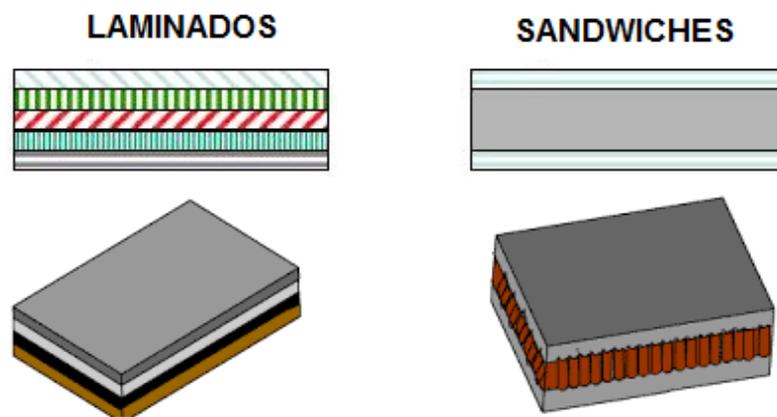


Figura 18. Materiales compuestos estructurales.

Fuente: (Londoño, 2013)

1.4.3 TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS COMO REFUERZO

Los principales tipos de fibras utilizados como refuerzo, en lo que al material que las compone se refiere, son (Poveda, 2008):

- **FIBRAS NATURALES**, son pelos o hebras que se obtienen directamente de animales o de vegetales, los cuales se hilan para producir hilos o hebras.
- **FIBRAS DE CARBONO**, de muy alta resistencia y rigidez, por la estructura cristalográfica del grafito.
- **FIBRAS CERÁMICAS**, de cuarzo o sílice. Flexibles y con muy bajo alargamiento y gran resistencia la choque térmico. Se utilizan en estructuras radio transparentes.

- **FIBRAS ORGÁNICAS**, obtenidas a partir de polímeros.
- **FIBRAS METÁLICAS**, de aluminio, acero y titanio, más densas que las anteriores, y de elevado costo.

1.4.3.1 PRESENTACIÓN DE LAS FIBRAS

Aparte del tipo de material en que estén hechas, las fibras se pueden presentar en forma de hilos. Además se puede recalcar que dos o más hilos se pueden retorcer sobre sí mismos y formar hilos más gruesos.

- (a) uno o más filamentos continuos
- (b) filamento no continuo o fibras cortadas
- (c) filamento continuo, unido sin torsión
- (d) hilos simples o doblados, retorcidos juntos
- (e) muchos hilos doblados juntos

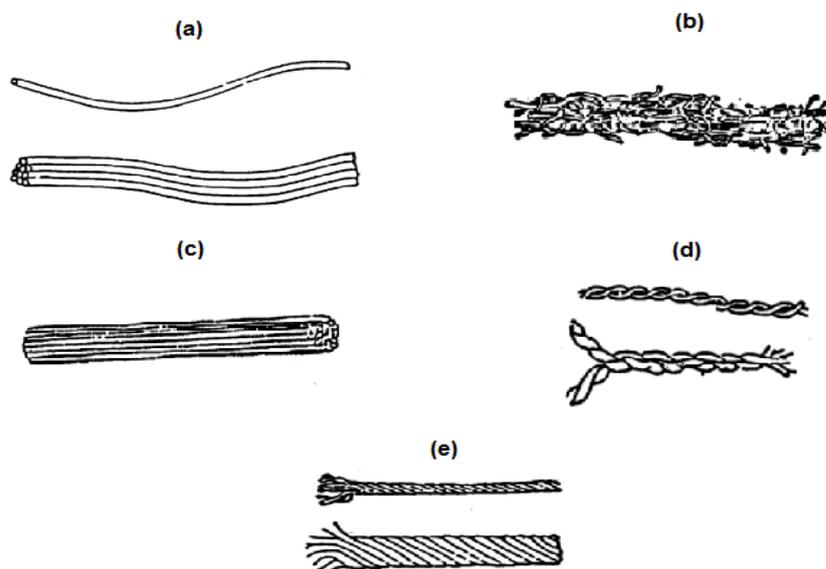


Figura 19. Diversas formas de presentación de los hilos.

Fuente: (Poveda, 2008)

Existen otros tipos de hilos como:

- **CINTAS O TAPES.**- que son hilos dispuestos paralelamente en forma unidireccional.
- **FIELTROS.**- son hilos continuos o cortados depositados de forma multidireccional, aleatoriamente.
- **TEJIDOS O FABRICS.**- es el producto de los hilos entrelazos perpendicularmente. Según la forma de cruzarse, los tejidos se denominan: tafetán(a), esterilla (b), sarga (c), raso (d).

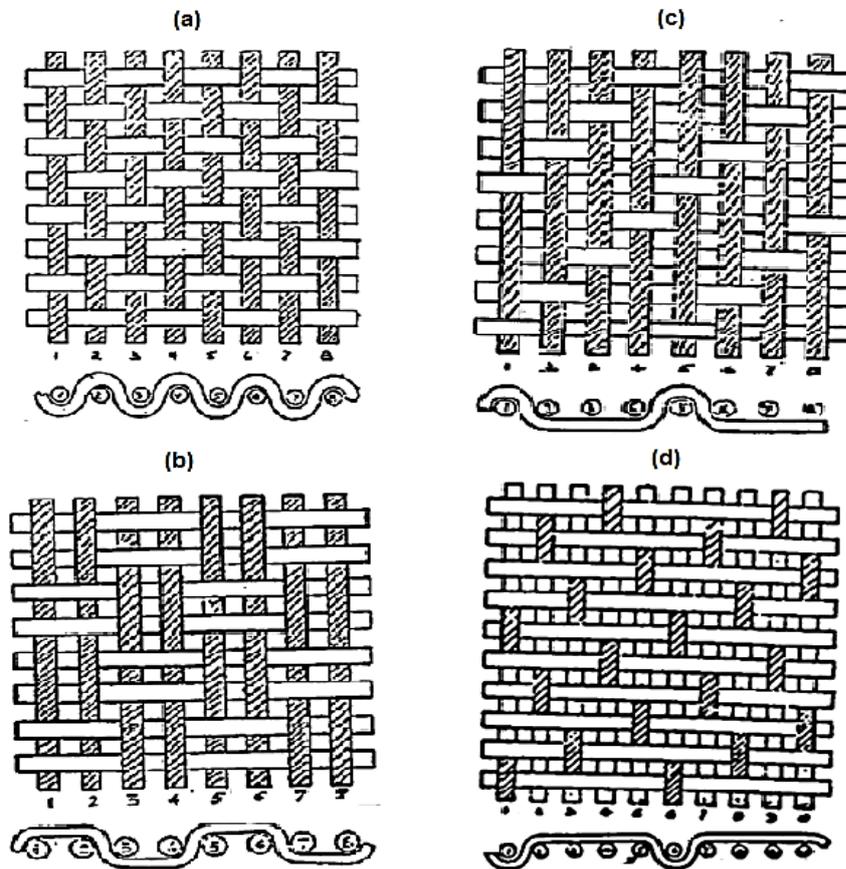


Figura 20. Tipos de tejidos.

Fuente: (Poveda, 2008)

1.4.4 FIBRA DE CABUYA

La fibra conocida como cabuya proviene de las hojas de la planta del género *furcraea* la cual tiene su origen en América Tropical, sobre todo en la región andina de Colombia y Venezuela. De allí, se fue difundiendo hacia la costa oriental del Brasil, a Centro América y a las Antillas (Checa & Jurado, 2001).

La cabuya es una planta sumamente rústica, que se ha explotado en Ecuador desde tiempos inmemoriales. Viene del quechua “Chahuar” o también conocida como “Chuchau”. Esta planta tiene varios usos en el campo ecuatoriano; utilizándose la fibra para elaboración de productos textiles, hace las veces de jabón, leña; el jugo como fijador de colores; alimento para el ganado; los indios lo emplean para teñirse el pelo; para blanquear las casas; para hacer divisiones entre las piezas de las casas; la hoja cortada como canales de agua, se las usan en vez de tejas para cercas, divisiones de potreros; sacando fibra con la espina o púa, hacen de aguja e hilo (Checa & Jurado, 2001).

Por su gran sistema radicular (raíces), así como por la habilidad de crecer en laderas pobres, constituye uno de los productos ideales y más baratos para utilizar en la construcción.



Figura 21. Planta y fibra de cabuya.

Fuente: (Muscio, 2013)

1.4.4.1 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LA FIBRA DE CABUYA

Las fibras vegetales tienen una buena resistencia mecánica, en especial la cabuya debido a que es liviana y tiene una densidad de $1,3 \text{ g/cm}^3$. Esto hace que las fibras de cabuya sean atractivas para diferentes industrias, debido a que se puede obtener un ahorro de energía gracias a su contextura liviana y su resistencia a la tracción (Checa & Jurado, 2001).

La gran resistencia de la fibra de cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas (Checa & Jurado, 2001):

- Densidad : $1,3 \text{ g/cm}^3$
- Resistencia a la Tracción : 305,15 MPa
- Módulo de Elasticidad : 7,5 GPa
- Elongación a la fractura : 4,96 %

Las fibras de cabuya tienen la siguiente composición química (Checa & Jurado, 2001):

- Celulosa (% peso) : 62,7
- Lignina (% peso) : 15,5
- Pentosas (% peso) : 17,7

Por todo lo expuesto anteriormente la fibra de cabuya sería una buena opción para la elaboración de materiales compuestos, debido a que diferentes propiedades mecánicas y su alto porcentaje de celulosa contribuirán a mejorar la resistencia mecánica de la matriz cementicia.

1.4.4.2 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA

El proceso de la obtención de la cabuya está conformado de varios procesos los cuales poseen una secuencia establecida y bien definida. (Ver figura 22).

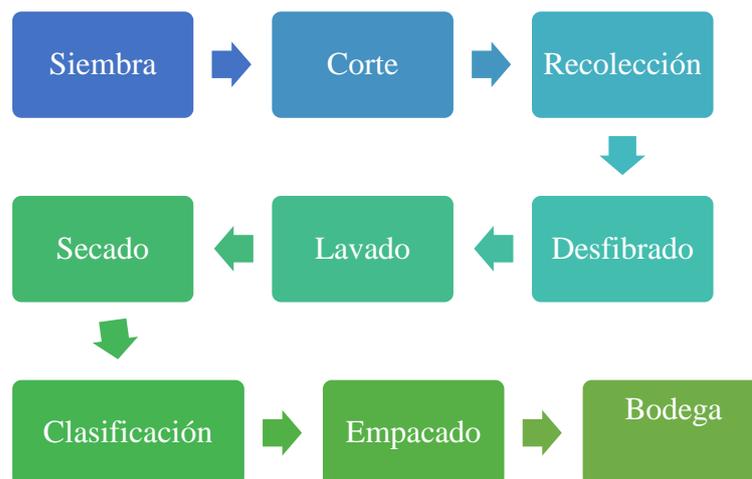


Figura 22. Flujograma de procesos

Fuente: (Checa & Jurado, 2001)

SIEMBRA

La cabuya es una planta que se adapta a variadas condiciones ecológicas; en general se la cultiva en suelos que varían desde el franco arcilloso hasta el arenoso, obteniéndose los mejores resultados en terrenos sueltos, arenosos y ricos en calcio además la planta necesita para su desarrollo: Magnesio, Fósforo y Potasio (Checa & Jurado, 2001).

La siembra se hace utilizando los bulbillos del tallo floral de plantas viejas, de buena producción y longitud de la hoja, con los que se hace semilleros, que darán plantitas de igual tamaño para el vivero, lo que se traduce en una plantación definida, uniforme que facilita el cultivo y el corte. Los semilleros deben hacerse sembrando la semilla bien madura y seleccionada, a no más de 3 centímetros de profundidad y a distancias de 20 x 20 centímetros. El terreno debe ser bien abonado y limpio de malezas. Cuando las plantas han estado tres o cuatro meses en el semillero y han alcanzado una altura de alrededor de 20 centímetros y un peso aproximado de 200 gramos, se las pasa a los viveros, que deben reunir las mismas condiciones de preparación y calidad de tierra que los semilleros y se las transplanta a 40 centímetros en cuadro. Una vez que las plantitas midan

aproximadamente 60 centímetros de altura, se las lleva a un sitio definitivo (Checa & Jurado, 2001).

Para la siembra de cabuya es necesario escoger un tiempo adecuado, notoriamente lluvioso, para favorecer el rendimiento y disminuir el porcentaje de las plantas muertas (Pérez, 1974).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería estima que el 90% de la producción de la cabuya corresponde a la sierra, especialmente en las provincias de: Chimborazo, Tungurahua, Pichincha e Imbabura (González, 1965).

CORTE

El corte consiste en desprender de la planta periódicamente un número determinado de hojas, utilizando un machete o cuchillo muy afilado y de 8 a 10 pulgadas que es el más adecuado (González, 1965), como se observa en la figura 23.



Figura 23. Corte de las hojas de cabuya

Fuente: (Tejido, 2012)

Se recomienda realizar los siguientes pasos para el corte (González, 1965):

- 1.- Cortar sólo las hojas maduras que son las que forman con el eje vertical de la planta un ángulo no menor de cuarenta grados; la producción de las plantas jóvenes es relativamente menor a las de plantas viejas.
- 2.- Efectuar 1, 2 o 3 cortes anuales, dependiendo el desarrollo de la planta.
- 3.- Cortar solo las hojas maduras, ya que al cortar demasiadas hojas, la planta pierde su vigor y muere.
- 4.- Hacer siempre un corte liso y uniforme, lo más cerca posible al tallo, lo cual ayuda para su pronta cicatrización, si el corte es mal hecho, permanece por largo tiempo expuesto a la invasión de organismos patógenos y de insectos.
- 5.- Realizar el corte lo más rápido y eficiente posible, procurando de no herir las hojas que permanecen aún en la planta.
- 6.- Despuntar y despalmar las hojas antes de someterlas al desfibrado.

RECOLECCIÓN

Este proceso consiste en reunir las hojas cortadas para trasladarlas al lugar donde se encuentra la máquina desfibradora; actualmente algunos agricultores utilizan desfibradoras portátiles, las mismas que van recorriendo por los puntos estratégicos donde se produce el corte (Checa & Jurado, 2001).

Las hojas una vez cortadas se deben desfibrar dentro de las 24 horas siguientes si se deja en el campo, o dentro de las 48 horas si se almacena en un lugar adecuado en ausencia de sol o de lluvia, esto es muy importante ya que en regiones donde el sol es muy intenso y la temperatura elevada, las células de las hojas o pencas pierden turgencia donde se quema y reseca la hoja, haciendo mucho más difícil el proceso de desfibrado (Checa & Jurado, 2001).

DESFIBRADO

Esta operación consiste en macerar, golpear y raspar la hoja hasta dejar libre la fibra (Checa & Jurado, 2001).

Existen dos sistemas de extracción de fibras utilizadas tanto en la parte artesanal como industrial: de forma manual y la utilización de máquina.

a) Desfibrado Manual

Dentro del desfibrado manual existen dos sistemas: sistema de enriado y sistema de tallado.

- **Sistema de enriado:** se procede a realizar unos atados con 5 a 10 hojas amarradas fuertemente, estas son introducidos en unos tanques con agua durante un mes, o si se pudiere colocar en una quebrada con agua corriente se la mantendría durante 8 a 12 días. El largo tiempo que permanecen en el agua es con el fin de que la goma y la pulpa se descompongan y se desprendan fácilmente con sucesivos golpes o sacudones (González, 1965).
- **Tallado:** Este sistema se realiza utilizando una cuchilla de hueso o de metal, la cual se utiliza para raspar la hoja a mano, teniendo un rendimiento máximo de 6 libras diarias y gran porcentaje de desperdicio que sobrepasa el 50%. Por tal razón este procedimiento no es aplicado en la actualidad ya que es ineficiente y los costos de producción serían muy elevados (González, 1965).

b) Maquinaria Desfibradora

Este método de desfibrado con el empleo de una máquina, es el más eficiente, apropiado y utilizado en la actualidad.

La máquina funciona con un motor de 3 a 6 HP. Y está provisto de un tambor (30 a 40 cm de diámetro) con unas 15 a 20 cuchillas destinadas a raspar, golpear y limpiar eliminando así las gomas y pulpa que acompaña a la fibra (Checa & Jurado, 2001) (ver figura 24).

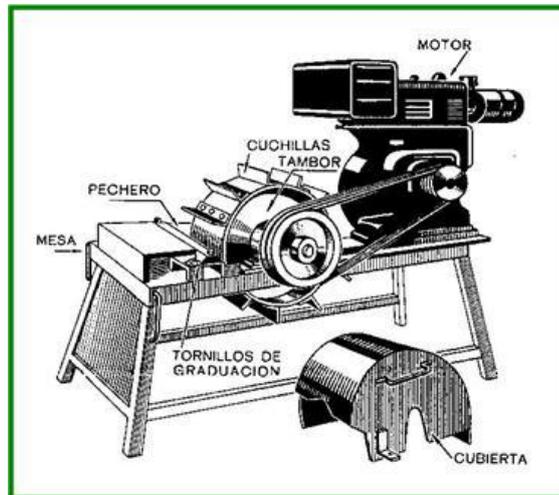


Figura 24. Máquina desfibadora.

Fuente: (Rubiano, 2000)

El procedimiento inicia clasificando las hojas de acuerdo a su grosor, para así regular la máquina para cada montón. El operario desfibrara primero la mitad de la punta y enseguida la parte restante de la hoja (Checa & Jurado, 2001).



Figura 25. Desfibrado de la cabuya en campo

Fuente: (Tejido, 2012)

Existe un procedimiento más eficiente utilizado en grandes plantaciones y consiste en la utilización de dos máquinas desfibradoras, la una desfibra la punta y la otra la base, esto tiene su explicación, ya que el grosor de la punta no es el mismo que en la base por ende la regulación de las cuchillas es diferente.

Los obreros encargados del manejo de la máquina deben estar provistos de un delantal, botas de caucho, gafas y guantes adecuados que los protejan contra la acción del jugo de la hoja, para evitar irritaciones en la piel (Checa & Jurado, 2001).

LAVADO

Consiste en preparar unos tanques o piscinas con agua limpia y detergente de 5 a 7 Kg. por metro cúbico de agua, esta operación ayuda a blanquear y limpiar la fibra aunque aumenta el costo de beneficio. Una vez preparado los tanques se sumerge la cabuya donde permanecerá de 12 a 15 horas para luego lavarlas a fondo en agua limpia o de ser posible en agua corriente; con la finalidad de desprender las partículas de corteza, pulpa, lignina, espinas y detergente que acompaña a la fibra (Checa & Jurado, 2001).



Figura 26. Lavado de la fibra de cabuya

Fuente: (La-Hora, 2015)

SECADO

La cabuya puede ser secada artificialmente y naturalmente.

a) Secado Artificial

El secado artificial es más utilizado en grandes empresas, debido a su alto costo. El equipo comprende de dos máquinas: de una *centrífuga* que elimina el exceso de agua, y una *secadora automática*. El secado resulta de la acción combinada de la temperatura (100-200 °C) y la ventilación (González, 1965).

Las ventajas de este sistema son (González, 1965):

- No está sujeto a condiciones atmosféricas.
- Ahorro de tiempo y mano de obra
- La instalación ocupa un área reducida.
- Casi no hay pérdidas de fibra.
- La fibra toma mejor aspecto.

b) Secado Natural

Este proceso es el más usado debido a que se lo realiza exponiendo la cabuya a los rayos directos del sol sobre un prado natural, sin embargo presenta algunas desventajas (González, 1965):

- La fibra se enreda fácilmente y se ensucia
- Puede decolorarse por efecto de la humedad del suelo;
- Gasta más tiempo en secarse
- Hay mayor desperdicio de fibra.

Para evitar los inconvenientes antes mencionados se han ideado unos andamios de alambre llamados comúnmente "camilla" y existen dos tipos como son: el estrado en triangulo o caballete y el estrado plano o barbacoa.

Estrado en triángulo o caballete

Consta de una serie de postes de madera de 1.20 metros de altura, que tiene colocado una cruceta de 50 cm., a los 25 cm. a partir del extremo superior del poste. Por las puntas de las crucetas se templan alambres como indica la figura 27 y 28 (González, 1965).

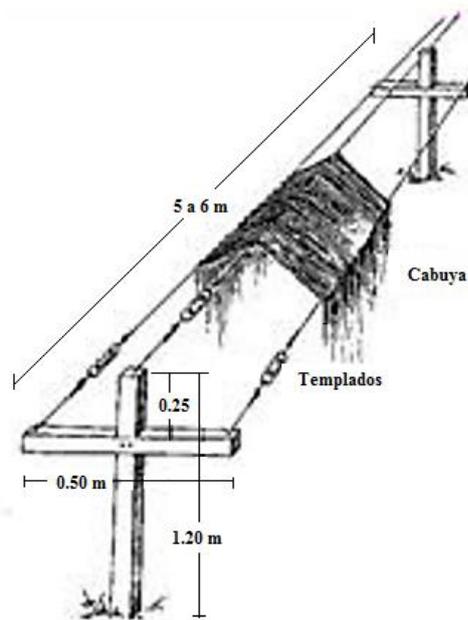


Figura 27. Estrado en triángulo o caballete.

Fuente: (Rubiano, 2000)



Figura 28. Ejemplo del secado natural con estrado en triángulo

Fuente: (Sopeña, 2014)

Estrado plano o barbacoa.

Consta de una serie de armazones en forma de T o U invertida, distanciados de 4 a 6 metros; el ancho varía entre 0.80 y 1 metro dependiendo de la longitud media de la cabuya; la altura es de 1 metro. Encima se coloca de 4 a 6 alambres galvanizados distanciados de 20 a 25 cm. Luego se procede a tender el material uniformemente sobre todo el estrado esperando su secado (González, 1965).

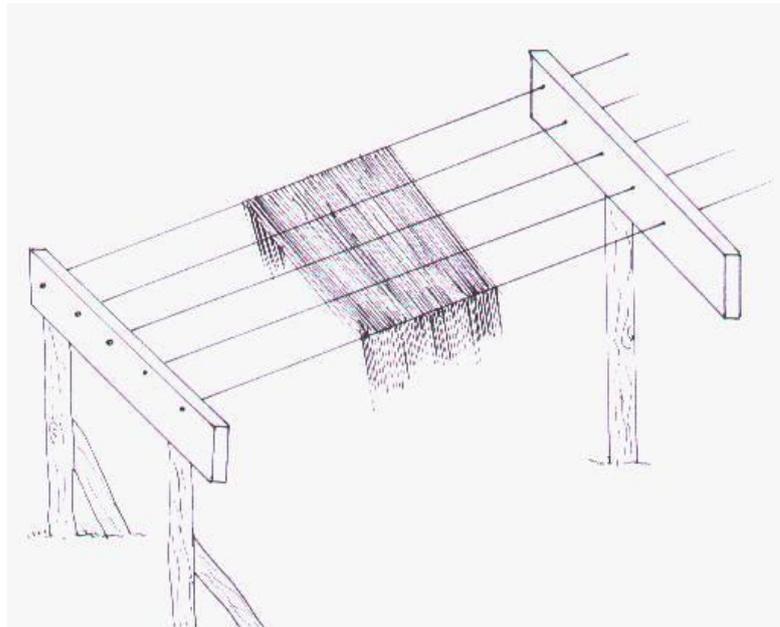


Figura 29. Estrado plano o barbacoa

Fuente: (Checa & Jurado, 2001)

CLASIFICACIÓN

Considerando las exigencias y costumbres del mercado internacional de fibras duras, se propone la siguiente clasificación, la cual comprende cinco clases o calidades como son (Checa & Jurado, 2001):



**PRIMERA
CALIDAD**

- Color de fibra blanca hasta crema.
- Longitud superior a 120 cm.
- Bien sacudida, libre de residuos de hojas y materiales extraños.
- Correctamente desfibrada.
- Un 2 % máximo de pulpa adherida a la fibra.
- Completamente despuntada.
- Libre de enredos y motas.
- Bien empacada.



**SEGUNDA
CALIDAD**

- Longitud superior a 1 metro.
- Fibras de color claro o ligeramente oscuro.
- Porcentaje mínimo de residuos de hoja y materiales extraños.
- Bien desfibrada.
- Un 2 a 5 % de pulpa sobre la fibra
- Normalmente sacudida.
- Bajo porcentaje de enredo y mota.
- Empacado aceptable.
- Despuntada.



**TERCERA
CALIDAD**

- Longitud inferior a 80 centímetros.
- Color de fibra ligeramente oscuro.
- Tiene ases de fibras pegados (tiesas).
- Con residuos sueltos del desfibrado (polvo).
- Medianamente desfibrada, con más de un 5% de penca adherida.
- No bien despuntada.
- Mal sacudidas.
- Ligeramente enredada, con un poco de mota.
- Empacado defectuoso.



**CUARTA
CALIDAD**

- Fibra de coloración muy oscura
- Contiene mucho residuo suelto.
- Mal desfibrada y despuntada.
- Con residuos más del 8 % de penca.
- Enredada y con motas.
- Mal empacada.



Figura 30. Clasificación de la fibra

Fuente: (TEC, 2011)

EMPACADO

El artesano encargado de realizar los bultos o pacas de cabuya de acuerdo a su calidad, primero constata que la fibra esté bien seca, para luego proceder a realizar de 45 a 50 manojos con un peso promedio de 1 Kg. cada uno, seguidamente se controla el peso que fluctúe entre las 100 Libras, y se ata fuertemente.



Figura 31. Empacado de la fibra de cabuya.

Fuente: (TEC, 2011)

BODEGA

Las pacas o bultos son guardados en un lugar cubierto, con condiciones normales de temperatura y fuera de la intemperie, logrando así conservar sus características y estar aptas para ser sometidas a los procesos correspondientes (González, 1965).

1.4.4.2.1 PROCESO DE HILATURA

En nuestro país el proceso de hilatura se lo realiza en forma artesanal

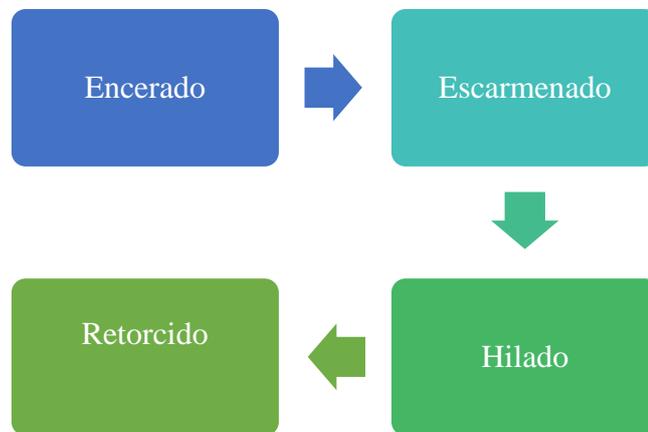


Figura 32. Flujograma del proceso de hilatura artesanal

Fuente: (Checa & Jurado, 2001)

ENCERADO

El encerado consiste en recubrir a la fibra con una cantidad de parafina o cera en forma directa. El artesano asegura que la utilización de estos productos ayuda hacer el trabajo más suave, ya que esta sustancia brinda mayor deslizamiento de las fibras y que la cantidad a aplicarse depende de varios factores como son (Checa & Jurado, 2001):

- Se aplicará más cantidad de cera, cuando la fibra esté muy reseca.
- La cantidad depende del grosor del hilo que se desea obtener. Es decir para hilos delgados se necesita mayor cantidad por su elevada fricción,

facilitando el proceso de hilado puesto que se trabaja con velocidades altas.

- Al no colocar cera, la fibra por ser muy resistente, ejercerá una fricción considerable, ocasionado un desgaste irregular de las partes de la máquina.

ESCARMINADO

Conocido también como peinado o cardado, este proceso se lo realiza con el fin de eliminar todas las impurezas, como también paralelizar y peinar la fibra. El escarminado consiste en someter una cierta cantidad de fibra a una tabla provista de clavos para luego halarlas fuertemente hasta obtener una fibra peinada (ver figura 33) (Checa & Jurado, 2001).

El guango o empaque viene enredado y hay que tomar muy en cuenta que el primer extremo sometido al peinado es la parte baja de la hoja, para luego terminar con las puntas, donde se elimina la mayor cantidad de desperdicio como son: impurezas vegetales, motas y fibras cortas (Checa & Jurado, 2001).



Figura 33. Escarminado de la fibra de cabuya

Fuente: (Tejido, 2012)

HILADO

El objetivo es la obtención de un hilo, cuya operación consiste en estirar y torcer una cierta cantidad de fibras sobre su propio eje, dando como resultado hilos de diferentes grosores de acuerdo a las necesidades requeridas (Checa & Jurado, 2001).

La hila utilizada por los artesanos es muy rudimentaria y sencilla, consta de una bancada de madera pesada, provista de un motor monofásico generalmente de 2 a 3 HP, el mismo que se encarga de dar movimiento a las aletas giratorias por medio de un mecanismo de bandas, observar figura 34 (Checa & Jurado, 2001).



Figura 34. Hilado de la cabuya

Fuente: (García, 2012)

Como proceso posterior de la obtención del hilo queda a criterio del artesano el de obtener un hilo.

RETORCIDO

El retorcido es el proceso por el cual el artesano procede a juntar dos o más cabos con el objetivo de aumentar el grosor de los hilos, mejorar la resistencia o realizar mezclas de diferentes fibras y colores, todo esto dependerá del gusto y pedido del cliente.

1.4.4.2 PROCESO DE TEJEDURÍA

El tejido es el entrelazamiento o cruzamiento de dos series de hilos; unos verticales que serán llamados *urdimbre* y otros horizontales que llamaremos *trama*.



Figura 35. Elaboración del tejido de cabuya

Fuente: (Simiatug, 2015)

La revolución industrial y la producción en serie provocaron cambios en los telares, con el fin de aumentar la producción. El telar moderno es de pinzas y consta de dos soportes o enjulios, uno para la urdimbre y otro para la tela, entre los cuales se encuentran los hilos de urdimbre. La urdimbre se eleva y se baja por medio de un dispositivo de mallas o lizos (Checa & Jurado, 2001).

El marco sujetan las mallas; una malla es un alambre con un orificio en el centro a través del cual pasa el hilo. Hay tantas mallas como hilos de urdimbre y se encuentran sujetas por dos o más lizos; cuando uno de ellos se eleva, los hilos forman una calada a través del cual se insertan los hilos de trama. Sea la lanzadera, pinzas o cualquier dispositivo que lleve el hilo de trama a través de esta calada. Un peine aprieta el hilo de trama sobre la tela para así lograr un tejido firme (Checa & Jurado, 2001).

Las partes principales del telar son (Checa & Jurado, 2001):

- A.- Enjulio o plegador de la urdimbre
- B.- Guía hilos o antepecho trasero
- C.- Lizos y mallas
- D.- Batán
- E.- Peine
- F.- Templero
- G.- Antepecho
- H.- Enjulio de tela

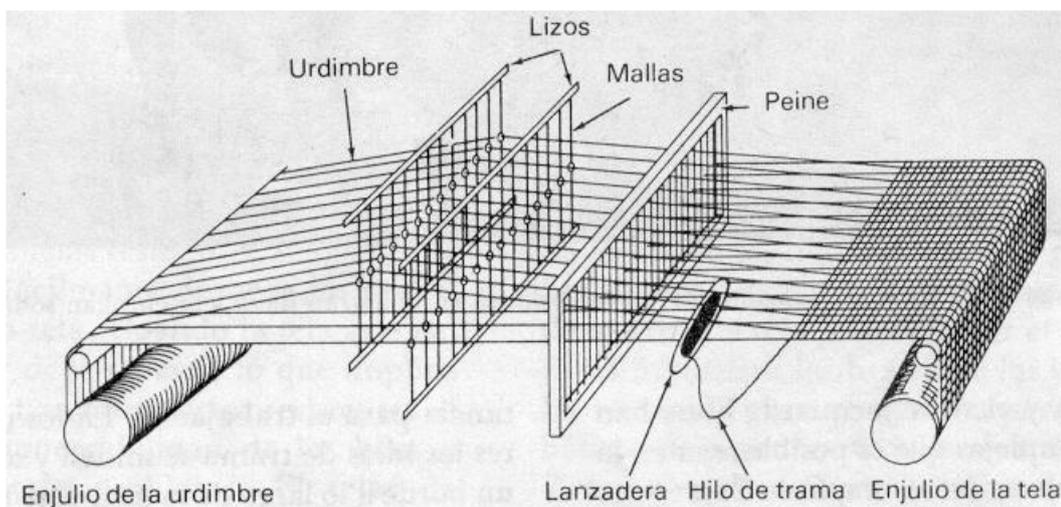


Figura 36. Partes principales del telar

Fuente: (Checa & Jurado, 2001)

Existe una gama de tejidos, siendo el tejido plano o tefetán el más utilizado para la elaboración del tejido de cabuya. Este tejido está formado por filamentos intercalados en donde las fibras de la trama pasan de manera regular y uniforme por encima y debajo de la urdimbre. Así el primer hilo correspondiente a la trama pasar por encima del primer hilo de la urdimbre, debajo del segundo, encima del tercero y así sucesivamente. En la próxima columna los hilos de trama pasaran debajo del primero de urdimbre, encima del segundo, debajo del tercero y así sucesivamente. Después se continúa con estas repeticiones de la primera secuencia en la tercera columna y por ende en todas las columnas impares. Estos tejidos tienen un mayor número de entrelazamientos por unidad de área (Tamayo, 2012).

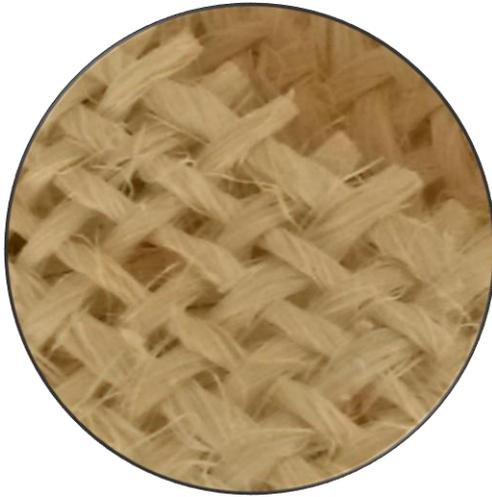
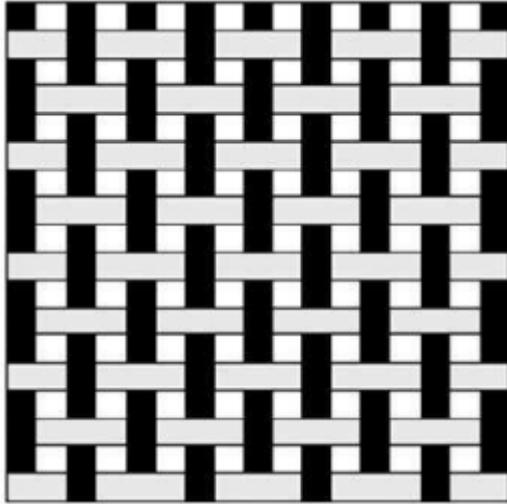


Figura 37. Estructura básica del tejido de cabuya

Fuente: (Tamayo, 2012)

1.4.5 DISEÑO DEL MATERIAL COMPUESTO

Para diseñar un material compuesto reforzado con fibras se deben tomar en consideración muchos factores como: longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de las fibras; propiedades de la matriz y la unión entre fibras y matriz (Stupenengo, 2011).

1.4.5.1 LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS

Como se mencionó anteriormente las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. Sus dimensiones se caracterizan mediante la relación de la longitud de las fibras y su diámetro.

Las fibras típicas tienen diámetros que varían desde 10 micrones hasta 150 micrones. A menudo las fibras se fracturan debido a defectos de superficie (Stupenengo, 2011).

Fabricar las fibras con un diámetro pequeño, le da a la fibra menos área superficial; en consecuencia, hay menos defectos que puedan propagarse durante el proceso o bajo carga. También se prefieren fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto; por tanto, a menos extremos, mayor capacidad de las fibras para soportar carga (Stupenengo, 2011).

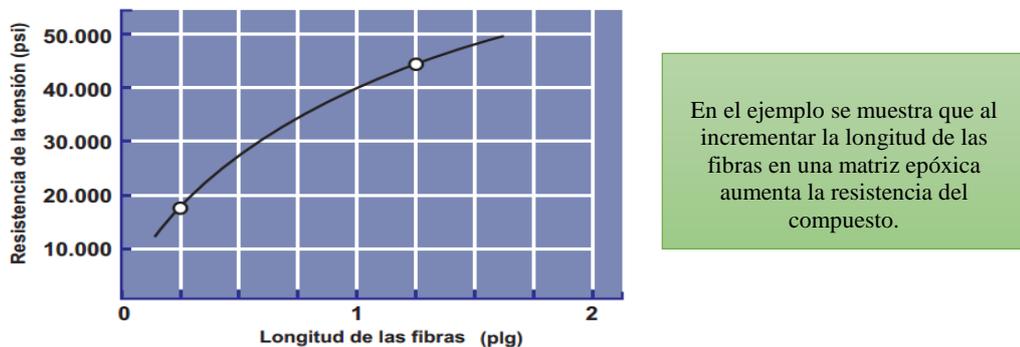


Figura 38. Curva longitud de fibras - Resistencia de la tensión

Fuente: (Stupenengo, 2011)

1.4.5.2 CANTIDAD DE FIBRAS

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto, por ser el que posee mayores propiedades mecánicas intrínsecas. Sin embargo, la fracción máxima de volumen de fibras es, aproximadamente 80%; más allá de esta cantidad, las fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz y la transferencia de carga deja de ser eficiente (Stupenengo, 2011).

1.4.5.3 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con orientaciones diversas. Las fibras cortas con una orientación aleatoria y una relación de forma típicas en el compuesto reforzado con fibras, se pueden introducir con facilidad en la matriz, dando un comportamiento relativamente isotrópico (Stupenengo, 2011).

Los arreglos unidireccionales con fibras largas e incluso continuas producen propiedades anisotrópicas, con resistencia y rigidez paralelas a las fibras, particularmente, buenas. Estas fibras se denominan, frecuentemente, como capas de 0° , indicando que todas las fibras están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado. Sin embargo, si la carga es perpendicular a las fibras, la orientación unidireccional origina propiedades pobres (Stupenengo, 2011).

Una de las características únicas de los compuestos reforzados con fibra es que sus propiedades se pueden diseñar para soportar condiciones de carga diferentes. En la matriz se pueden introducir fibras largas y continuas en varias direcciones, mediante arreglos ortogonales (capas de $0^\circ/90^\circ$) se obtienen buenas resistencias en dos direcciones perpendiculares. Disposiciones más complejas (como capas de $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$) proporcionan refuerzo en varias direcciones (Stupenengo, 2011).

En la figura 39 se puede observar que: (a) se pueden unir cintas que contienen fibras alineadas para producir una estructura compuesta unidireccional de varias capas y (b) las cintas que contienen fibras alineadas se pueden unir con diferentes orientaciones para producir un compuesto casi isotrópico. En este caso, se forma un compuesto $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$ (Checa & Jurado, 2001).

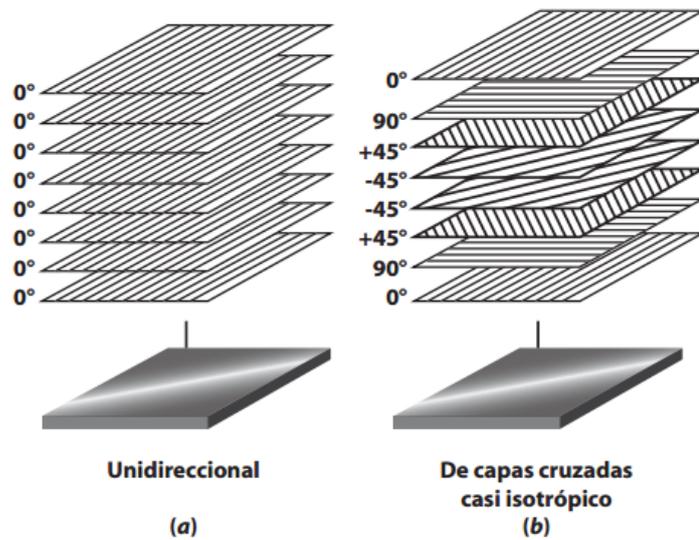


Figura 39. Orientación de las fibras

Fuente: (Stupenengo, 2011)

1.4.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL COMPUESTO

Dado que los materiales compuestos combinan dos materiales, las propiedades del material resultante combinarán de alguna manera las propiedades de cada uno de estos dos componentes.

La mayoría de los materiales compuestos poseen una alta resistencia mecánica al mismo tiempo que una baja densidad, lo cual permite realizar estructuras y dispositivos resistentes y a la vez livianos. A la relación entre la resistencia mecánica y la densidad se la denomina resistencia específica (Stupenengo, 2011).

Los cerámicos y los metales aventajan a los compuestos en mayor resistencia, mientras que los polímeros poseen en general la menor densidad, pero al evaluar ambas propiedades juntas, los materiales compuestos son la opción más conveniente. Esto se debe a que al utilizar una matriz cementicia logramos una baja densidad; mientras que las fibras aportan la resistencia mecánica, pero como son la fase minoritaria no agregan demasiado peso al material (Stupenengo, 2011).

Los materiales compuestos son preferidos en lugar de los metales; no por permitir el diseño de estructuras más livianas, sino porque nos permiten obtener materiales con mejor resistencia a los medios corrosivos.

Los metales son susceptibles a la corrosión en muchos medios agresivos, como los relacionados con la industria del petróleo. En cambio, los polímeros y los cerámicos son, en general, más resistentes, cuando no totalmente inertes en dichos medios. Entonces, si logramos un material compuesto con la resistencia mecánica y tenacidad adecuadas, se poseerá, además, la capacidad de resistir mejor las condiciones de servicio (Stupenengo, 2011).

1.4.7 UTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES EN MATERIALES COMPUESTOS

El creciente sentido ambientalista en todo el mundo ha exigido el diseño de materiales que cumplan con su función y que además sean amigables con el medio ambiente. Por ésta razón el uso de fibras naturales, en especial las vegetales como refuerzo de materiales compuestos se ha incrementado en los últimos años.

El interés que se tiene en el uso de las fibras vegetales viene dado también por las ventajas que tienen en comparación con las fibras tradicionales. En la tabla 3 se presenta algunas de las ventajas que poseen las fibras vegetales en comparación con las fibras de vidrio, las cuales son las más utilizadas en materiales compuestos (Páez, 2007)

Tabla 3. Comparación entre fibras vegetales y fibras de vidrio.

	Fibra Vegetales	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FV
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FV
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
CO ₂ neutro	Si	No
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (Páez, 2007)

Aunque las propiedades mecánicas de las fibras vegetales son inferiores a las que presenta una fibra de vidrio o fibras sintéticas, las propiedades específicas son muy competitivas. Las fibras vegetales son un 50% más livianas que las de vidrio y menos costosas (Páez, 2007).

1.4.8 APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

El instituto del concreto americano manifiesta que por lo menos tres fabricantes producen sistemas FRCM para la reparación y refuerzo de estructuras de hormigón y mampostería. Estos sistemas están basados en fibras de carbono, AR-vidrio, y basalto y en todos los casos, los fabricantes ponen a disposición polvos premezclados de mortero (ACI-549.4R-13, 2013).

El potencial de estos sistemas innovadores se ha evaluado en numerosas aplicaciones que implican la reparación y refuerzo de elementos estructurales y no estructurales en el sector de la construcción. Los materiales compuestos FRCM se han utilizado para reparar el techo con aberturas para conductos de alta temperatura. Estos conductos funcionaron a temperaturas consideradas demasiado

alto para los sistemas de reparación de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras (FRP) convencionales (Cevallos, 2015).

Otra aplicación que debe destacarse es el fortalecimiento de un puente de ferrocarril a lo largo de la línea ferroviaria Roma-Formia en Italia. Después de una caracterización completa de los constituyentes del sistema y un análisis y diseño detallado, utilizando un análisis de estado límite, se realiza entonces la aplicación de refuerzo en esta estructura. La superficie de concreto fue limpiada y reconstruida en lugares que mostraron signos de deterioro. A continuación, se aplica una primera capa de la matriz, seguido de la primera fase de la armadura. En este proyecto de fortalecimiento del puente, se ha previsto el uso de un sistema de FRCM de dos capas (Cevallos, 2015).

Para reforzar las estructuras de hormigón, los materiales compuestos FRCM también han demostrado su eficacia en otras aplicaciones, tales como las siguientes: fortalecimiento de revestimiento del túnel de hormigón armado a lo largo del Egnatia Odos Motorway en Grecia; el fortalecimiento de un caballete de un régimen de base de puente de ferrocarril en Nueva York; confinamiento de una base de apoyo de concreto de una pieza de equipo en una planta industrial en el medio oeste de Estados Unidos, las cuales permanecerán a una temperatura de 82 ° C (180 ° F); fortalecimiento de los pilares de puentes reforzados de hormigón de una estructura situada en Novosibirsk, Rusia; fortalecimiento de un edificio escolar en Karystos, Grecia; y el fortalecimiento de la cúpula de mampostería de la antigua iglesia de Panagia Crina en la isla de Chios, Grecia (Cevallos, 2015).

Un sistema de material compuesto con matriz cementicia y usando tejidos naturales fue desarrollado como parte de un amplio proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad de Calabria. En la actualidad, los proyectos de investigación, como el proyecto NATEX se han centrado en el desarrollo de los textiles adecuados para aplicaciones estructurales. Posibles campos de aplicación para estos textiles incluyen el sector del transporte, por ejemplo, ferrocarril y carretera, y la reparación y refuerzo de estructuras de mampostería. Parece poco probable que los compuestos de fibra natural, alguna vez puedan competir con los materiales compuestos reforzados con fibras de tela avanzada (Cevallos, 2015).

1.5 DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA

La interfase es un parámetro clave en el desarrollo de las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras y su microestructura tiene un impacto significativo en la durabilidad. En los resultados de muchos estudios se puede encontrar que tratan de este tema y basados en estos estudios, se llega a la conclusión que la degradación y el envejecimiento que se produce en los materiales compuestos reforzados con fibras son inmunes al ataque alcalino, y en la mayoría de los casos, se concluyó que la degradación de las propiedades mecánicas son atribuidas a la densificación (Cevallos, 2015).

La aplicación de fibras naturales como refuerzo de materiales de matriz cementicia implica efectos potencialmente nocivos sobre ciertos tipos de fibras. La mayoría de las fibras vegetales se forman a partir de lignina, celulosa y hemicelulosa, que tienen reacciones adversas interfaciales cuando está en contacto con matrices cementosas. En particular, las reacciones entre una matriz de cemento portland ordinario y la degradación de la lignina causa la fuerza compuesta. Esta degradación se produce porque el agua de los poros alcalina disuelve la lignina y la hemicelulosa existente en las láminas de medio de las fibras, lo que debilita el enlace entre las células de fibra individuales. Un mecanismo adicional es la hidrólisis alcalina de las moléculas de celulosa, lo que provoca la degradación de las cadenas moleculares, por lo tanto, conduce a una reducción en el grado de polimerización y menor resistencia a la tracción. Otro aspecto a considerar en materiales compuestos cementicios reforzados con fibras naturales es la carbonatación, que induce a la mineralización y los cambios microestructurales y modifica la interfaz de ser abierta y porosa, densa y homogénea contribuyendo al aumento de grietas y la reducción en la tenacidad, mediante la reducción de la capacidad de deformación de las fibras. Sobre la base de un análisis químico realizado por Toledo Filho, a un transporte considerable de productos químicos de cemento, principalmente productos de calcio, a las fibras durante los ciclos de humedecimiento y secado confirma la mineralización de fibra natural (Cevallos, 2015).

Para mejorar la durabilidad de los materiales compuestos de cementos reforzados con fibras naturales (NFRC), varios enfoques se han estudiado. Los tratamientos tales como modificaciones de la matriz de cemento portland a través de la adición de humo de sílice y la escoria de alto horno, la carbonatación de la matriz cementosa, pre-impregnación de las fibras en el humo de sílice en suspensión, recubrimiento de la fibra con el látex, entre otros, han disminuido los efectos del envejecimiento en fibras naturales, pero parece que el enfoque más favorable es el de reducir o reemplazar la porción del cemento portland en la matriz (Cevallos, 2015).

Los problemas de durabilidad de las fibras naturales se incrementan cuando la humedad está presente. Las fibras naturales son muy sensibles a los cambios en el contenido de humedad, que afectan tanto a las propiedades mecánicas de la fibra y sus dimensiones en términos del área de sección transversal. Cuando la fibra natural absorbe la humedad, pierde rigidez y ductilidad. Los cambios dimensionales observados en fibras naturales durante la humectación y el secado pueden llevar a cambios en la presión de contacto a través de la interfaz, provocando variaciones en la unión. Como resultado, las propiedades globales del material compuesto son muy sensibles al contenido de humedad, y la mayoría de la sensibilidad a la humedad de los materiales compuestos de fibras vegetales se puede atribuir a la naturaleza higroscópica de las fibras (Cevallos, 2015).

1.6 MÉTODOS PARA CONTRARRESTAR EL DEBILITAMIENTO DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA

En la experiencia cubana con el empleo de cabuya se menciona que para disminuir el debilitamiento de las fibras naturales en una matriz cementicia se puede escoger uno de los siguientes métodos (Macías, Artola, & Hernández, 2001):

a) Impregnación de las fibras con agentes bloqueadores.

Este método consiste en impregnar la fibra con agentes o sustancias bloqueadoras que pueden reaccionar con ciertos componentes de la fibra y dar como resultado otras sustancias los cuales son difíciles de disolver en un ambiente alcalino.

Existen diferentes agentes bloqueadores, entre los cuales están:

- Silicato de Sodio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$).
- Sulfito de Sódio ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).
- Sulfato de Magnesio (MgSO_4).
- Y otros magnesios, hierros, sales de barium, antioxidantes, etc.

b) Impregnación de las fibras con agentes repelentes al agua.

El objetivo de este tratamiento es el de impregnar la fibras con agentes repelentes al agua para evitar la penetración del agua alcalina en los poros y entonces impedir que las fibras se descomponga químicamente.

Los tratamientos se pueden realizar con resinas epóxicas y de poliésteres, productos bituminosos, barnices, asfaltos y otros. De esta forma se reduce la interacción entre las fibras y la matriz.

c) Impregnación de las fibras con agentes bloqueadores y repelentes al agua.

Es una combinación de las dos anteriores, las fibras primero son impregnadas con agentes bloqueadores, y luego son impregnados con agentes repelentes al agua.

d) Acciones relacionadas con la matriz cementicia.

Sellado de la matriz.

Consiste en reducir o eliminar completamente el sistema de poros de la matriz. De esta forma se busca que no exista el transporte de poros de agua alcalina hacia la fibra.

La permeabilidad del hormigón puede ser influenciada por mayor cantidad de finos, incrementando el contenido de cemento, adicionando polímeros, silicones o

esteratos en el agua. Otro método utilizado es adicionar pequeñas cantidades de cera al conformar la matriz. También se ha ensayado el sellar el sistema de poros al adicionar al hormigón esterato de zinc.

Ninguno de estos métodos es capaz de eliminar completamente el debilitamiento de la fibra en el hormigón.

Efectos de reducción de la alcalinidad.

El valor del PH en los poros de agua del hormigón normalmente excede de 13.

Una forma de disminuir la degradación está asociada con tratar de bajar dicho potencial de hidrogeno a valores por debajo de 12 – 12.5.

Se trata de adicionar al hormigón sustancias que bajen el PH tales como cenizas o usando cementos aluminosos pero esto es altamente costoso por lo que es más apropiado el uso de puzolanas.

e) Combinación de impregnación de fibras y cambios en la matriz cementicia.

Es función de lo explicado anteriormente y ha dado resultados en experiencias por cuatro años.

A manera de resumen podemos plantear:

- La degradación de las fibras naturales es debida a la alcalinidad del medio cementicio, reaccionando con componentes de las fibras. De esta forma su capacidad resistente decrece.
- El movimiento de los poros de agua alcalinos dentro del hormigón es muy influenciado por la humedad y la temperatura ambiente.
- Reemplazando sobre el 45 % del cemento con agregados finos se reduce el valor del PH lo cual incide positivamente en el no debilitamiento de la fibra.
- Es posible reducir la degradación de la fibra natural en el medio cementicio sellando el sistema de poros de la matriz e impregnando la fibra con diferentes sustancias.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 TIPO DE ESTUDIO

Los tipos de investigación que se utilizó en este proyecto son: exploratoria y descriptiva.

Se consideró una investigación exploratoria, debido a que el tema estudiado acerca de un material compuesto con fibras naturales a base de fibras de cabuya, ha sido poco analizado en nuestro país, pero con el sustento técnico de los ensayos que se realizaron se logró determinar la influencia que tiene sobre las propiedades mecánicas del concreto.

Se consideró una investigación descriptiva porque a más de tener conocimiento acerca de la calidad de los diferentes agregados utilizados para la elaboración de concreto en la ciudad de Riobamba, se contó con una amplia información acerca del comportamiento que tendrá el concreto al incorporar en su preparación un porcentaje de fibra de coco y el comportamiento al reforzarlo con un material compuesto con fibras de cabuya; los cuales podrán ser utilizados con mayor confiabilidad y seguridad en construcciones futuras.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1 POBLACIÓN

La población considerada para esta investigación son los materiales compuestos utilizados para reforzar elementos estructurales de concreto que se encuentran en nuestro mercado.

2.2.2 MUESTRA

Para la presente investigación se tomó como muestra los materiales compuestos de matriz cementicia reforzado (FRCM) con tejidos de cabuya.

Para estudiar la muestra, se utilizaron un total de 20 cilindros, 20 vigas, 10 cubos y 20 viguetas de material compuesto (ver Tabla 4), los mismos que fueron ensayados para determinar sus características mecánicas.

Tabla 4. Muestra de la investigación.

CUBOS	
Mortero	8
VIGUETAS	
Mortero	10
MATERIAL COMPUESTO FRCM	
Con tejido de fibras de cabuya (3 capas)	10
Sin refuerzo	10
CILINDROS	
Concreto Simple	5
Concreto Simple + FRCM	5
Concreto Simple + Fibra de coco	5
Concreto Simple + Fibra de coco + FRCM	5
VIGAS	
Concreto Simple	5
Concreto Simple + FRCM	5
Concreto Simple + Fibra de coco	5
Concreto Simple + Fibra de coco + FRCM	5
Total de elementos	78

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **Variable independiente**

Dosificación del hormigón con fibras de coco y número de capas de tejido de cabuya para preparar el material compuesto

Tabla 5. Operacionalización de la variable independiente.

DIMENSIONES	CONCEPTUALIZACION	INDICADORES	TECNICAS	INSTRUMENTOS
Características de las fibras de coco y cabuya.	Trabajo de investigación para conocer las propiedades físicas y mecánicas de las fibras.	Investigaciones y tesis realizadas a nivel local e internacional.	Observación	Trabajos de Investigación. Información de páginas electrónicas.
Propiedades de los materiales pétreos.	Trabajos realizados en la Universidad Nacional de Chimborazo para determinar los tipos de materiales pétreos con propiedades favorables para el diseño del concreto.	Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo	Ensayos de los materiales en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la UNACH.	Informes y tesis de los estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo. Instrumentos de Laboratorio
Costos de Materiales	Solicitar costos de materiales	Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo	Comparación de Costos entre los proveedores investigados	Tablas comparativas.
Número de Probetas	Establecer el número de probetas necesarias para el cumplimiento del objetivo propuesto.	Asesoría del tutor de tesis.	Métodos Estadísticos	Curvas, Graficas y tablas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

- **Variable dependiente**

Comportamiento mecánico del concreto.

Tabla 6. Operacionalización de la variable dependiente.

DIMENSIONES	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Comportamiento a flexión y compresión del concreto reforzado con fibras de coco.	Determinación de esfuerzos a flexión y compresión mediante ensayos en laboratorio.	Resultados obtenidos del procesamiento de datos.	Método de cálculo Estadístico. Análisis a Flexión de Vigas	- Software - Norma ASTM C469 - Norma ASTM C293
Comportamiento a flexión y compresión del concreto reforzado y material compuesto	Determinación de esfuerzos a flexión y compresión mediante ensayos en laboratorio.	Resultados obtenidos del procesamiento de datos.	Método de cálculo Estadístico. Análisis a Flexión de Vigas	- Software - Norma ASTM C469 - Norma ASTM C293

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.4 PROCEDIMIENTOS

- 1) Ensayos para la caracterización de la fibra de cabuya
 - a) Prueba SEM
 - b) Densidad específica
 - c) Masa por unidad de área
 - d) Densidad lineal
 - e) Porcentaje de absorción
 - f) Resistencia a tracción de: hilo, hilo con resina y tejido con resina
 - g) Determinación del área transversal
 - h) Tenacidad
 - i) Espesor equivalente
 - j) Módulo de Young

- 2) Ensayos para la caracterización de la fibra de coco
 - a) Prueba SEM
 - b) Densidad específica
 - c) Porcentaje de absorción
 - d) Ensayo de tracción
 - e) Módulo de Young

- 3) Ensayos para la caracterización de la matriz cementicia
 - a) Agregado fino
 - i) Análisis granulométrico
 - ii) Porcentaje de absorción
 - iii) Masa unitaria suelta
 - iv) Masa unitaria compactada
 - b) Dosificación
 - c) Fluidez
 - d) Contenido de aire
 - e) Densidad en estado fresco y endurecido
 - f) Tiempo de fraguado
 - g) Ensayo de resistencia a compresión 7 y 28 días
 - h) Ensayo de resistencia a flexión 7 y 28 días

- 4) Ensayos para la caracterización del material compuesto reforzado con tejidos de fibra de cabuya
 - a) Porcentaje de absorción
 - b) Absorción por capilaridad
 - c) Densidad
 - d) Resistencia a la tracción 28 días con fibras de cabuya y mortero
 - e) Resistencia a la flexión 28 días con fibras de cabuya y mortero
 - f) Deflexión teórica y experimental
 - g) Módulo de Young

- 5) Ensayos para la caracterización del concreto simple
 - a) Dosificación
 - b) Análisis granulométrico de:
 - i) Agregado fino
 - ii) Agregado grueso
 - iii) Micro sílice
 - c) pH en estado endurecido
 - d) Asentamiento
 - e) Ensayo de resistencia a compresión a los 7, 14 y 35 días

- f) Ensayo de resistencia a flexión a los 7, 14 y 35 días
-
- 6) Ensayos para la caracterización del concreto simple reforzado con fibras de coco
 - a) pH en estado endurecido
 - b) Absorción por capilaridad
 - c) Densidad
 - d) Ensayo de resistencia a compresión a los 35 días
 - e) Ensayo de resistencia a flexión a los 35 días
-
- 7) Ensayos para la caracterización del concreto simple más material compuesto reforzado con fibras naturales de cabuya
 - a) Ensayo de resistencia a compresión a los 35 días
 - b) Ensayo de resistencia a flexión a los 35 días
-
- 8) Ensayos para la caracterización del concreto simple reforzado con fibras de coco más material compuesto reforzado con fibras naturales de cabuya
 - a) Ensayo de resistencia a compresión a los 35 días
 - b) Ensayo de resistencia a flexión a los 35 días

2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario realizar ensayos de laboratorio, con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales utilizados para la fabricación del FRCM y el concreto reforzado con fibras de coco.

2.5.1 MATERIALES

Las fibras de cabuya estudiadas en esta investigación fueron extraídas de plantas cultivadas en Colombia. Las muestras se obtuvieron de costales de tejido bidireccional o tafetán como se indica en la figura 40.



Figura 40. Tela de cabuya bidireccional.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Para proteger a la fibra del deterioro dentro del material compuesto se decidió impregnarlas con resina poliéster transparente el cual se mezcla con un catalizador llamado en el mercado como *meck peróxido* que endurecerá a la resina. Para una dosificación adecuada se debe usar 15 cm³ de catalizador por cada 1000 gramos de resina.

Junto a la resina se mezcló arena tamizada de río lo cual nos ayuda a dar rugosidad a la fibra para que se adhiera de mejor forma a la matriz cementicia.



Figura 41. Resina poliéster transparente y catalizador.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 42. Tejido de cabuya recubierto con resina.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 43. Hilos de cabuya recubiertos con resina.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Las fibras de coco utilizadas fueron producidas en el cantón San Lorenzo de la ciudad de Esmeraldas y suministradas como monofilamentos, observar figura 44.



Figura 44. Fibra de coco en forma de monofilamentos.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Para la elaboración de la matriz cementicia se utilizó cemento portland puzolánico tipo IP elaborado por la empresa Cemento Chimborazo, arena tamizada del pasante N° 20 del río de Penipe y Plastocrete 161 HE el cual es un aditivo líquido de color ambar oscuro, que nos permite aumentar la manejabilidad de la mezcla; la dosificación varía entre 0.2% el 2.5% del peso del cemento (Construye-Ecuador, 2011)



Figura 45. Aditivo Plastocrete 161 HE.

Fuente: (Construye-Ecuador, 2011)

Por último para la mezcla del concreto se utilizó Cemento Chimborazo, agregados provenientes de la mina de Cerro Negro; como agregado fino se utilizó polvo de piedra y como agregado grueso material pasante del tamiz de 1 pulgada. En la

preparación del concreto se adicionó Sika Fume (ver figura 46), el cual es un aditivo en polvo fino, color gris, con base en micro sílice, que al reaccionar con la cal libre forma una estructura densa y resistente al ataque de aguas y ambientes agresivos (SIKA, 2012) lo que nos ayuda a proteger la fibra de coco de la desintegración.



Figura 46. Sika Fume.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRAS

2.5.2.1 PRUEBA SEM

La microscopía electrónica de barrido o SEM permite la observación y caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos en escalas nanométricas y micrométricas (CYTI, 2010), por ello este tipo de prueba fue utilizada para determinar el diámetro, rugosidad y las características de la sección transversal que tiene la fibra e hilo de cabuya y la fibra de coco utilizadas en el concreto reforzado con fibras (FRC) y en el FRCM. Además se hizo la prueba SEM para conocer el diámetro y la forma que presentan las partículas del cemento y micro sílice.

2.5.2.2 ENSAYO DE DENSIDAD ESPECÍFICA

Se utilizó la norma (ASTM-D792-08, 2008) para determinar la densidad específica de las fibras de cabuya y coco. Este proceso consiste en que muestras secas con pesos de 0.5 a 2 gramos fueron sumergidas en agua destilada por 24 horas. Luego de este tiempo se sacan las fibras del agua destilada y con papel absorbente se sacará el exceso de agua que existe en ellas. Con la ayuda de una estructura, la cual consta de una balanza y una castilla (ver fig.47), se determinó el peso de la fibra sumergida.

Para el cálculo de la densidad específica de las fibras se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Densidad}}{A}$$

Donde:

A: masa de muestra al aire seca

W: masa canastilla sumergida

B: masa muestra sumergida + canastilla



Figura 47. Ensayo de densidad específica.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.2.3 ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA

Utilizando la norma (ISO:3374, 2000) se realizó el ensayo de masa por unidad de área, en donde se cortaron muestras de tejido de cabuya de 10x10 cm con el mismo número de hilos en los dos sentidos (24 hilos), las mismas que fueron secadas en el horno por 24 horas para posteriormente pesarlas. Su unidad de medición es gr/cm^2 .

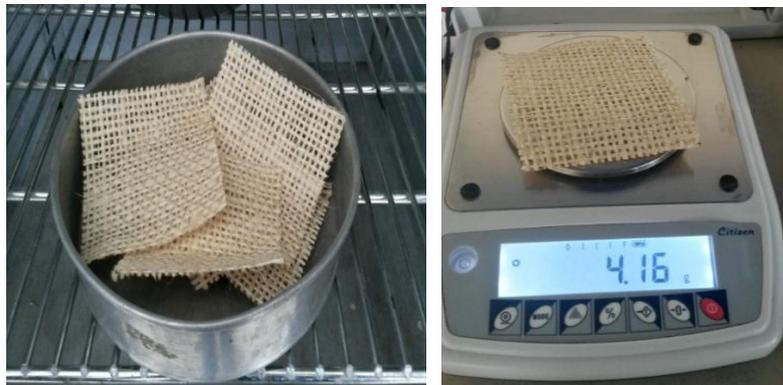


Figura 48. Ensayo de masa por unidad de área.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.2.4 ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL

La densidad lineal de la fibra de cabuya se calculó de acuerdo a la norma (ISO:1889, 2009), donde se midieron muestras de hilo de 1.50 m de longitud y se las pesó. Su unidad de medición es Tex (g/km).



Figura 49. Ensayo de densidad lineal.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

2.5.2.5 ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LAS FIBRAS

El ensayo se realizó basado a la norma (ISO3344, 1997), en donde se tomaron muestras de fibra de coco y de cabuya las cuales fueron secadas en el horno a una temperatura de 50 °C por 24 horas, posteriormente fueron pesadas y sumergidas en agua destilada por 24 horas más. Una vez cumplido este periodo de tiempo se sacan las fibras del agua destilada y sacando el exceso de agua que exista en ellas se vuelven a pesar.

Para determinar el porcentaje de absorción se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%Asorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco}$$

Donde:

Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca.





Figura 50. Ensayo de absorción de las fibras - Peso seco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



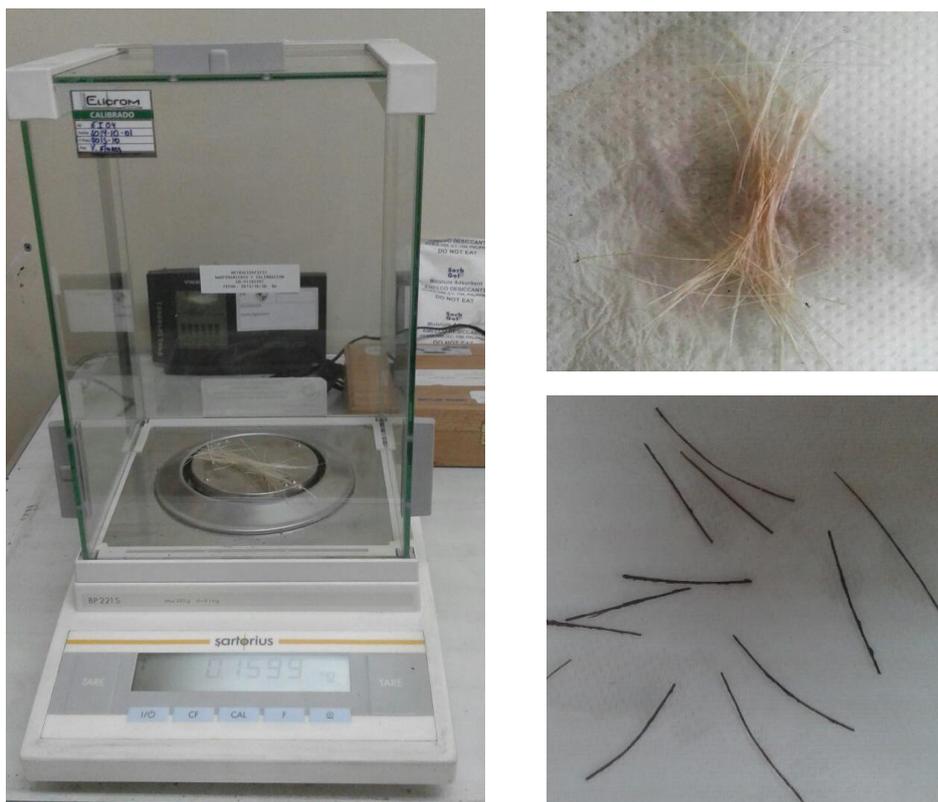


Figura 51. Ensayo de absorción de las fibras - Peso SSS.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.2.6 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA FIBRAS

Para estudiar el comportamiento a tracción de las fibras de coco y los hilos de cabuya sin resina se utilizó la norma (ISO:2062, 2009), para los hilos con resina (ISO:10618, 2004), y para los tejidos con resina (ISO:4606, 1995).

Las muestras de cabuya utilizadas para este ensayo fueron hilos de 50 cm de longitud cortados de las muestras del ensayo de densidad lineal, y tejidos de 5 cm de ancho por 25 cm de longitud todas con el mismo número de hilos. Además se realizaron muestras a las que se impregnó con resina a los hilos y a los tejidos. Para obtener las muestras de las fibras de coco se cortaron monofilamentos de 16 a 21 cm de longitud.

Para evitar el deslizamiento durante la prueba, los extremos de las muestras del tejido de cabuya fueron pegadas a placas de acero con Sikadur-32 Primer N y los

extremos de los hilos fueron colocados en medio de dos placas unidas con dos tornillos, los cuales nos dan el efecto de las mordazas de la máquina de prueba. Mientras que para las muestras de fibra de coco se utilizaron placas de aluminio donde se pegó los extremos de las muestras con masilla de carro.

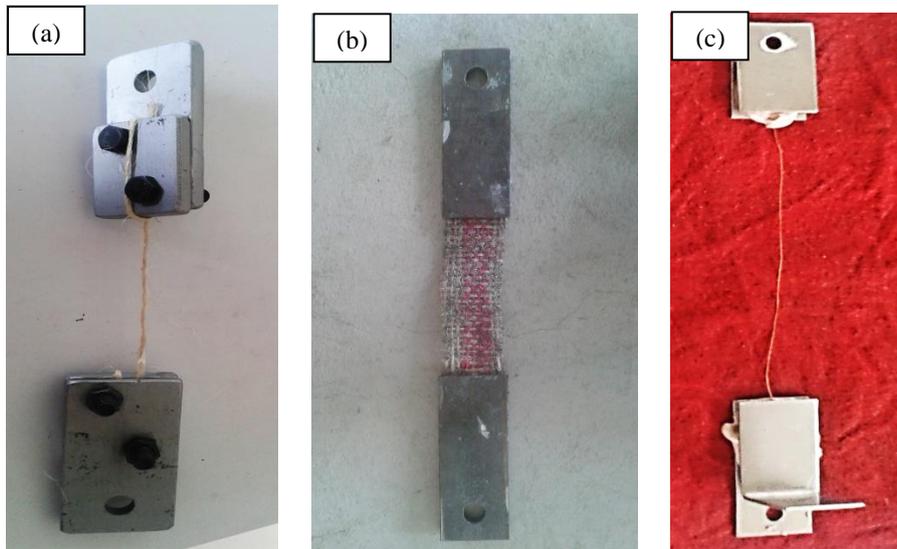


Figura 52. Ensayo de tracción de las fibras, preparación de muestras: (a) y (b) cabuya, (c) coco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

El equipo utilizado para el ensayo de tracción fue la máquina multi-proposito "Master Load Tester", la misma que fue adaptada con una placa base con cuatro agujeros por donde pasan tornillos que permiten que la placa no se mueva al momento del ensayo, para colocar las muestras se hizo sobre la placa base un adaptador con dos orificios por donde pasa un tornillo, además se elaboró otro adaptador con rosca el cual va ir en la parte superior de la máquina (ver figura 53).

Los datos obtenidos se grabaron automáticamente en una computadora utilizando un transductor de deformación tipo LVDT y con una velocidad de la máquina de 250 mm/min para hilos de cabuya y fibra de coco, 20 mm/min para tejidos con resina



Figura 54. Ensayo de granulometría de agregado fino.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.2 ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA Y MASA UNITARIA COMPACTADA

Para determinar la masa unitaria suelta (MUS) y la masa unitaria compactada (MUC) de la arena tamizada se basó a la norma (INEN:858, 2010). Recalcando que el método utilizado para hallar la MUS fue el procedimiento por paladas que consiste en llenar el molde hasta el tope con ayuda de un cucharón, el agregado debe colocarse desde una altura máxima de 5 cm por encima de la parte superior del molde para después nivelar con una regleta la superficie del agregado, como se indica en la figura 55 (a).

Mientras que para hallar la MUC se utilizó el procedimiento por varillado, para el cual se debe llenar el molde en tres capas compactando cada una de ellas con 25 golpes de la varilla de compactación distribuyéndolos uniformemente. En cada compactación no se debe permitir que la varilla penetre la capa anterior, como se observa en la figura 55 (b).

Para los dos procedimientos descritos anteriormente se debe determinar el peso del molde y el peso del molde con el agregado fino.

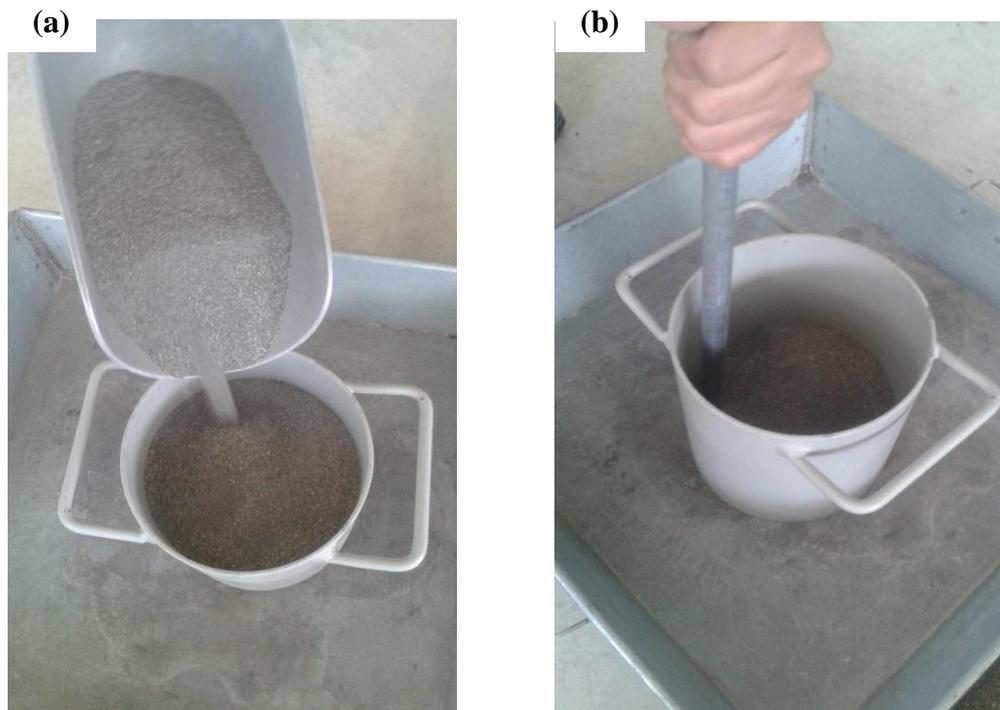


Figura 55. Ensayo de: (a) MUS, (b) MUC.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

La fórmula utilizada para el cálculo es:

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

Donde:

M: masa unitaria compactada, masa unitaria suelta del árido

G: peso del árido más molde

T: peso del molde

V: volumen del molde

2.5.3.3 ENSAYO DE DENSIDAD DEL AGREGADO FINO.

La densidad de la arena tamizada se la calculó con la ayuda de un molde cilíndrico al cual se le determinó el volumen y peso, con un cucharón se procedió a llenar el

molde hasta su tope considerando que la muestra debe ser puesta desde una altura de 5 cm aproximadamente medida desde el borde superior del molde. Finalmente se nivela con ayuda de una regleta la superficie del agregado y se pesa el molde más la muestra.



Figura 56. Ensayo de densidad del agregado fino.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

Bajo la norma (INEN:856, 2010) se pudo determinar el porcentaje de absorción de la arena tamiza. Este ensayo se comenzó colocando en un recipiente 1501 g de arena tamizada para ser secada en el horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas.

Posteriormente se dejó que la muestra se enfríe a temperatura ambiente para luego adicionarle agua y dejarla que repose por 24 horas, una vez cumplido con este tiempo se botó el exceso de agua evitando la pérdida de finos, a continuación se extendió la muestra sobre una superficie plana, no absorbente, para moverla frecuentemente con las manos y asegurar un secado homogéneo y así obtener una humedad superficial.

Para lograr la humedad superficial en la arena se utilizó un molde metálico en forma de cono truncado y un compactador metálico con una cara compactadora circular y plana (ver figura 57).

Manteniendo firmemente el molde con la mano sobre una superficie lisa no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, se colocó en el molde en forma suelta una porción de la arena parcialmente seca hasta llenarlo, después se compactó la muestra uniformemente con 25 golpes ligeros, teniendo en cuenta que el compactador debe estar a una altura de 5 mm sobre la superficie de la muestra. Se removió la arena que cayó alrededor de la base y se levantó el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía está presente, la arena mantendrá la forma del molde y se deberá repetir el proceso descrito anteriormente, pero si se desmorona ligeramente ello indica que se ha alcanzado la condición de superficie seca.

Para finalizar este ensayo se tomó la muestra de la arena que se encuentra en condición de superficie seca y se la pesó para posteriormente ser llevada al horno y ser secada y pesada después de 24 horas.

La fórmula para hallar el porcentaje de absorción de la arena es:

$$\%Asorción = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Donde:

Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca.



Figura 57. Ensayo de absorción del agregado fino.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.5 DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

Para determinar la dosificación óptima de la matriz cementicia que se utilizó para la elaboración de material compuesto reforzado con tejido de fibras de cabuya se estudiaron dos diferentes dosificaciones:

- Dosificación 1

Cemento	Arena	a/c
1	2,75	0,45

- Dosificación 2

Cemento	Arena	a/c
1	2	0,40

Para la dosificación del Plastocrete se utilizó 10 gramos por cada kilogramo de cemento.

2.5.3.6 ENSAYO DE FLUIDEZ EN MORTEROS

Este tipo de ensayo nos ayuda a conocer si el contenido de agua que se encuentra en la mezcla es suficiente para proporcionar fluidez en el mortero, para esto se utilizó la norma (INEN:2502, 2009).

El equipo utilizado fue una mesa de flujo el cual consiste en una estructura integral de hierro rígido y de un plato circular rígido con un diámetro de 255 mm y 8 líneas equidistantes, también se hizo uso de un molde cónico, un calibrador, un compactador y un enrasador, como se observa en la figura 58.

Para comenzar el ensayo se colocó el molde cónico en el centro de la mesa de flujo y se lo llenó con mortero en dos capas las cuales fueron compactadas con 20 golpes con el compactador, luego se niveló la muestra del mortero con el borde

del molde mediante el enrasador. Se limpió y secó la superficie de la mesa, removiendo con cuidado el agua que esté alrededor del borde del molde. Luego se dejó reposar la muestra por 1 min, para después levantar el molde e inmediatamente dejar caer la mesa 25 veces en 15 segundos. Después de haber terminado con ésta operación, con ayuda del calibrador, se mide el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas que se encuentran trazadas en la superficie del plato, registrando cada uno de los diámetros.



Figura 58. Equipo para el ensayo de fluidez en morteros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 59. Ensayo de fluidez en morteros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.7 CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS

Con referencia a la norma (ASTM-C231, 2003) se halló el contenido de aire en el mortero. El método que se utilizó fue el método de presión con medidor tipo B (ver figura 60).

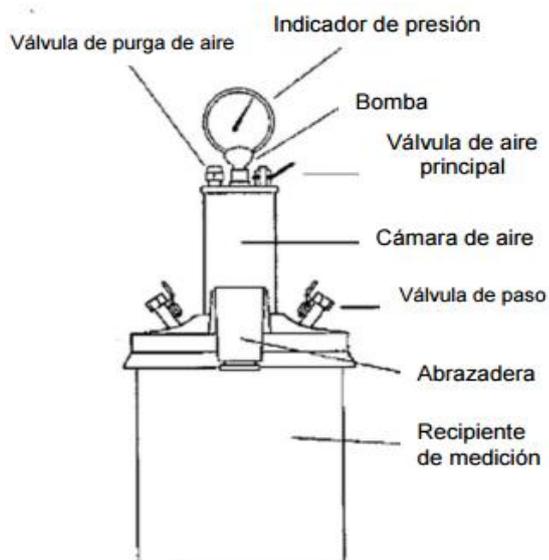


Figura 60. Diagrama esquemático del medidor tipo B.

Fuente: (ASTM-C231, 2003)

La operación principal del medidor tipo B es el de igualar el volumen de aire y la presión conocida en una cámara de aire hermética con el volumen de aire desconocido de la muestra de mortero. La aguja en el medidor de presión se calibra en términos de porcentajes de aire de presión en la cual se igualan ambas presiones (ASTM-C231, 2003).

Utilizando un recipiente cilíndrico de 76 mm de diámetro y 88 mm de altura, el cual debe estar humedecido y en una superficie plana, se colocó cuidadosamente con un cucharón el mortero en 3 capas de igual volumen para luego con la varilla compactar cada capa con 20 golpes y golpear firmemente con el mazo los lados del recipiente 15 veces después de compactar cada capa. Todo esto se lo hizo con la finalidad de evitar que las burbujas de aire queden atrapadas en el interior de la

muestra. Después se enraso el mortero utilizando la regla enrasadora y se limpió el exceso de muestra que existía en el borde del recipiente.

Posteriormente se limpió y se humedeció el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base, las mordazas se sujetan dos a la vez y en forma de cruz. Se abrió ambas llaves de purga a través de la cubierta para inyectar agua a través de una de ellas hasta que salga por la otra, mientras se inyecta agua se mueve y golpea el medidor para asegurar que todo el aire sea expulsado. Luego se procedió a cerrar la válvula de escape de aire y se bombeó aire dentro de la cámara hasta que el manómetro este en la línea de presión inicial, después se cerró las dos llaves de purga, se abrió la válvula principal entre la cámara de aire y el recipiente y se leyó el porcentaje de aire golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.

Para finalizar el ensayo y remover la cubierta, se cerró la válvula de aire principal y se abrió las llaves de purga.



Figura 61. Ensayo de contenido de aire en mortero.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.8 DENSIDAD DEL MORTERO

2.5.3.8.1 ESTADO FRESCO

La densidad del mortero en estado fresco se determinó utilizando la norma (ASTM-C138, 2009). Con un molde cilíndrico de 160.8 mm de altura y 153.8 mm de diámetro interno al cual se lo pesó. Con ayuda de un cucharón se llenó el molde con la muestra hasta su tope. Finalmente se niveló con ayuda de una varilla la superficie del mortero y se pesó el molde más la muestra.

La fórmula utilizada fue:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de la Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$$

2.5.3.8.2 ESTADO ENDURECIDO

Para hallar la densidad del mortero en estado endurecido se tomó como referencia la norma (INEN:488, 2009); se tomaron muestras en cubos a los que se calculó el volumen y peso de cada una de ellas. La fórmula que se utilizó fue la misma que se mencionó en el ítem 2.5.3.8.1

2.5.3.9 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO (MÉTODO VICAT)

Basado a la norma (INEN:158, 2009) se realizó el ensayo de tiempo de fraguado con el método A (aparato manual de aguja de vicat).

El aparato vicat (Fig.62) consta de una armazón A, una varilla removible B, con un extremo punzante C, y el otro extremo que contiene una aguja de acero desmontable D. La varilla B, es reversible y puede ser sujeta en cualquier posición deseada por un tornillo fijador E, tiene un indicador ajustable F, el cual se mueve sobre una escala graduada en milímetros, la que está pegada al armazón A (INEN:158, 2009).

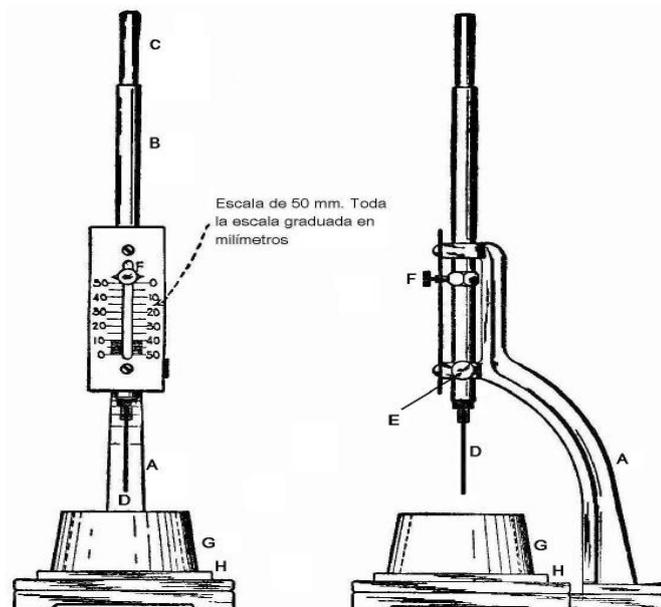


Figura 62. Esquema del aparato de vicat.

Fuente: (INEN:158, 2009)

Una vez preparado el mortero se coloca la muestra en el molde cónico, para después poner el extremo más ancho del molde sobre la placa no absorbente. Con una espátula se enseró la muestra, dejando lisa la superficie en donde se tomó las medidas. Inmediatamente después del moldeo se dejó reposar el espécimen de ensayo por 30 min sin ser perturbado. Se determinó la penetración de la aguja y la temperatura y humedad en este momento y cada 20 min de allí en adelante hasta que se obtuvo una penetración de 25 mm o menor (ver figura 63).

Para realizar el ensayo de penetración, bajar la aguja D de la varilla B hasta que tope la superficie del mortero. Ajustar el tornillo de presión E y encerar el indicador F en el extremo superior de la escala, o tomar una lectura inicial. Soltar la varilla aflojando rápidamente el tornillo de presión E y permitir a la aguja descender; luego tomar la lectura para determinar la penetración. Realizar cada ensayo de penetración por lo menos a 5 mm de distancia de cualquier penetración previa y por lo menos a 10 mm de distancia de la cara interior del molde. Registrar los resultados de todos los ensayos de penetración y, determinar el tiempo en que se obtiene una penetración de 25 mm o menor, el porcentaje y la temperatura. El tiempo transcurrido cuando la penetración es de 25 mm se conoce como tiempo de fraguado inicial vicat (INEN:158, 2009).

A la primera medición de la penetración de 25 mm o menor verificar el fraguado final con la realización de dos mediciones de penetración adicionales en áreas diferentes de la superficie del espécimen. Obtener las mediciones de verificación dentro de 90 segundos de la primera lectura de tiempo de fraguado final. El lapso entre el contacto.



Figura 63. Ensayo de tiempo de fraguado.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.10 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS

El método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros es referenciado con la norma (INEN:488, 2009).

Para la elaboración de las muestras se utilizaron cubos de 50 mm de arista a los cuales se les aplicó un agente desencofrante. Una vez elaborada las mezclas de mortero con las dosificaciones antes mencionadas, se procedió a llenar los moldes en dos capas, cada capa fue compactada 32 veces en 4 rondas y en cada ronda se compactó con 8 golpes en dirección perpendicular a la anterior como se indica en la figura 64. Se debe completar 4 rondas de apisonado del mortero en un cubo antes de pasar al siguiente. A finalizar la compactación se retiró con una espátula el exceso de mortero que hay en el borde del molde y se alisó la superficie.

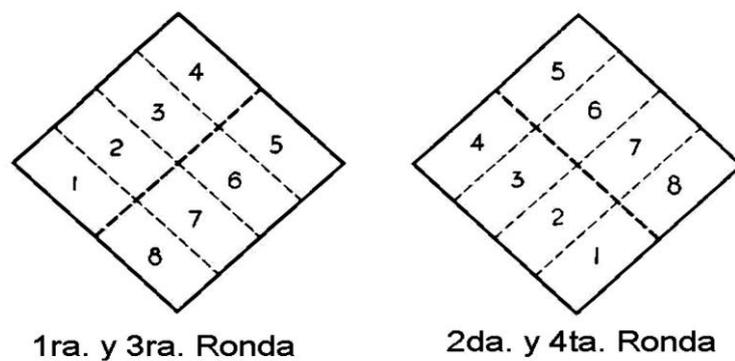


Figura 64. Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo

Fuente: (INEN:488, 2009)



Figura 65. Elaboración de muestras para el ensayo a compresión en morteros

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Completado el moldeo se colocaron las muestras dentro de un lugar cubierto para evitar caídas de gotas de agua, en donde las caras superiores estuvieron expuestas al aire húmedo por 24 horas. Cumplido este tiempo se desencofró las muestras de mortero y fueron sumergidas en la piscina de curado.

Para establecer que dosificación es óptima para la elaboración del material compuesto con fibras de cabuya, de las mencionadas en el ítem 2.5.3.5, se procedió a determinar la resistencia a compresión de cada una de las muestras elaboradas con ayuda de la máquina universal, para ello se retiraron los especímenes de la piscina de curado a los 7 y 28 días. Cada muestra fue secada hasta una condición de superficie seca y se eliminó los granos sueltos de arena u otras incrustaciones para luego tomar sus medidas.

Para colocar las muestras en la máquina de ensayo se debe tomar en cuenta que las caras de los especímenes debe estar completamente niveladas por lo que para el ensayo se decidió utilizar las caras que estaban en contacto con las superficies planas del molde. Con todo esto se logró obtener buenos resultados.

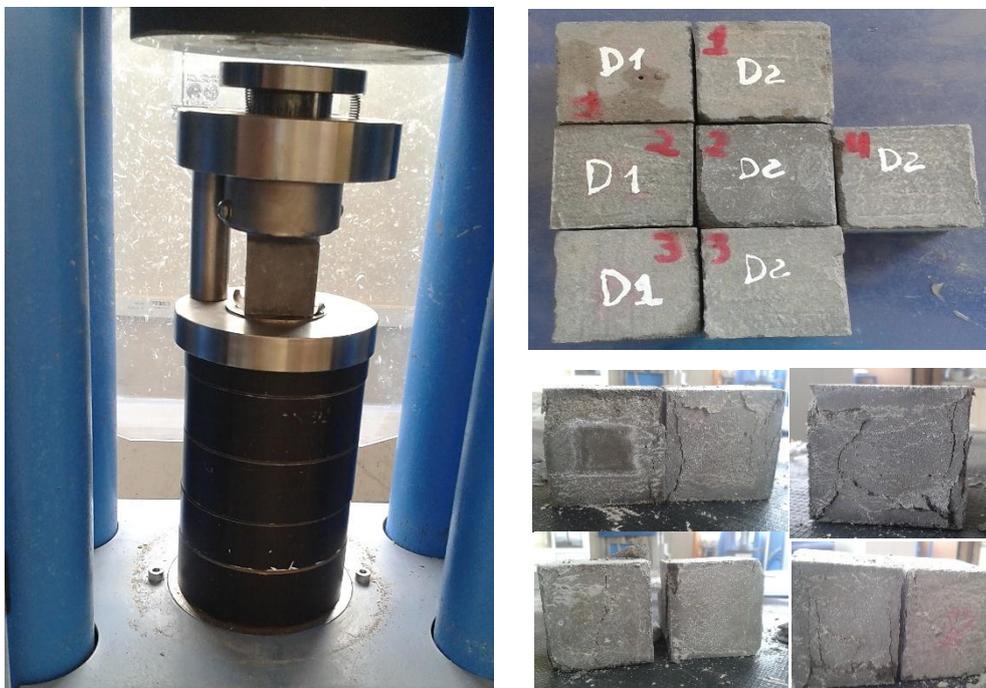


Figura 66. Elaboración de muestras para el ensayo a compresión en morteros

Fuente: Andrea Estrella Ch.

La fórmula que se utilizó para el calcular la resistencia a compresión fue:

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

R: resistencia a la compresión

F: carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo

A: área de sección transversal

Escogida la dosificación ideal se realizó 8 nuevas muestras de mortero a los cuales se los ensayó a los 28 días y se analizó la deformación que presentaban 4 especímenes al aplicarle una fuerza o carga a compresión.

Para determinar la deformación se utilizó un deformímetro análogo o reloj comparador con un rango de medición de 0.01 mm, adaptado con un soporte magnético el cual fue colocado en la maquina universal, como se observa en la figura 69. El reloj comparador es un instrumento con un dial que mide las deformaciones superficiales de cualquier pieza, consta de una barra central (husillo cilíndrico) que en el extremo inferior tiene un palpador y en el superior una cremallera dentada, la cual, a su vez, está conectada a un tren de engranajes que transmiten el movimiento a dos agujas en el reloj (aguja principal y la aguja cuenta vueltas). Éstas rotan sobre una escala reglada en la caratula para representar las deformaciones de las piezas (ver fig. 67) (Alirio, 2008).



Figura 67. Partes de un deformímetro análogo.

Fuente: (Alirio, 2008)

Para realizar la lectura de la deformación de las muestras, se debe saber que la manecilla de menor tamaño indica los milímetros, y la mayor las centésimas de milímetro (Ver figura 68)

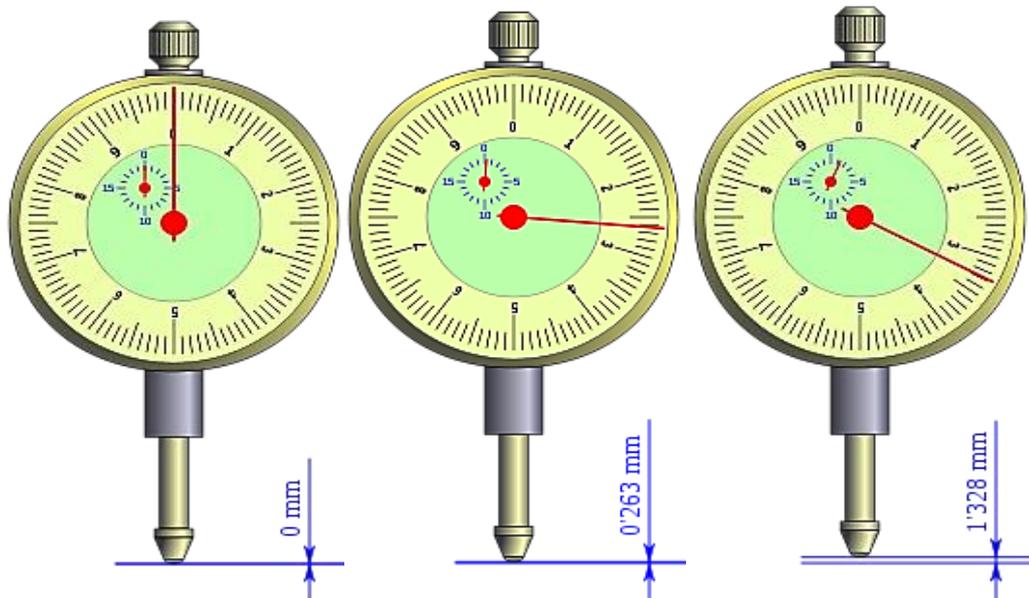


Figura 68. Lectura de un deformímetro análogo.

Fuente: (Wikipedia, 2015)



Figura 69. Ensayo de deformación a compresión en morteros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.3.11 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MORTEROS

Las muestras realizadas para la determinación de la resistencia a la flexión de morteros se efectuó bajo la norma (INEN:198, 2009); donde se utilizaron prismas de 40 x 40 x 160 mm los mismos que fueron llenado en dos capas con volúmenes iguales para luego ser compactadas 12 veces en 3 rondas de 4 golpes cada una, siguiendo la dirección indicada en la figura 70.

1	2
4	3

Figura 70. Orden de apisonamiento en el molde de los especímenes.

Fuente: (INEN:198, 2009)

El almacenamiento de los prismas de ensayo es igual que el procedimiento de almacenado de las muestras para el ensayo de resistencia a compresión en morteros.

La determinación del esfuerzo de flexión en el mortero se la hizo con referencia a la norma (ASTM-C78, 2009), donde se utilizó una vigueta simplemente apoyada con carga en el centro de la luz, como se observa en la figura 71.

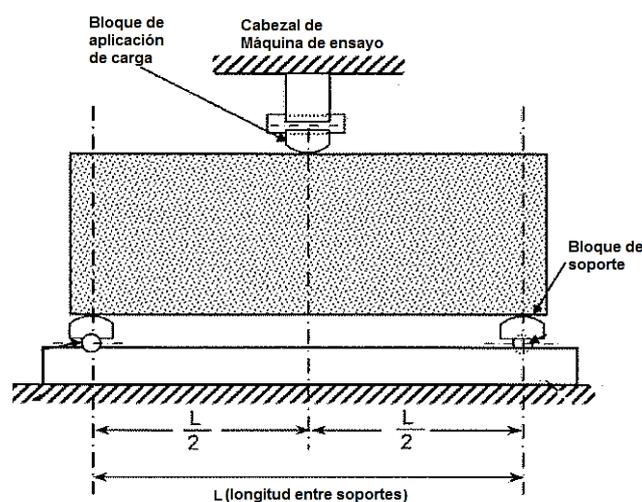


Figura 71. Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.

Fuente: (ASTM-C78, 2009)

Con ayuda de la máquina multi-proposito "Master Load Tester" se pudo registrar la carga máxima y la deformación de las muestras ensayadas, la velocidad de ensayo con la que fue programada la máquina es de 1.778 mm/min. Después de obtener los datos del ensayo se tabularon y se determinó la resistencia a flexión del mortero con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R: módulo de rotura

P: carga máxima aplicada

b: ancho promedio de la muestra

d: espesor promedio de la muestra

L: longitud entre soportes



Figura 72. Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.4 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

2.5.4.1 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

Con referencia a los resultados obtenidos por Cevallos, 2015 y para los niveles de carga que se manejan en el estudio, se decidió realizar un material compuesto reforzado (FRCM) con 3 capas de tejido de cabuya.

Para la elaboración de las muestras se utilizó un molde de madera de 25 x 5 x 1 cm, y tejidos de cabuya impregnados con resina y arena de 25 x 4.5 cm para el FRCM. (Ver figura 73)

Se inició aplicando un agente desencofrante sobre el molde para posteriormente colocar una pequeña capa de mortero. Cada capa de tejido fue recubierta con mortero y compactada para evitar vacíos en las muestras.

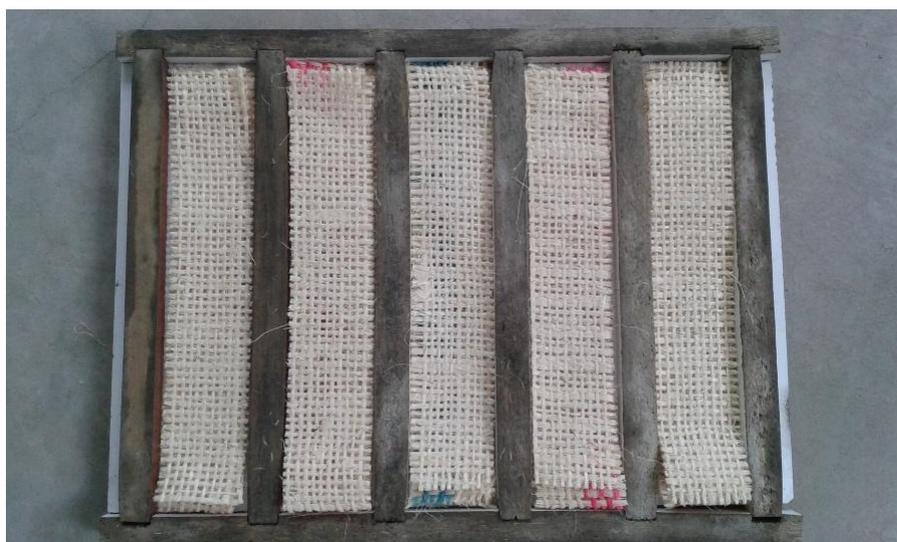


Figura 73. Elaboración del FRCM.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.4.2 DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO

Para establecer la densidad del material compuesto reforzado con fibras de cabuya se tomó como referencia la norma (INEN:198, 2009), se colocaron las muestras en el horno por 24 horas para así obtener el peso seco de cada una de ellas.



Figura 74. Densidad del FRCM - Peso seco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

El volumen de las muestras fueron determinadas con el principio de Arquímedes en el cual se afirma, que todo cuerpo sólido sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba con una fuerza igual al peso del volumen de fluido desalojado (Espinoza, 2014). Para este ensayo se dejaron las muestras sumergidas en agua por 24 horas con la finalidad de que estén totalmente saturadas.

En un recipiente transparente graduado se vertió agua hasta la medida a la que se desea llegar, se pesó el recipiente con agua al cual lo consideramos como nuestro peso inicial; luego colocamos la muestra del material compuesto reforzado dentro del recipiente lleno de agua, con la ayuda de un marcador, señalamos hasta donde subió el agua; posteriormente se retiró la muestra y se vertió agua hasta la señal marcada, lo que nos ayudó a determinar el peso final. Finalmente se calcula el volumen restando el peso final menos el peso inicial.



Figura 75. Densidad del FRCM – Principio de Arquímedes (a) peso inicial, (b) peso final

Fuente: Andrea Estrella Ch

2.5.4.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

La norma usada fue (ASTM-C642, 2013). El porcentaje de absorción del material compuesto se lo obtuvo sumergiendo las muestras en agua por 24 horas para luego, con ayuda de un papel absorbente, retirar el exceso de agua que existan en cada de una de ellas para después pesarlas y determinar el peso saturado y superficialmente seco (SSS).

Al finalizar el paso anterior se colocaron las muestras dentro del horno a una temperatura de 110 °C y se las deja secar por 24 horas para posteriormente pesarlas y determinar el peso seco. La fórmula para hallar el porcentaje de absorción es la siguiente:

$$\% \text{Asorción} = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

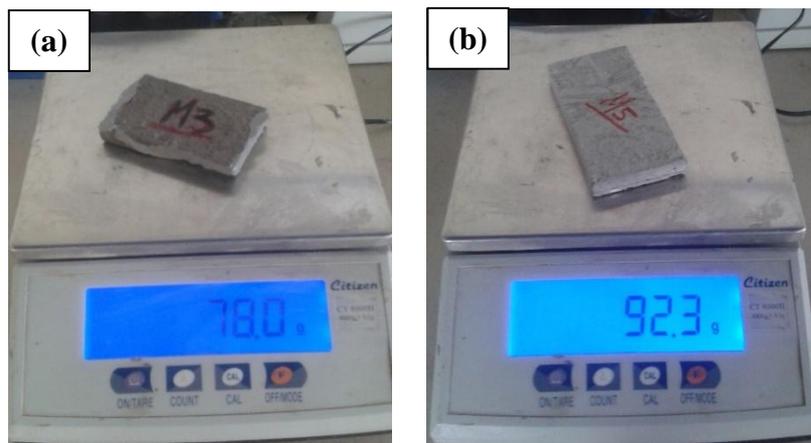


Figura 76. Ensayo del porcentaje de absorción del FRCM. (a) Peso SSS, (b) Peso seco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.4.4 ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Utilizando el procedimiento indicado en la norma (ASTM-C1403, 2000) se realizó el ensayo de absorción por capilaridad, con el objetivo de determinar las propiedades de absorción de agua del material compuesto en relación con el tiempo.

Este ensayo inició secando las muestras en el horno por 24 horas a una temperatura de 115 °C; cumplido con este tiempo se pesaron la muestra y con ayuda del calibrador, se midió la longitud y el ancho de la superficie de ensayo de cada muestra; luego en un recipiente transparente, colocado en una superficie lisa y nivelada, se pusieron 4 soportes para cada muestra, teniendo en cuenta que el espesor mínimo de los soportes es de 3 mm y que deben cubrir menos del 10% de la superficie de las muestras. Se añadió agua en el recipiente de manera que las muestras sean sumergidas parcialmente a una altura de 3 mm (ver fig.77).

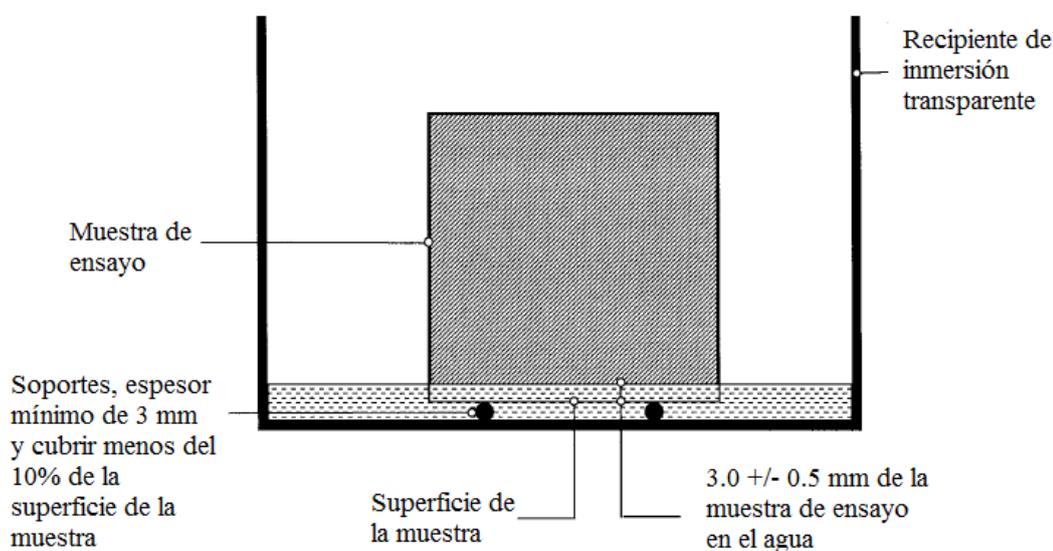


Figura 77. Configuración de la muestra durante el ensayo.

Fuente: (ASTM-C1403, 2000)

Para cada muestra se registró el peso por tiempo, es decir que una vez sumergida las muestras se las pesó en 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 60 min, 90 min, 120 min, 360 min y 24 horas.

Para pesar las muestras en cada tiempo, se las sacó del recipiente de inmersión y se secó la superficie con paños. Después de cada pesaje se volvió a colocar las muestras en el recipiente y si es necesario se añade agua para mantener la profundidad de inmersión especificada anteriormente.

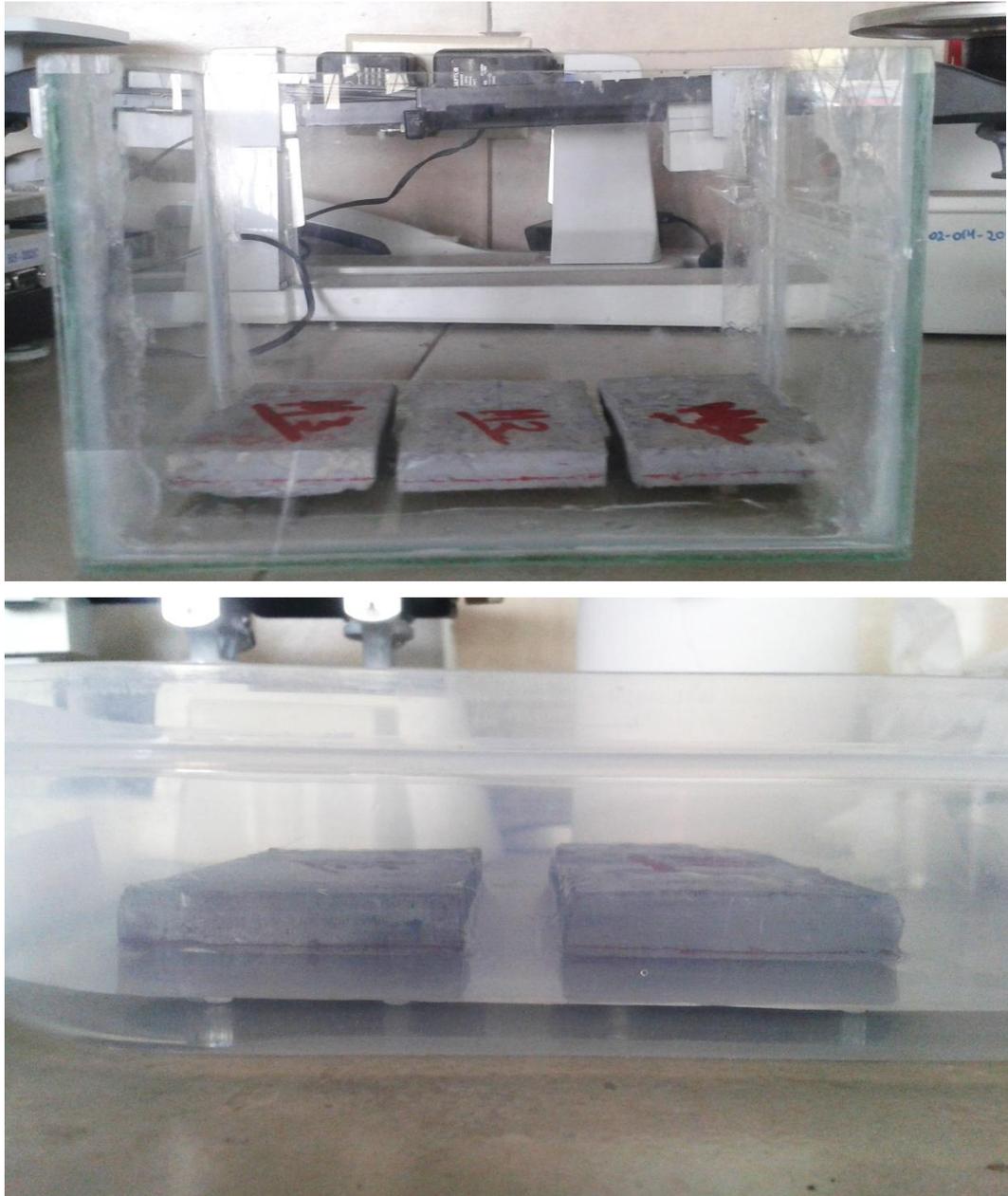


Figura 78. Ensayo de absorción por capilaridad del FRCM.

Fuente: Andrea Estrella Ch

2.5.4.5 RESISTENCIA A FLEXIÓN

Para realizar el ensayo de resistencia a flexión se utilizaron muestras de mortero y muestras de material compuesto reforzados con fibras de cabuya, con la finalidad de comparar el comportamiento de ambas muestras.

El procedimiento utilizado para este ensayo es el mismo que se describe en el ítem 2.5.3.11, la velocidad de ensayo con la que fue programada la máquina Master Load Tester fue de 5 mm/min.

Obtenidos los datos de los ensayos se calculó la resistencia a la flexión con la fórmula mencionada en el ítem 2.5.3.11

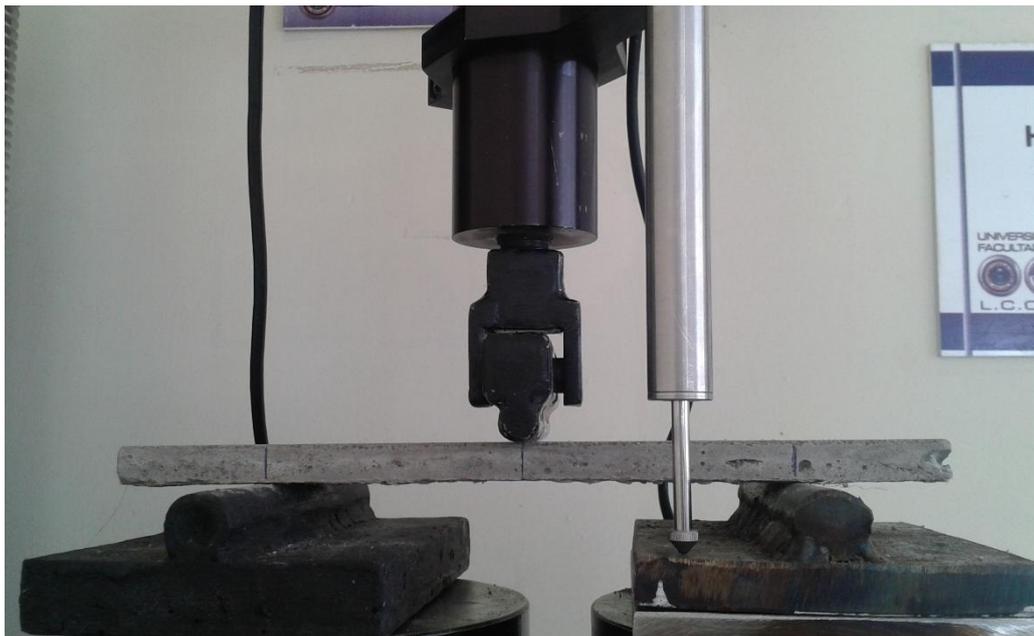


Figura 79. Ensayo de flexión del mortero.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.4.6 RESISTENCIA A TRACCIÓN

Al ser las muestras secciones débiles se decidió pegarlas en placas de acero de 5x12cm (ver fig.81), lo que nos ayudó a evitar la degradación de las propiedades del material compuesto y del mortero durante el ensayo (ver fig.80).

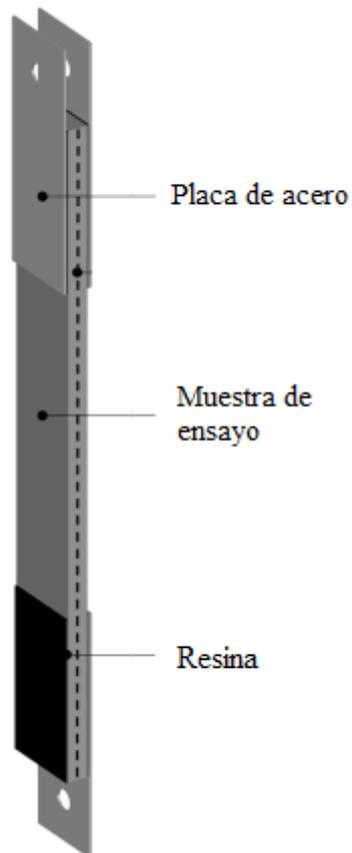


Figura 80. Muestra para el ensayo de tracción.

Fuente: (Arboleda, 2014)



Figura 81. Placas de acero usadas en el ensayo de tracción.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

El método de agarre influye en la capacidad aparente de las muestras; por lo tanto el diseño del agarre es importante para poder alcanzar el resultado de carga más alto posible. El agarre *tipo de horquilla* transfiere la carga a la muestra. La muestra tiene varios grados de libertad lo que proporciona un soporte final. Esta configuración reduce los momentos de flexión (Arboleda, 2014). (Ver fig.82).

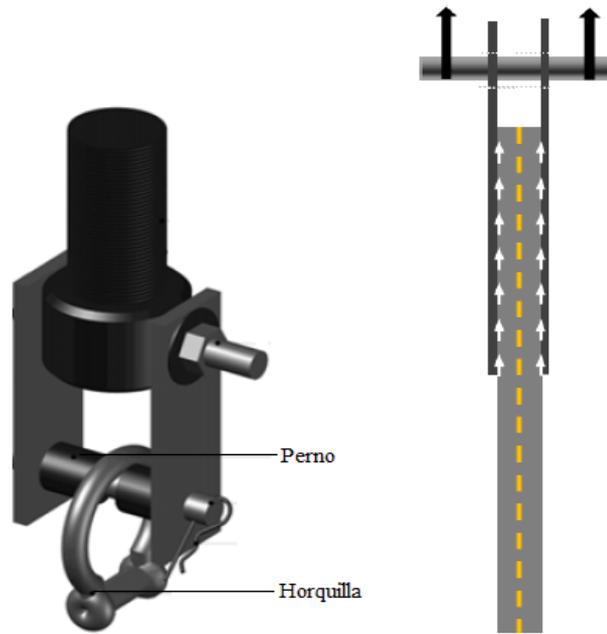


Figura 82. Agarre tipo horquilla.

Fuente: (Arboleda, 2014)

Por lo mencionado anteriormente se decidió utilizar el agarre tipo horquilla el cual es una pieza en forma de U que tiene agujeros en el extremo de los dientes, para aceptar el pasador de la horquilla. El pasador de la horquilla es similar a un tornillo, pero es sólo parcialmente roscado y liso (ARQHYS, 2016). (Ver fig.83).



Figura 83. Horquilla perno roscado.

Fuente: (UPMOFER, 2009)

Una vez que se ha seleccionado el método de agarre, y los especímenes se encuentran preparados con las placas de acero, que se cargaron en el marco de ensayo, como se muestra en la figura 84, se procede a llevar a cabo todos los ensayos de tracción. Las pruebas se realizaron con una velocidad de 0.5 mm/min.



Figura 84. Configuración del ensayo de tracción.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.5 CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO

2.5.5.1 DOSIFICACIÓN

Para realizar la dosificación del concreto se utilizó el método de la densidad óptima o densidad máxima. Este método se fundamenta en la consideración general de crear un concreto, mediante el relleno de espacios vacíos que simultáneamente dejan los agregados, para ser llenados con pasta de cemento y agua, bajo las siguientes consideraciones (Arequipa, Coba, Garzón, & Vargas, 2012):

- Un volumen aparente de agregado grueso que contiene un cierto porcentaje de vacíos entre partículas, que debe ser llenado por agregado fino.
- Una mezcla de agregado fino y grueso, correspondiente a su densidad óptima, deja un porcentaje de vacíos que deben ser llenados por la pasta de cemento y agua. Pero esta pasta no solo debe ocupar los vacíos que deja la mezcla de agregados, sino que debe recubrir todas y cada una de las partículas, constituyendo el enlace o nexo de unión entre partículas.

Se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.- Asumir la cantidad de árido grueso por cilindro de concreto [6 - 10 kg].
- 2.- Determinar o escoger el número de cilindros a elaborar.
- 3.- Determinar la cantidad de árido fino.
- 4.- Calcular la densidad de la mezcla en estado sss.

$$\text{Densidad de mezcla SSS} = \left(\frac{\% A.F}{100} * D_{SSS A.F}\right) + \left(\frac{\% A.G}{100} * D_{SSS A.G}\right)$$

- 5.- Calcular el porcentaje de vacíos teniendo en cuenta que si el porcentaje de vacíos es menor a 25% se debe tomar como referencia 25% para el cálculo.

$$\% \text{ Vacíos} = \left(1 - \frac{DENS.APARENTE MEZCLA}{D_{SSS.MEZCLA}} * 100\right)$$

- 6.- Calcular el volumen aparente de la mezcla.

$$V_{APA.MEZCLA} = \frac{MASA\ AGREGADO\ (FINO\ +\ GRUESO)kg}{DENS.\ APARENTE.\ MEZCLA}$$

7.- Calcular el volumen de pasta

$$V_{PASTA} = \frac{V_{APA.MEZCLA} * \% VACIOS}{100}$$

8.- Escoger la relación agua/cemento del siguiente cuadro:

Tabla 7. Relación agua/cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON BASADA EN LA RELACION AGUA / CEMENTO	
Resistencia a la compresión a los 28 días en Mpa	RELACIÓN AGUA CEMENTO
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

Fuente: (Arequipa, Coba, Garzón, & Vargas, 2012)

9.- Calcular la densidad de la pasta por unidad de cemento

$$\text{Dens. pasta} = \frac{M.CEMENTO+M.AGUA}{V.CEMENTO+V.AGUA}$$

10.- Calcular el peso de la pasta

$$P_{pasta} = V.pasta * \text{Dens. pasta}$$

11.- Calcular las cantidades de agua y cemento

$$\text{Cant. Agua} = \frac{P_{PASTA} * CANT.AGUA \left(\frac{a}{c}\right)}{1 + CANT.AGUA \left(\frac{a}{c}\right)}$$

$$\text{Cant. Cemento} = \frac{P_{PASTA} * CANT.CEMENTO}{1 + CANT.AGUA \left(\frac{a}{c}\right)}$$

12.- Determinar la dosificación inicial o dosificación teórica.

13.- Determinar la dosificación por corrección de humedad.

14.- Determinar la dosificación por unidades de cemento.

2.5.5.2 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para realizar una correcta caracterización del concreto se realizaron muestras de concreto simple, concreto reforzado con material compuesto, concreto reforzado con fibras de coco y concreto reforzado con fibra de coco y material compuesto.

Para determinar la cantidad de fibra de coco que se debía utilizar en el concreto, nos referenciamos a las investigaciones realizadas por científicos en Colombia acerca de las fibras vegetales dentro del concreto. El estudio desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira) evaluó las propiedades físico-mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 1.5% y 3% y longitudes de dicha fibra de 2 y 5 cm. Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los obtenidos en estudios anteriores en los que se corrobora que la adición de la fibra de coco en un volumen de 3% y con una longitud de 5 cm incide positivamente sobre las propiedades del concreto.

Con lo expuesto anteriormente se decidió utilizar en la dosificación del concreto fibras de estopa de coco con longitudes de 5 cm (ver fig.85) y 3% del volumen total del concreto.



Figura 85. Fibras de estopa de coco con longitud de 5 cm.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Con cada tipo de muestra se elaboraron probetas de cilindros y vigas conforme a la norma (ASTM-C192, 2007). Se fabricaron 5 cilindros para cada muestra, con medidas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura; 5 vigas para cada muestra con medidas de 8 cm de base, 8 cm de altura y 50 cm de largo. La figura 86 muestra los moldes utilizados.



Figura 86. Moldes utilizados para elaborar las probetas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Calculado el volumen total de la mezcla y la cantidad de fibra de coco, se procedió al tratamiento con cal para las fibras (ver fig.87), este tratamiento consiste en sumergir a la fibra en una lechada de cal (10 g por litro de agua) durante un periodo de 24 horas, al culminar este tiempo se enjuaga repetidas veces con abundante agua. El tratamiento con cal limpia la fibra tanto de impurezas provenientes del fruto durante su pelado como durante su confinamiento y del ataque microbiológico por parte de hongos y levaduras. Además protege a la fibra del deterioro debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento (Quintero & González, 2006).

Teóricamente la lignina, que posee en su estructura cidos y fenoles, reacciona con el calcio contenido en la cal, o sea, se provoca la hidrólisis ácida de estas sustancias presentes en la lignina y se forman sales insolubles que actúan como

agentes bloqueadores al llegar la fibra al medio cementicio (Fuentes & Muñiz, 2000).



Figura 87. Tratamiento con cal para las fibras de coco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

La mezcla del concreto simple se realizó con la ayuda de una concretera, se incorporó el polvo de piedra y el agregado grueso para posteriormente agregar el cemento y el micro sílice, los cuales fueron mezclados con anterioridad; por último se agregó agua. Para elaborar el concreto reforzado con fibras de coco, las fibras fueron añadidas al final deshaciéndolas con las manos, no se necesitó la incorporación adicional de agua, debido a que se trabajó con las fibras saturadas.

Al añadir las fibras se observó a que éstas tendían a formar grumos, por lo que se decidió mezclar a mano lanzando la mezcla hacia arriba para deshacer los grumos, dicho procedimiento permitió que las fibras se dispersen de una mejor manera.



Figura 88. Elaboración del concreto simple y el concreto reforzado con fibras de coco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

El llenado de los moldes cilíndricos se realizó en tres capas, cada una compactada con 25 golpes, con la ayuda de un mazo de goma se golpeó cada capa a los lados del molde ligeramente 16 veces para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas. Para llenar las vigas se lo hizo en dos capas compactada cada una con 25 golpes y 10 golpes a los lados.



Figura 89. Llenado de moldes.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Se desmoldaron las probetas y fueron sumergidas en un tanque de agua.



Figura 90. Muestras de cilindros y vigas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Cumplido los siete días de curado se reforzaron con material compuesto 5 cilindros y vigas de concreto simple, y 5 cilindros y vigas de concreto reforzado con fibra de coco. Para esto se utilizó tejidos de cabuya recubiertos con resina de 1.70x25.5cm para los cilindros y 8x45cm para las vigas. Se colocó el mortero en las tres capas de tejido y humedeciendo la probeta se procedió a colocar el

material compuesto dando ligeros golpes con el mazo de goma entre cada capa para eliminar el aire que pueda estar atrapado (ver fig.91). Las probetas se dejaron almacenadas en un lugar cubierto hasta cumplir los 28 días.



Figura 91. Muestras reforzadas con FRCM - cilindros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 92. Muestras reforzadas con FRCM - vigas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.5.3 ASENTAMIENTO

Para medir el asentamiento del concreto se utilizó la norma (ASTM-C143, 2008), en donde se especifica que para determinar el asentamiento del concreto se debe utilizar un molde en forma de cono truncado de metal (ver fig.93), el mismo que debe estar húmedo y colocado en una superficie plana rígida y no absorbente.

Para iniciar el ensayo el operador se paró sobre los estribos del cono para mantenerlo firmemente durante el llenado, Realizada la muestra de concreto, inmediatamente se llenó el molde en tres capas, cada una aproximadamente 1/3

del volumen del molde, se varilló cada capa 25 veces uniformemente en forma de espiral hacia el centro. Después de haber varillado la última capa se enrasó la superficie del concreto con ayuda del rodamiento de la varilla. Continuando sosteniendo el molde firmemente se remueve el concreto que se encuentra en el área que rodea la base del molde, se retiró el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, y se midió el asentamiento desde la parte superior del molde hasta el centro de la superficie superior de la muestra.



Figura 93. Ensayo de asentamiento del concreto.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.5.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Con referencia a la norma (ASTM-C39) se realizó el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas.

Para colocar las muestras en la máquina de ensayo se verificó que las caras de las probetas estén completamente niveladas. Se observó que algunos especímenes de presentaban irregularidades en ambas caras es decir que no cumplían con los requisitos de planicidad y perpendicularidad, por lo que se decidió realizar un

cabeceo. El cabeceo es la preparación con mortero de azufre, de las bases de los especímenes cilíndricos para lograr el paralelismo entre las caras para su prueba (IMCYC, 2007).

El cabeceo con mortero de azufre se lo hizo basado a la norma (ASTM-C617). El equipo a utilizar para este ensayo son: platos metálicos de cabeceo, un dispositivo de alineación vertical y un recipiente para fundición de morteros de azufre (ver fig.94). Se comenzó calentando el azufre en una olla a una temperatura entre 130 y 145°C agitándolo constantemente, luego los platos de cabeceo fueron calentados ligeramente con la finalidad de disminuir la velocidad de endurecimiento del mortero y permitir la formación de placas delgadas, se lubricó con aceite los platos de cabeceo para posteriormente vaciar el mortero de azufre sobre ellos. Se debe verificar que las caras de los cilindros a cabecear estén secas para evitar que se formen burbujas de vapor dentro de las capas. Se colocó los lados del cilindro junto a las guías del dispositivo de alineación, se deslizó el cilindro por las guías manteniendo contacto constante con ellas hasta llegar al plato de cabeceo. Por último se dejó transcurrir el tiempo necesario para permitir el enfriamiento del azufre y con golpes ligeros despegar la base cabeceada del plato.



Figura 94. Equipo utilizado para el cabeceo de cilindros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 95. Cabeceo con mortero de azufre en cilindros.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Para determinar el Módulo de Young y la Relación de Poisson se utilizó la norma (ASTM-C469).

El equipo utilizado para este ensayo fue la máquina universal y un compresómetro (ver fig.96). El compresómetro es un dispositivo constituido por tres anillos, uno de los cuales se encuentra fijado rígidamente en el cilindro y los otros están fijados en dos puntos diametralmente opuestos de manera que tenga libertad de rotación. En la mitad de los dos puntos de soporte se usó una barra de pivote con la finalidad de mantener una distancia constante entre los anillos. La deformación se mide directamente por un deformímetro. La distancia entre la barra de pivote y

de la línea de base del deformímetro son iguales, por lo tanto la deformación transversal y longitudinal es igual a la mitad de la lectura del deformímetro.

Una vez ajustados los deformímetros se colocó la caratula en cero. Se procedió aplicar carga y se registró las deformaciones cada 5 kN hasta llegar a la carga máxima de rotura.



Figura 96. Ensayo de compresión.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

El cálculo del módulo de Young se lo hizo con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

Donde:

E = módulo de Young, MPa

S₂ = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última MPa

S₁ = esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésimas, en MPa

ϵ_2 = deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂, en millonésimas.

La relación de Poisson se lo hallo con la fórmula:

$$\mu = \frac{\varepsilon t_2 - \varepsilon t_1}{\varepsilon_2 - 0,00005}$$

Donde:

μ = relación de Poisson

εt_2 = deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por S2 en millonésimas

εt_1 = deformación unitaria transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S1 en millonésimas

2.5.5.5 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Con ayuda de la norma (ASTM-C293) se realizó el ensayo para determinar el esfuerzo de flexión de las diferentes muestras, utilizando una viga simplemente apoyada con carga en el centro de la luz.

El equipo utilizado fue un aparato de carga que consta de dos bloques de apoyo y un bloque de aplicación de carga, dichos bloques se mantuvieron en posición vertical y en contacto con la barra de pivote por medio de tornillos cargados de resortes como se observa en la figura 97, además se utilizó la máquina Marshall en donde se registró la carga y la deformación de las muestras ensayadas, la velocidad de ensayo con la que fue programada la máquina es de 1.02 mm/min para las muestras de concreto simple y concreto reforzado con FRCM, y para las muestras de concreto reforzado con fibras de coco y concreto reforzado con fibras de coco y FRCM se utilizó una velocidad de 2.03 mm/min Después de obtener los datos del ensayo se tabularon y se determinó la resistencia a flexión con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R: módulo de rotura

P: carga máxima aplicada

b: ancho promedio de la muestra

d: espesor promedio de la muestra

L: longitud entre soportes



Figura 97. Ensayo de flexión en vigas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

2.5.5.6 TENACIDAD

Para el cálculo de la tenacidad de las muestras ensayadas se determinó la energía de absorción definida como el área bajo la curva del gráfico carga vs deflexión, tomada desde el origen, y dividido para el área del espécimen. La norma utilizada fue (ASTM-C1018, 1997)

$$T = \frac{\text{área bajo la curva}}{b \times h}$$

2.5.5.7 ENSAYO DE MEDICIÓN DEL pH

El pH fue medido en muestras de concreto simple y concreto reforzado con fibras de coco en estado endurecido con referencia a la norma (ASTM-D4262).

Para realizar este ensayo se utilizó vasos de precipitación, una parrilla eléctrica, agitadores magnéticos, agua destilada y un pH metro de marca HANNA. Para obtener las muestras se tomó una porción de los cilindros ya ensayados y se procedió a triturar, hasta conseguir 20 g. Las muestras fueron colocadas en los vasos de precipitación al igual que el agitador magnético, para después agregar agua destilada.

Listas las muestras se colocaron en la parrilla eléctrica y se la programo para que agite por 10 minutos, finalizado este tiempo se procedió a medir el pH con ayuda del pH metro.

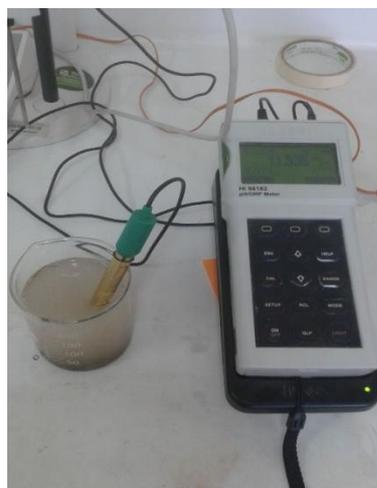


Figura 98. Ensayo de medición del pH del concreto.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Para el desarrollo de esta investigación es fundamental contar con datos reales los cuales serán el soporte del proyecto y servirán en la toma de decisiones acerca de parámetros significativos que nos ayudarán en la elaboración del material compuesto con fibras de cabuya y el reforzamiento de los elementos; para lograr este objetivo fue necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio en donde se determinaron las características que presentan las fibras naturales y la matriz cementicia, y así poder mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS

3.1.1 FIBRA DE CABUYA

3.1.1.1 PRUEBA SEM

El microscopio de barrido nos arrojó como resultado que el diámetro promedio del hilo de cabuya es de $1456.72 \mu\text{m}$, mientras que el de la fibra es de $119.72 \mu\text{m}$. Además se pudo observar que las fibras presentan cierta rugosidad la cual nos ayuda que se adhieran de mejor forma a la matriz cementicia.

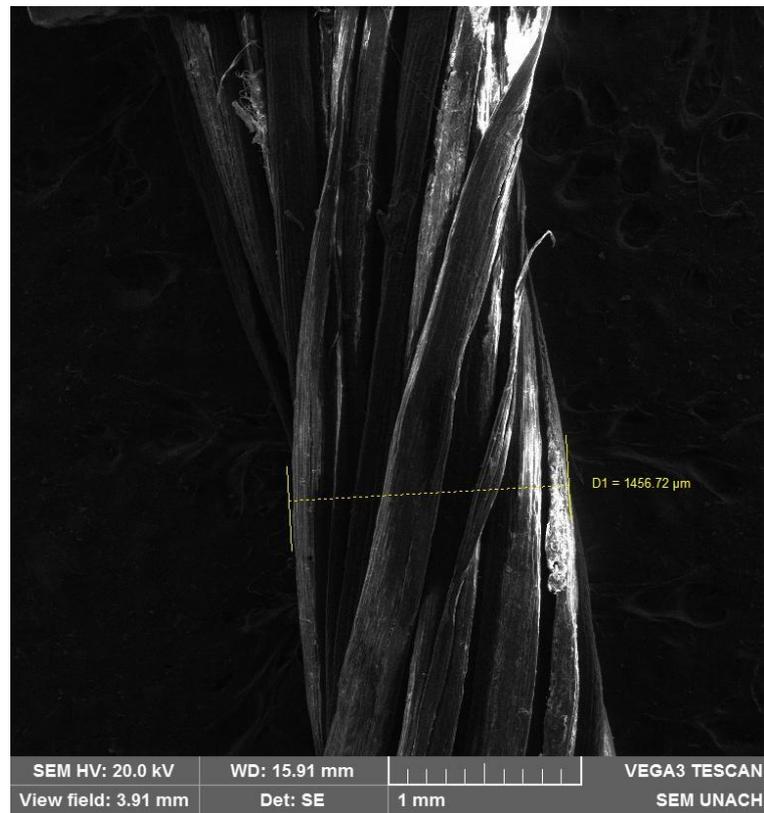
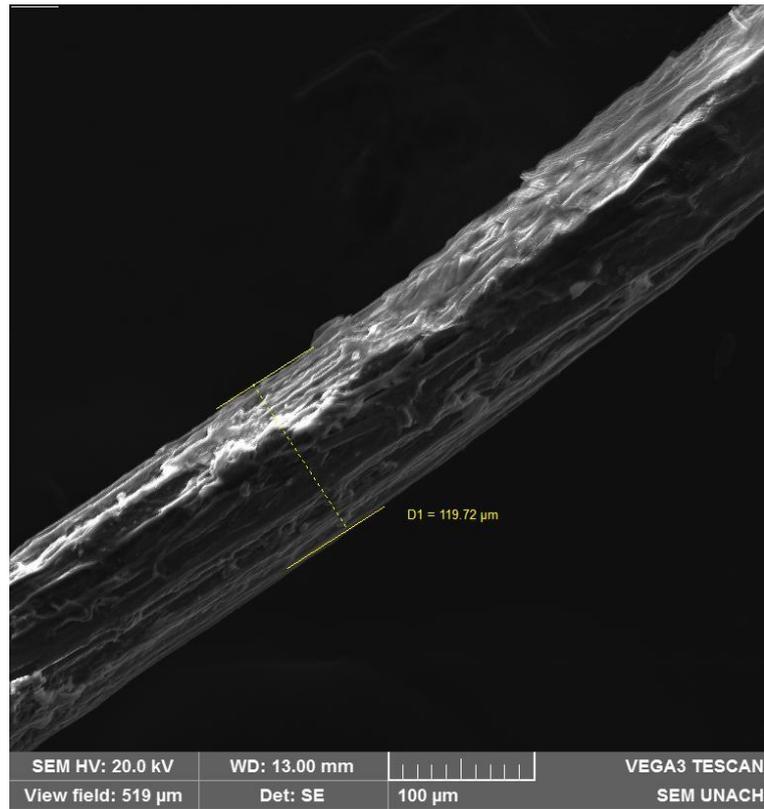


Figura 99. Prueba SEM (a) fibra de cabuya (b) hilo de cabuya.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.2 DENSIDAD ESPECÍFICA

Tabla 8. Densidad específica de la fibra de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
DENSIDAD ESPECÍFICA					
CABUYA					
Muestra N°	Masa de muestra al aire seca [g]	Masa muestra sumergida + canastilla + estructura [g]	Masa canastilla sumergida + estructura [g]	Masa de estructura [g]	Densidad [g/cm³]
1	1,59	233,05	232,50	216,56	1,53
2	1,85	233,19	232,61	216,56	1,46
3	1,66	233,14	232,60	216,56	1,48
4	1,56	233,07	232,56	216,56	1,49
5	1,50	233,10	232,64	216,56	1,44
6	1,78	233,27	232,61	216,56	1,59
7	1,55	233,11	232,60	216,56	1,49
8	1,65	233,04	232,58	216,56	1,39
9	1,46	233,12	232,60	216,56	1,55
10	1,59	233,18	232,60	216,56	1,57
Media [g/cm³]					1,50
Desviación Estándar [g/cm³]					0,06
Coeficiente de Variación [%]					4,21
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$Densidad = \frac{A}{A + W - B}$					
Donde: A : masa de muestra al aire seca W : masa canastilla sumergida B : masa muestra sumergida + canastilla					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.3 MASA POR UNIDAD DE ÁREA

Tabla 9. Masa por unidad de área de la fibra de cabuya.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																											
MASA POR UNIDAD DE ÁREA																																												
MEDIDAS DE LA MUESTRA [m]:	0,10 x 0,10																																											
ÁREA [m²]:	0,010																																											
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra N°</th><th>Peso [g]</th><th>Peso/Área [g/m²]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>4,16</td><td>416</td></tr><tr><td>2</td><td>4,07</td><td>407</td></tr><tr><td>3</td><td>4,14</td><td>414</td></tr><tr><td>4</td><td>3,86</td><td>386</td></tr><tr><td>5</td><td>4,15</td><td>415</td></tr><tr><td>6</td><td>4,25</td><td>425</td></tr><tr><td>7</td><td>4,19</td><td>419</td></tr><tr><td>8</td><td>4,15</td><td>415</td></tr><tr><td>9</td><td>3,97</td><td>397</td></tr><tr><td>10</td><td>4,13</td><td>413</td></tr><tr><td colspan="2">Media [g/m²]</td><td>410,7</td></tr><tr><td colspan="2">Desviación Estándar [g/m²]</td><td>11,38</td></tr><tr><td colspan="2">Coeficiente de Variación [%]</td><td>2,77</td></tr></tbody></table>			Muestra N°	Peso [g]	Peso/Área [g/m ²]	1	4,16	416	2	4,07	407	3	4,14	414	4	3,86	386	5	4,15	415	6	4,25	425	7	4,19	419	8	4,15	415	9	3,97	397	10	4,13	413	Media [g/m ²]		410,7	Desviación Estándar [g/m ²]		11,38	Coeficiente de Variación [%]		2,77
Muestra N°	Peso [g]	Peso/Área [g/m ²]																																										
1	4,16	416																																										
2	4,07	407																																										
3	4,14	414																																										
4	3,86	386																																										
5	4,15	415																																										
6	4,25	425																																										
7	4,19	419																																										
8	4,15	415																																										
9	3,97	397																																										
10	4,13	413																																										
Media [g/m ²]		410,7																																										
Desviación Estándar [g/m ²]		11,38																																										
Coeficiente de Variación [%]		2,77																																										

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.4 DENSIDAD LINEAL

Tabla 10. Densidad lineal del hilo de cabuya.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																				
DENSIDAD LINEAL																																					
CABUYA																																					
LONGITUD DE LA MUESTRA [m]:	1,50																																				
LONGITUD DE LA MUESTRA [km]:	0,0015																																				
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Muestra N°</th><th>Peso [gr]</th><th>Densidad [g/km] = [Tex]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1,24</td><td>826,67</td></tr><tr><td>2</td><td>1,07</td><td>713,33</td></tr><tr><td>3</td><td>1,13</td><td>753,33</td></tr><tr><td>4</td><td>1,06</td><td>706,67</td></tr><tr><td>5</td><td>1,17</td><td>780,00</td></tr><tr><td>6</td><td>0,87</td><td>580,00</td></tr><tr><td>7</td><td>1,03</td><td>686,67</td></tr><tr><td>8</td><td>1,09</td><td>726,67</td></tr><tr><td>Media [Tex]</td><td></td><td>721,67</td></tr><tr><td>Desviación Estándar [Tex]</td><td></td><td>72,75</td></tr><tr><td>Coficiente de Variación [%]</td><td></td><td>10,08</td></tr></tbody></table>	Muestra N°	Peso [gr]	Densidad [g/km] = [Tex]	1	1,24	826,67	2	1,07	713,33	3	1,13	753,33	4	1,06	706,67	5	1,17	780,00	6	0,87	580,00	7	1,03	686,67	8	1,09	726,67	Media [Tex]		721,67	Desviación Estándar [Tex]		72,75	Coficiente de Variación [%]		10,08	
Muestra N°	Peso [gr]	Densidad [g/km] = [Tex]																																			
1	1,24	826,67																																			
2	1,07	713,33																																			
3	1,13	753,33																																			
4	1,06	706,67																																			
5	1,17	780,00																																			
6	0,87	580,00																																			
7	1,03	686,67																																			
8	1,09	726,67																																			
Media [Tex]		721,67																																			
Desviación Estándar [Tex]		72,75																																			
Coficiente de Variación [%]		10,08																																			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.5 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Tabla 11. Porcentaje de absorción de la fibra de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ABSORCIÓN DE LA FIBRA			
CABUYA			
Muestra N°	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	0,1708	0,2450	43,44
2	0,2167	0,2984	37,70
3	0,1598	0,2254	41,05
4	0,0765	0,1152	50,59
5	0,1606	0,2325	44,77
6	0,0956	0,1332	39,33
7	0,1024	0,1580	54,30
Media [%]			44,45
Desviación Estándar [%]			6,04
Coeficiente de Variación [%]			13,59
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$\%Asorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$			
Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.6 DETERMINACIÓN DEL ÁREA TRANSVERSAL

3.1.1.6.1 UTILIZANDO TEX

Tabla 12. Área transversal del hilo y del tejido de cabuya utilizando el tex.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
ÁREA TRANSVERSAL DEL HILO Y TEJIDO DE CABUYA						
Muestra N°	Tex [g/km]	Densidad [g/cm³]	Ancho [mm]	N° hilos/cm	Área tejido Atr [mm²]	Área hilo Asy [mm²]
1	826,67	1,50	50,00	2,40	6,61	0,55
2	713,33	1,50	50,00	2,40	5,71	0,48
3	753,33	1,50	50,00	2,40	6,03	0,5
4	706,67	1,50	50,00	2,40	5,65	0,47
5	780,00	1,50	50,00	2,40	6,24	0,52
6	580,00	1,50	50,00	2,40	4,64	0,39
7	686,67	1,50	50,00	2,40	5,49	0,46
8	726,67	1,50	50,00	2,40	5,81	0,48
Media [mm²]					5,77	0,48
Desviación Estándar [mm²]					0,58	0,05
Coeficiente de Variación [%]					10,08	10,08
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$A_{tr} = \frac{T_x * N_f}{10 * \rho_{fib}} \qquad A_{sy} = \frac{A_{tr}}{N_f}$						
Donde: <ul style="list-style-type: none"> Atr : área transversal del tejido Asy : área transversal del hilo Tx : Tex de la fibra Nf : número de hilos por unidad de ancho ρfib : densidad específica de la fibra 						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.6.2 UTILIZANDO MASA POR UNIDAD DE ÁREA

Tabla 13. Área transversal del hilo de cabuya utilizando la masa por unidad de área.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ÁREA TRANSVERSAL							
Muestra N°	Masa/Área [g/m²]	Densidad [g/cm³]	Ancho [mm]	N° hilos/10cm	Área tejido [mm²]	Área tejido dirección principal [mm²]	Área hilo [mm²]
1	416	1,50	100	24	13,87	6,94	0,58
2	407	1,50	100	24	13,57	6,79	0,57
3	414	1,50	100	24	13,8	6,90	0,58
4	386	1,50	100	24	12,87	6,44	0,54
5	415	1,50	100	24	13,83	6,92	0,58
6	425	1,50	100	24	14,17	7,09	0,59
7	419	1,50	100	24	13,97	6,99	0,58
8	415	1,50	100	24	13,83	6,92	0,58
9	397	1,50	100	24	13,23	6,62	0,55
10	413	1,50	100	24	13,77	6,89	0,57
Media [mm²]					13,69	6,85	0,57
Desviación Estándar [mm²]					0,38	0,19	0,02
Coeficiente de Variación [%]					2,77	2,77	2,77
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$A_{tr} = \frac{P_t}{2 * \rho_{fib}} \quad A_{sy} = \frac{A_{tr}}{N_f}$							
Donde: Atr : área transversal del tejido Asy : área transversal del hilo Pt : masa por unidad de área de la fibra ρfib : densidad específica de la fibra							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Nota: No se usa este método ya que los hilos transversales tienen densidades lineales muy variables, lo que genera un error considerable en el área del tejido.

3.1.1.7 ESPESOR EQUIVALENTE

Tabla 14. Espesor equivalente del hilo de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ESPESOR EQUIVALENTE			
Muestra N°	Ancho [mm]	Área de tejido [mm ²]	Espesor equivalente [mm]
1	50,00	6,61	0,1323
2	50,00	5,71	0,1141
3	50,00	6,03	0,1205
4	50,00	5,65	0,1131
5	50,00	6,24	0,1248
6	50,00	4,64	0,0928
7	50,00	5,49	0,1099
8	50,00	5,81	0,1163
Media [mm ²]			0,1155
Desviación Estándar [mm ²]			0,0116
Coeficiente de Variación [%]			10,0804
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$T_{eq} = \frac{A_{tr}}{h}$			
Donde: A _{tr} : área transversal del tejido A : ancho del tejido			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.8 RESISTENCIA A TRACCIÓN

3.1.1.8.1 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO

Tabla 15. Resistencia a tracción del hilo de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A TRACCIÓN			
Muestra N°	Carga [N]	Área hilo [mm ²]	Resistencia a Tracción [MPa]
1	169,02	0,55	306,70
2	151,23	0,48	318,01
3	169,02	0,50	336,55
4	160,13	0,47	339,89
5	160,13	0,52	307,94
6	142,34	0,39	368,11
7	142,34	0,46	310,93
8	142,34	0,48	293,81
Media [MPa]			322,74
Desviación Estándar [MPa]			23,96
Coeficiente de Variación [%]			7,42
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$R = \frac{Carga}{Área\ hilo}$			
Donde:			
R : resistencia a tracción			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

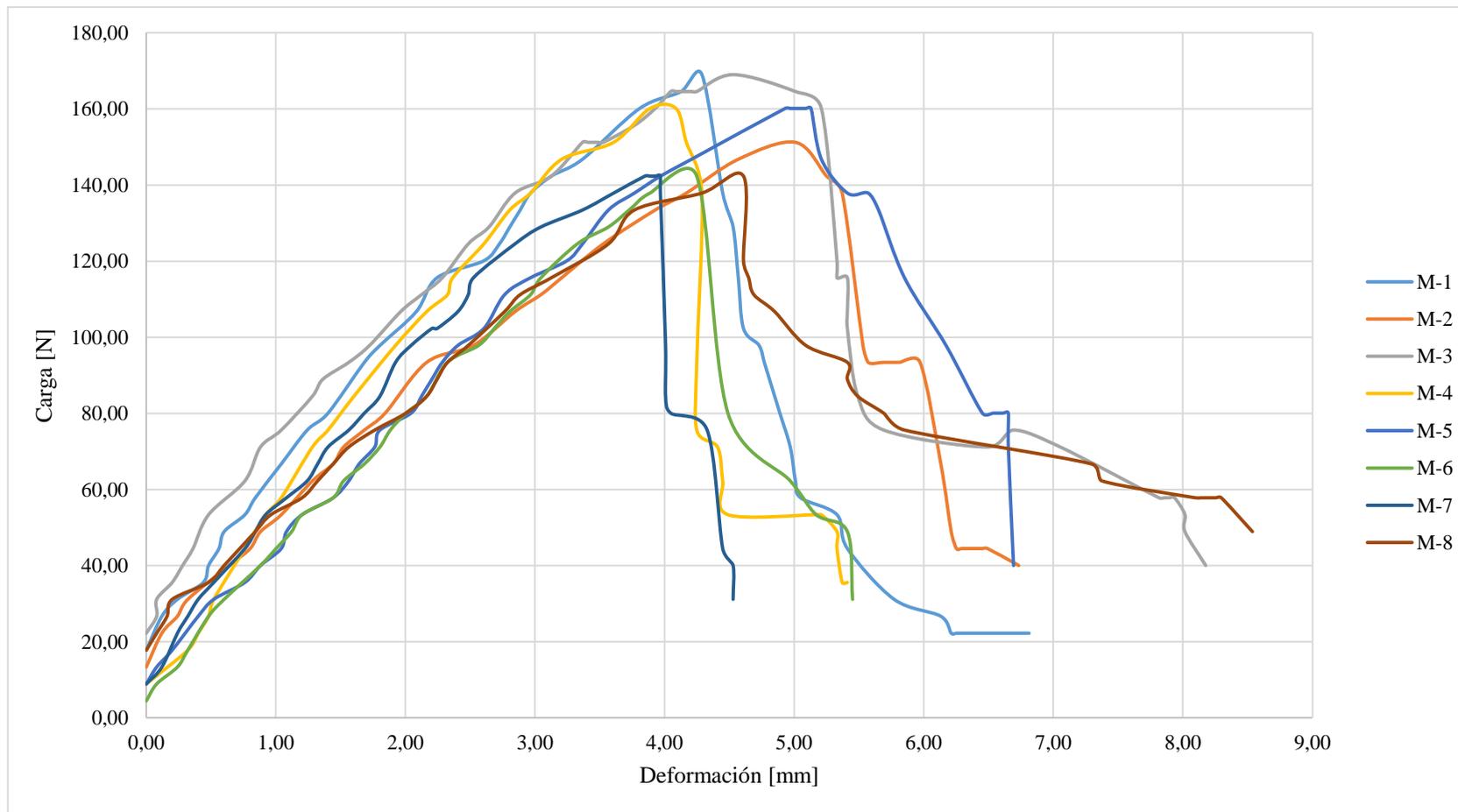


Figura 100. Resultados del ensayo de tracción del hilo de cabuya.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.8.2 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO CON RESINA

Tabla 16. Resistencia a tracción del hilo de cabuya con resina.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A TRACCIÓN			
Muestra N°	Carga [N]	Área hilo [mm ²]	Resistencia a Tracción [MPa]
1	125,22	0,51	247,14
2	106,80	0,54	196,97
3	106,80	0,58	184,85
4	99,44	0,49	201,57
5	147,31	0,60	243,71
6	110,49	0,49	226,00
7	103,12	0,49	209,03
8	136,27	0,52	262,06
Media [MPa]			221,42
Desviación Estándar [MPa]			27,55
Coeficiente de Variación [%]			12,44
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$R = \frac{Carga}{Área\ hilo}$			
Donde:			
R : resistencia a tracción			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

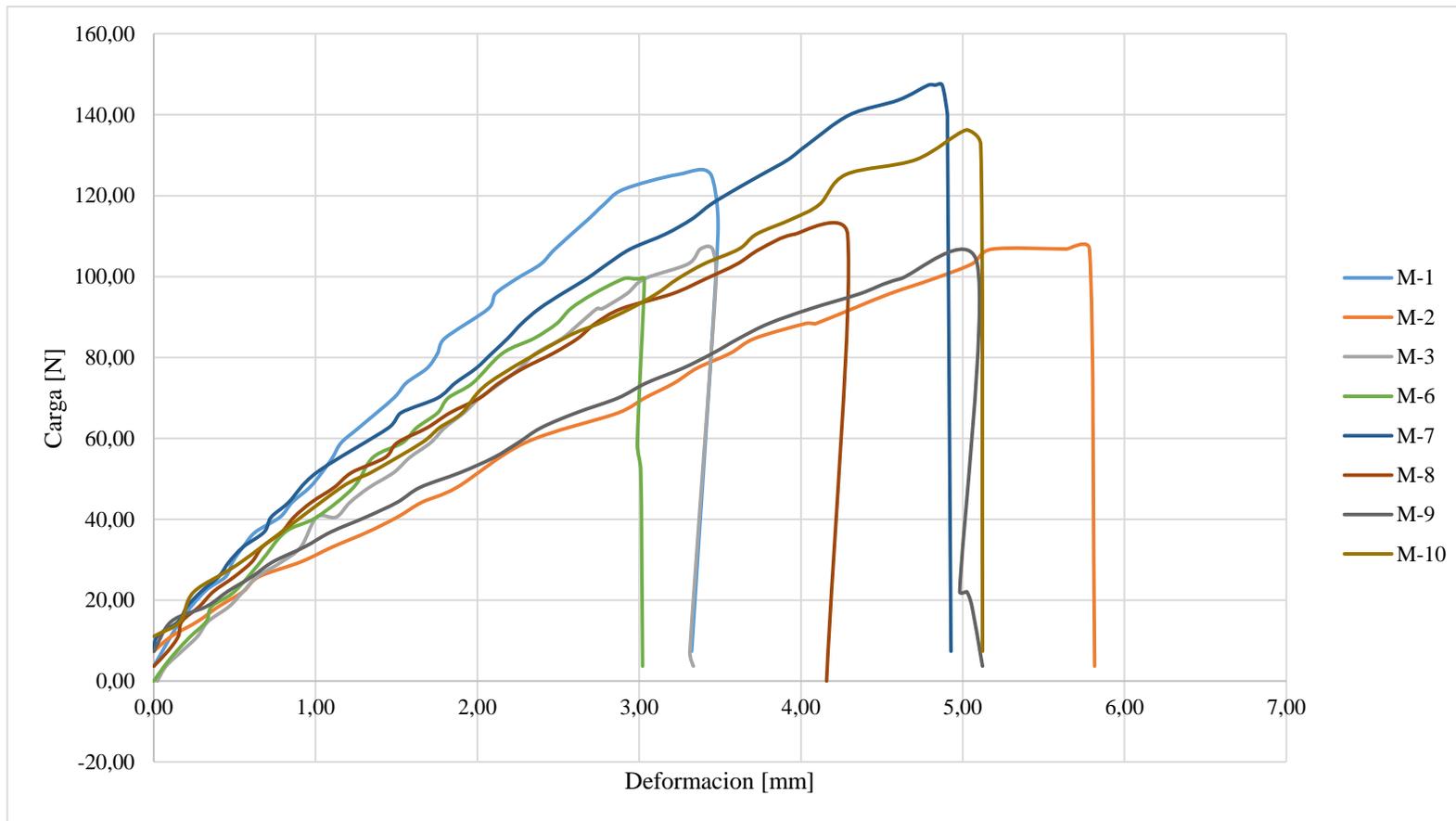


Figura 101. Resultados del ensayo de tracción del hilo de cabuya con resina.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.8.3 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL TEJIDO CON RESINA

Tabla 17. Resistencia a tracción del tejido de cabuya con resina.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A TRACCIÓN			
Muestra N°	Carga [N]	Área tejido [mm ²]	Resistencia a Tracción [MPa]
1	1605,73	5,77	278,29
2	1663,55	5,77	288,31
3	1458,94	5,77	252,85
4	1401,12	5,77	242,83
5	1400,23	5,77	242,67
Media [MPa]			260,99
Desviación Estándar [MPa]			21,08
Coeficiente de Variación [%]			8,08
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$R = \frac{Carga}{Área\ tejido}$			
Donde:			
R : resistencia a tracción			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

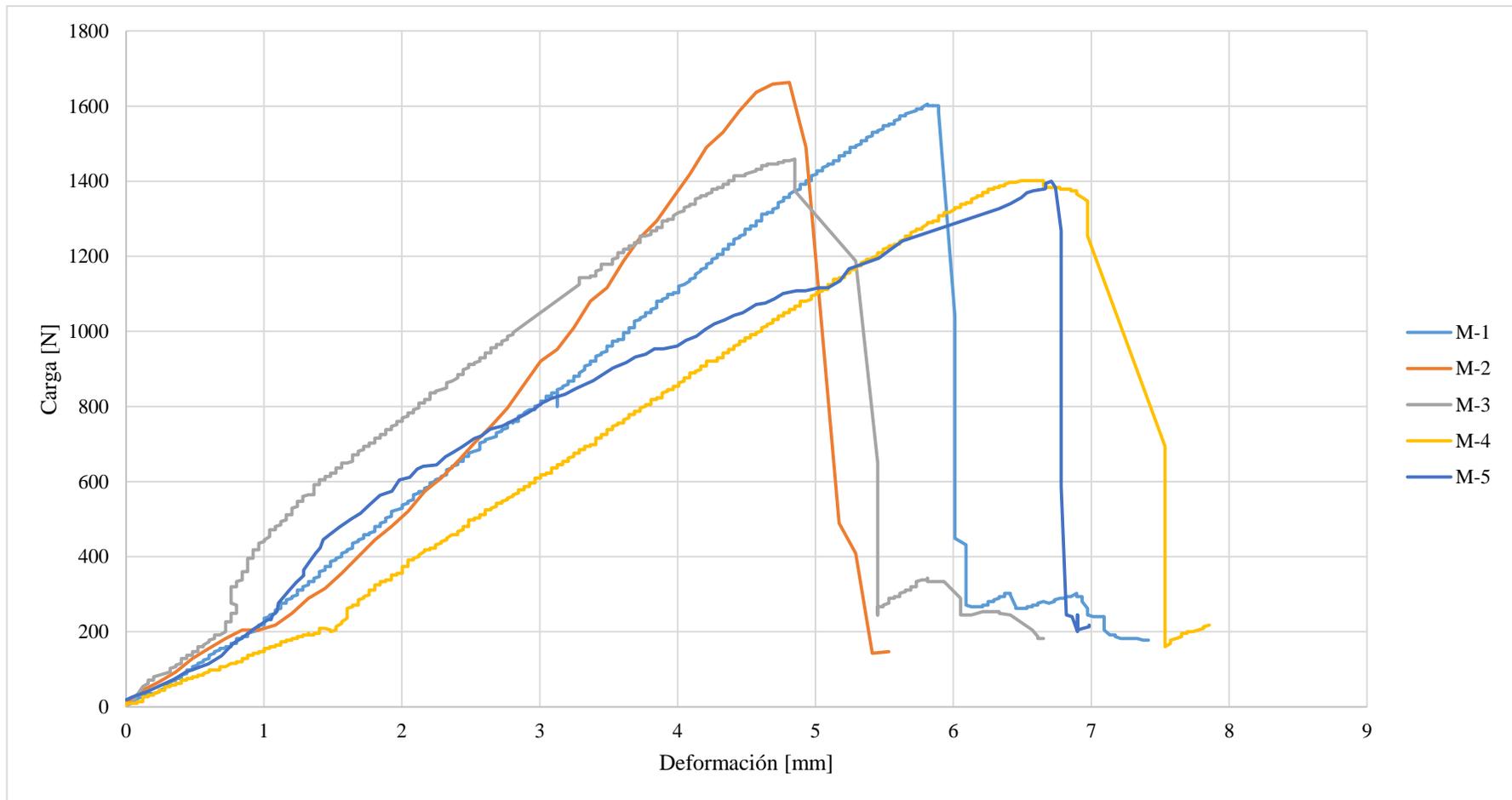


Figura 102. Resultados del ensayo de tracción del tejido de cabuya con resina.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.9 TENACIDAD

3.1.1.9.1 HILO

Tabla 18. Tenacidad del hilo de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
TENACIDAD			
Muestra N°	Tex [g/km]	Carga [N]	Tenacidad [N/Tex]
1	826,67	169,02	0,20
2	713,33	151,23	0,21
3	753,33	169,02	0,22
4	706,67	160,13	0,23
5	780,00	160,13	0,21
6	580,00	142,34	0,25
7	686,67	142,34	0,21
8	726,67	142,34	0,20
Media [mm ²]			0,22
Desviación Estándar [mm ²]			0,02
Coeficiente de Variación [%]			7,42
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$T = \frac{Carga}{Tex}$			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.9.2 HILO CON RESINA

Tabla 19. Tenacidad del hilo de cabuya con resina.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																																			
TENACIDAD																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra Nº</th> <th>Tex [g/km]</th> <th>Carga [N]</th> <th>Tenacidad [N/Tex]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>760,00</td><td>125,22</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>2</td><td>813,33</td><td>106,80</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>3</td><td>866,67</td><td>106,80</td><td>0,12</td></tr> <tr><td>4</td><td>740,00</td><td>99,44</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>5</td><td>906,67</td><td>147,31</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>6</td><td>733,33</td><td>110,49</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>7</td><td>740,00</td><td>103,12</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>8</td><td>780,00</td><td>136,27</td><td>0,17</td></tr> <tr> <td colspan="3">Media [mm²]</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Desviación Estándar [mm²]</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Coeficiente de Variación [%]</td> <td>12,44</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra Nº	Tex [g/km]	Carga [N]	Tenacidad [N/Tex]	1	760,00	125,22	0,16	2	813,33	106,80	0,13	3	866,67	106,80	0,12	4	740,00	99,44	0,13	5	906,67	147,31	0,16	6	733,33	110,49	0,15	7	740,00	103,12	0,14	8	780,00	136,27	0,17	Media [mm ²]			0,15	Desviación Estándar [mm ²]			0,02	Coeficiente de Variación [%]			12,44
Muestra Nº	Tex [g/km]	Carga [N]	Tenacidad [N/Tex]																																																
1	760,00	125,22	0,16																																																
2	813,33	106,80	0,13																																																
3	866,67	106,80	0,12																																																
4	740,00	99,44	0,13																																																
5	906,67	147,31	0,16																																																
6	733,33	110,49	0,15																																																
7	740,00	103,12	0,14																																																
8	780,00	136,27	0,17																																																
Media [mm ²]			0,15																																																
Desviación Estándar [mm ²]			0,02																																																
Coeficiente de Variación [%]			12,44																																																
FÓRMULAS A UTILIZAR																																																			
$T = \frac{Carga}{Tex}$																																																			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.11 MÓDULO YOUNG

3.1.1.11.1 HILO

Tabla 20. Módulo de Young del hilo de cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL								
MÓDULO DE YOUNG								
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	90,00	4,289	4,765	64,698	194,095	0,0049	0,0232	7086,634
2	95,00	5,010	5,274	64,867	194,600	0,0034	0,0228	6684,619
3	94,00	4,529	4,818	71,168	213,504	0,0021	0,0209	7586,635
4	90,00	4,088	4,543	94,638	208,204	0,0085	0,0214	8793,301
5	100,00	5,130	5,130	68,431	188,185	0,0076	0,0240	7287,271
6	90,00	4,249	4,721	79,836	239,508	0,0067	0,0258	8337,993
7	95,00	3,968	4,177	67,687	203,061	0,0042	0,0203	8443,729
8	90,00	4,609	5,121	64,867	185,333	0,0022	0,0249	5303,939
Media			4,819	$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$				7440,515
Desviación Estándar			0,358					1130,634
Coefficiente de Variación [%]			7,427					15,196

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.11.2 HILO CON RESINA

Tabla 21. Módulo de Young del hilo de cabuya con resina.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL								
MÓDULO DE YOUNG								
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	117,00	3,440	2,940	50,549	151,648	0,0038	0,0144	9497,524
2	110,00	5,640	5,127	40,921	122,762	0,0050	0,0261	3884,462
3	125,00	3,380	2,704	38,099	114,296	0,0044	0,0153	6980,029
4	125,00	3,032	2,426	45,096	127,773	0,0040	0,0130	9175,670
5	125,00	4,873	3,899	49,105	147,315	0,0037	0,0182	6787,765
6	116,00	3,964	3,417	45,096	135,289	0,0032	0,0158	7156,059
7	125,00	5,090	4,072	45,096	127,773	0,0036	0,0191	5331,115
8	97,00	5,025	5,180	56,660	162,896	0,0056	0,0261	5171,378
Media			3,721					6748,000
Desviación Estándar			1,047					1940,859
Coefficiente de Variación [%]			28,145					28,762
FÓRMULAS A UTILIZAR								
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$								

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.1.11.3 TEJIDO CON RESINA

Tabla 22. Módulo de Young del tejido de cabuya con resina.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL								
MÓDULO DE YOUNG								
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	105,00	5,812	5,535	56,275	167,282	0,0126	0,0336	5287,341
2	104,00	4,810	4,625	61,671	174,991	0,0150	0,0312	7000,832
3	107,00	4,850	4,533	50,878	151,864	0,0071	0,0225	6575,359
4	102,00	6,653	6,523	48,566	145,697	0,0165	0,0385	4413,986
5	103,00	6,712	6,516	47,871	144,251	0,0107	0,0309	4774,211
Media			5,304					5819,379
Desviación Estándar			0,930					1186,807
Coefficiente de Variación [%]			17,539					20,394
FÓRMULAS A UTILIZAR								
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$								

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2 FIBRA DE COCO

3.1.2.1 PRUEBA SEM

Al realizar la prueba sem en diferentes muestras de fibras de coco nos dio como resultado que el diámetro promedio es de $297.38 \mu\text{m}$, y que la fibra presenta cierta rugosidad la cual nos ayuda que se ligue a la mezcla de concreto.

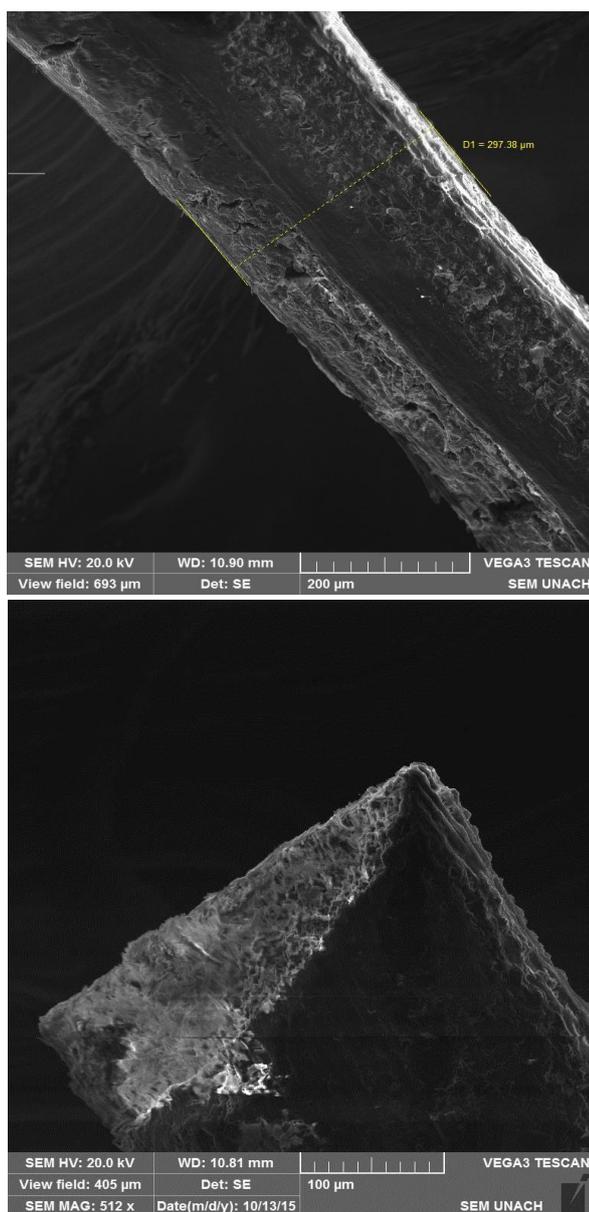


Figura 103. Prueba sem de la fibra de coco.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.2 DENSIDAD ESPECÍFICA

Tabla 23. Densidad específica de la fibra de coco.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>					
DENSIDAD ESPECÍFICA					
COCO					
Muestra N°	Masa de muestra al aire seca [g]	Masa muestra sumergida + canastilla + estructura [g]	Masa canastilla sumergida + estructura [g]	Masa de estructura [g]	Densidad [g/cm ³]
1	0,54	232,64	232,51	241,27	1,32
2	0,54	232,63	232,53	241,27	1,23
3	0,53	234,33	234,23	241,27	1,23
4	0,55	234,22	234,11	241,27	1,25
5	0,51	234,24	234,1	241,27	1,38
Media [g/cm ³]					1,28
Desviación Estándar [g/cm ³]					0,07
Coeficiente de Variación [%]					5,09
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$Densidad = \frac{A}{A + W - B}$					
<p>Donde:</p> <p>A : masa de muestra al aire seca</p> <p>W : masa canastilla sumergida</p> <p>B : masa muestra sumergida + canastilla</p>					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Tabla 24. Porcentaje de absorción de la fibra de coco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ABSORCIÓN DE LA FIBRA			
COCO			
Muestra N°	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	0,0234	0,0455	94,44
2	0,0160	0,0308	92,50
3	0,0223	0,0426	91,03
4	0,0109	0,0213	95,41
5	0,0149	0,0293	96,64
6	0,0253	0,0489	93,28
7	0,0128	0,0252	96,88
8	0,0194	0,0384	97,94
Media [%]			94,77
Desviación Estándar [%]			2,39
Coeficiente de Variación [%]			2,52
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$\%Asorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$			
Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.4 DENSIDAD LINEAL

Tabla 25. Densidad lineal de la fibra de coco.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																						
DENSIDAD LINEAL																																							
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra Nº</th><th>Peso [g]</th><th>Longitud [cm]</th><th>Densidad [g/km] = [Tex]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0,0094</td><td>16,50</td><td>56,97</td></tr><tr><td>2</td><td>0,0051</td><td>17,50</td><td>29,14</td></tr><tr><td>3</td><td>0,0090</td><td>20,20</td><td>44,55</td></tr><tr><td>4</td><td>0,0120</td><td>21,00</td><td>57,14</td></tr><tr><td>5</td><td>0,0058</td><td>16,50</td><td>35,15</td></tr><tr><td colspan="3">Media [Tex]</td><td>44,59</td></tr><tr><td colspan="3">Desviación Estándar [Tex]</td><td>12,63</td></tr><tr><td colspan="3">Coeficiente de Variación [%]</td><td>28,33</td></tr></tbody></table>				Muestra Nº	Peso [g]	Longitud [cm]	Densidad [g/km] = [Tex]	1	0,0094	16,50	56,97	2	0,0051	17,50	29,14	3	0,0090	20,20	44,55	4	0,0120	21,00	57,14	5	0,0058	16,50	35,15	Media [Tex]			44,59	Desviación Estándar [Tex]			12,63	Coeficiente de Variación [%]			28,33
Muestra Nº	Peso [g]	Longitud [cm]	Densidad [g/km] = [Tex]																																				
1	0,0094	16,50	56,97																																				
2	0,0051	17,50	29,14																																				
3	0,0090	20,20	44,55																																				
4	0,0120	21,00	57,14																																				
5	0,0058	16,50	35,15																																				
Media [Tex]			44,59																																				
Desviación Estándar [Tex]			12,63																																				
Coeficiente de Variación [%]			28,33																																				

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.5 ÁREA TRANSVERSAL

Tabla 26. Área transversal de las fibras de coco.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																							
ÁREA TRANSVERSAL																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra Nº</th> <th>Tex [g/km]</th> <th>Densidad [g/cm³]</th> <th>Área [mm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>56,97</td> <td>1,28</td> <td>0,0445</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>29,14</td> <td>1,28</td> <td>0,0228</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>44,55</td> <td>1,28</td> <td>0,0348</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>57,14</td> <td>1,28</td> <td>0,0446</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>35,15</td> <td>1,28</td> <td>0,0275</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Media [mm²]</td> <td></td> <td>0,0348</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Desviación Estándar [mm²]</td> <td></td> <td>0,0099</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Coeficiente de Variación [%]</td> <td></td> <td>28,334</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra Nº	Tex [g/km]	Densidad [g/cm³]	Área [mm²]	1	56,97	1,28	0,0445	2	29,14	1,28	0,0228	3	44,55	1,28	0,0348	4	57,14	1,28	0,0446	5	35,15	1,28	0,0275	Media [mm²]			0,0348	Desviación Estándar [mm²]			0,0099	Coeficiente de Variación [%]			28,334
Muestra Nº	Tex [g/km]	Densidad [g/cm³]	Área [mm²]																																				
1	56,97	1,28	0,0445																																				
2	29,14	1,28	0,0228																																				
3	44,55	1,28	0,0348																																				
4	57,14	1,28	0,0446																																				
5	35,15	1,28	0,0275																																				
Media [mm²]			0,0348																																				
Desviación Estándar [mm²]			0,0099																																				
Coeficiente de Variación [%]			28,334																																				
FÓRMULAS A UTILIZAR																																							
$A_{tr} = \frac{Tex}{\rho_{fib}}$																																							
<p>Donde:</p> <p style="margin-left: 40px;">A_{tr} : área transversal de la fibra Tx : Tex de la fibra ρ_{fib} : densidad específica de la fibra</p>																																							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.6 TENACIDAD

Tabla 27. Tenacidad de las fibras de coco.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																				
TENACIDAD																																				
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra N°</th><th>Tex [g/km]</th><th>Carga [N]</th><th>Tenacidad [N/Tex]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>56,97</td><td>37,79</td><td>0,66</td></tr><tr><td>2</td><td>29,14</td><td>21,59</td><td>0,74</td></tr><tr><td>3</td><td>44,55</td><td>21,59</td><td>0,48</td></tr><tr><td>4</td><td>57,14</td><td>37,79</td><td>0,66</td></tr><tr><td>5</td><td>35,15</td><td>26,99</td><td>0,77</td></tr><tr><td colspan="3">Media [mm²]</td><td>0,66</td></tr><tr><td colspan="3">Desviación Estándar [mm²]</td><td>0,11</td></tr><tr><td colspan="3">Coeficiente de Variación [%]</td><td>16,66</td></tr></tbody></table>	Muestra N°	Tex [g/km]	Carga [N]	Tenacidad [N/Tex]	1	56,97	37,79	0,66	2	29,14	21,59	0,74	3	44,55	21,59	0,48	4	57,14	37,79	0,66	5	35,15	26,99	0,77	Media [mm²]			0,66	Desviación Estándar [mm²]			0,11	Coeficiente de Variación [%]			16,66
Muestra N°	Tex [g/km]	Carga [N]	Tenacidad [N/Tex]																																	
1	56,97	37,79	0,66																																	
2	29,14	21,59	0,74																																	
3	44,55	21,59	0,48																																	
4	57,14	37,79	0,66																																	
5	35,15	26,99	0,77																																	
Media [mm²]			0,66																																	
Desviación Estándar [mm²]			0,11																																	
Coeficiente de Variación [%]			16,66																																	
FÓRMULAS A UTILIZAR																																				
$T = \frac{Carga}{Tex}$																																				

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.7 ENSAYO DE TRACCIÓN

Tabla 28. Ensayo de tracción de las fibras de coco.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																				
RESISTENCIA A TRACCIÓN																																				
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra N°</th><th>Carga [N]</th><th>Área [mm²]</th><th>Resistencia a Tracción [MPa]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>37,786</td><td>0,045</td><td>848,988</td></tr><tr><td>2</td><td>21,592</td><td>0,023</td><td>948,365</td></tr><tr><td>3</td><td>21,592</td><td>0,035</td><td>620,321</td></tr><tr><td>4</td><td>37,786</td><td>0,045</td><td>846,416</td></tr><tr><td>5</td><td>26,990</td><td>0,027</td><td>982,819</td></tr><tr><td colspan="3">Media [MPa]</td><td>849,38</td></tr><tr><td colspan="3">Desviación Estándar [MPa]</td><td>141,49</td></tr><tr><td colspan="3">Coeficiente de Variación [%]</td><td>16,66</td></tr></tbody></table>	Muestra N°	Carga [N]	Área [mm²]	Resistencia a Tracción [MPa]	1	37,786	0,045	848,988	2	21,592	0,023	948,365	3	21,592	0,035	620,321	4	37,786	0,045	846,416	5	26,990	0,027	982,819	Media [MPa]			849,38	Desviación Estándar [MPa]			141,49	Coeficiente de Variación [%]			16,66
Muestra N°	Carga [N]	Área [mm²]	Resistencia a Tracción [MPa]																																	
1	37,786	0,045	848,988																																	
2	21,592	0,023	948,365																																	
3	21,592	0,035	620,321																																	
4	37,786	0,045	846,416																																	
5	26,990	0,027	982,819																																	
Media [MPa]			849,38																																	
Desviación Estándar [MPa]			141,49																																	
Coeficiente de Variación [%]			16,66																																	
FÓRMULAS A UTILIZAR																																				
<p>Donde:</p> $R = \frac{Carga}{Área}$ <p>R : resistencia a tracción</p>																																				

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

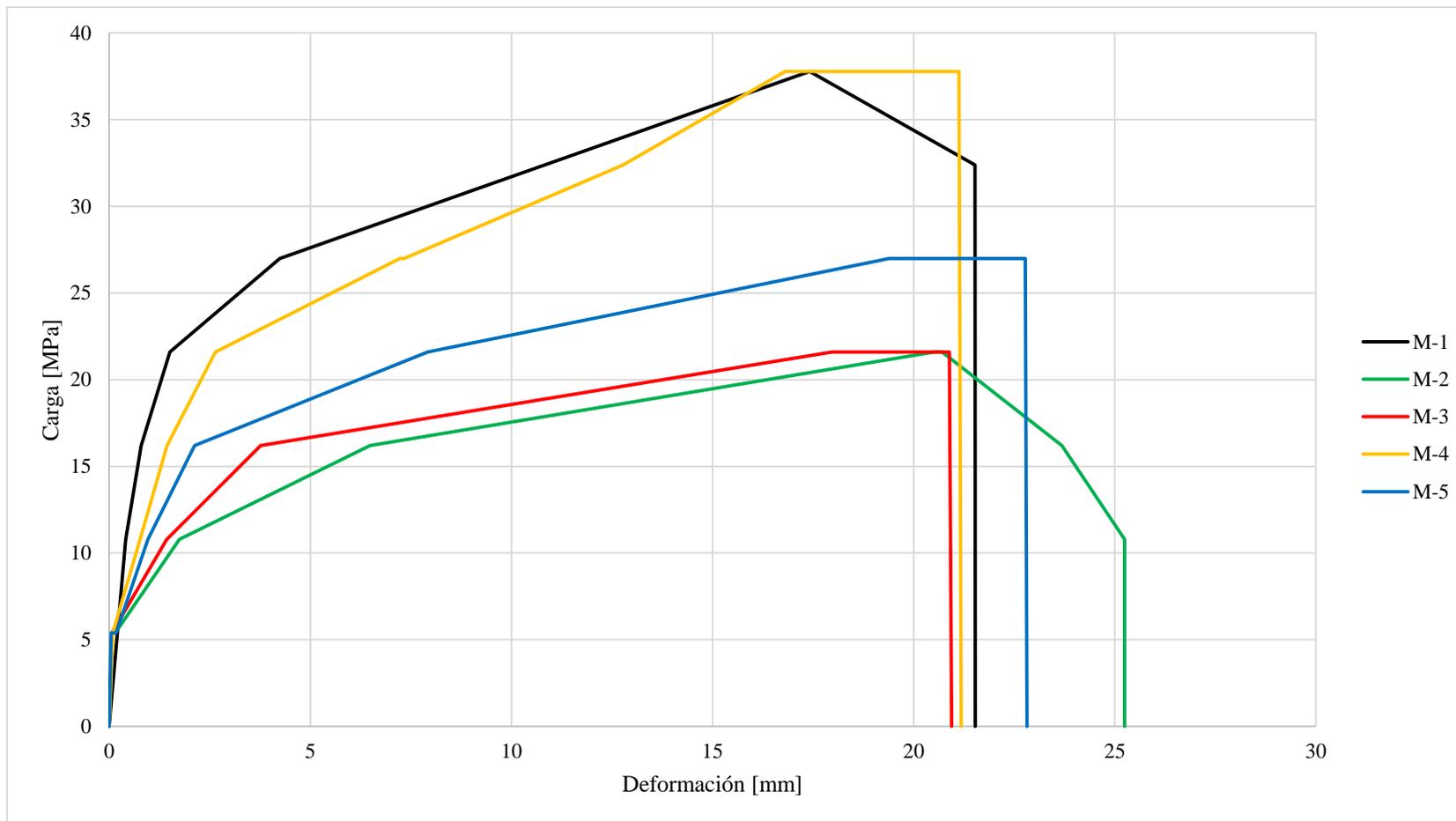


Figura 104. Resultados del ensayo de tracción de las fibras de coco.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.1.2.8 MÓDULO DE YOUNG

Tabla 29. Módulo de Young a tracción de las fibras de coco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL								
MÓDULO DE YOUNG								
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	73,00	1,505	2,062	242,568	606,420	0,0056	0,0581	6938,039
2	103,00	20,707	20,104	237,091	711,274	0,0006	0,0630	7605,124
3	118,00	20,891	17,704	155,080	465,241	0,0006	0,0319	9881,450
4	143,00	21,129	14,776	241,833	604,583	0,0054	0,0505	8036,649
5	95,00	22,775	23,974	196,564	786,255	0,0018	0,0833	7234,702
Media			15,72					7939,19
Desviación Estándar			8,35					1161,04
Coefficiente de Variación [%]			53,09					14,62
FÓRMULAS A UTILIZAR								
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$								

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ CEMENTICIA

3.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
AGREGADO FINO							
PESO TOTAL DE LA MUESTRA [g]:						1063	
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos	
						Inferior	Superior
Nº 20	0,84	2,00	0,19	0,19	99,81	100	100
Nº 30	0,60	135,00	13,04	13,24	86,76	95	100
Nº 40	0,43	183,00	17,68	30,92	69,08	80	100
Nº 50	0,30	183,00	17,68	48,60	51,40	50	85
Nº 60	0,25	68,00	6,57	55,17	44,83	25	60
Nº 100	0,15	230,00	22,22	77,39	22,61	5	30
Nº 200	0,07	147,00	14,20	91,59	8,41	0	10
Pasa Nº 200		87,00	8,41	100,00	0,00	0	0
Total		1035,00	100,00				
% Pérdida de Material:						2,63	
Coeficiente de Uniformidad (Cu):						4,19	
Coeficiente de Curvatura (Cc):						0,15	
Módulo de finura						3,17	
Tamaño Máximo (TM) [mm]						0,84	
Tamaño Máximo Nominal (TMN) [mm]						0,60	
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$				$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$			
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$				$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$			
$Cu = \frac{D60}{D10}$				$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$			
<small>D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material</small>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

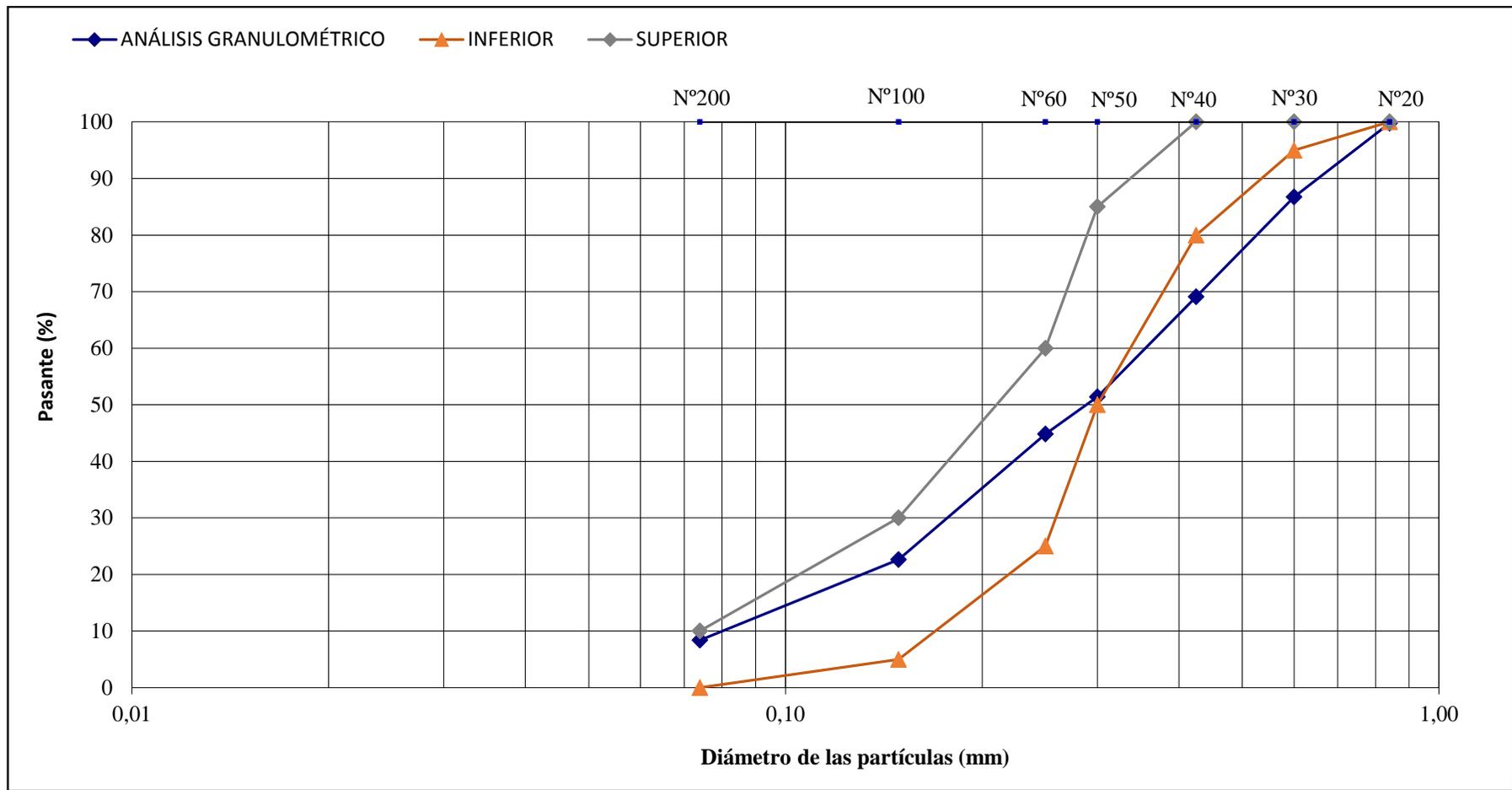


Figura 105. Análisis granulométrico del agregado fino.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.2 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Tabla 31. Porcentaje de absorción del agregado fino.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
ABSORCIÓN DE ARENA TAMIZADA						
<table border="1"><thead><tr><th>Peso Seco [g]</th><th>Peso SSS [g]</th><th>% Absorción</th></tr></thead><tbody><tr><td>376,90</td><td>383,90</td><td>1,857</td></tr></tbody></table>	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción	376,90	383,90	1,857
Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción				
376,90	383,90	1,857				
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\%Absorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$ <p>Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca</p>						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.3 MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO

Tabla 32. Masa unitaria suelta del agregado fino.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
	MASA UNITARIA SUELTA DE ARENA TAMIZADA					
PROCEDIMIENTO POR PALADAS						
Muestra N°	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m³]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra + Placa de vidrio [kg]	Masa Unitaria Suelta [kg/m³]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,180	0,152	0,00327	2,656	6,858	1286,49
2	0,180	0,152	0,00327	2,656	6,848	1283,43
3	0,180	0,152	0,00327	2,656	6,855	1285,57
4	0,180	0,152	0,00327	2,656	6,855	1285,57
5	0,180	0,152	0,00327	2,656	6,841	1281,29
Media [kg/m³]						1284,96
Desviación Estándar [kg/m³]						2,11
Coeficiente de Variación [%]						0,16
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$M = \frac{G-T}{V}$						
M : masa unitaria suelta del árido G : peso del árido y molde T : peso del cilindro V : volumen del cilindro						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.4 MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

Tabla 33. Masa unitaria compactada del agregado fino.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
MASA UNITARIA COMPACTADA DE ARENA TAMIZADA						
PROCEDIMIENTO POR VARILLADO						
Muestra Nº	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m³]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra [kg]	Masa Unitaria Compactada [kg/m³]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,180	0,152	0,00327	2,656	7,320	1427,94
2	0,180	0,152	0,00327	2,656	7,325	1429,47
3	0,180	0,152	0,00327	2,656	7,324	1429,16
4	0,180	0,152	0,00327	2,656	7,325	1429,47
5	0,180	0,152	0,00327	2,656	7,326	1429,77
Media [kg/m³]						1428,70
Desviación Estándar [kg/m³]						0,72
Coeficiente de Variación [%]						0,05
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$M = \frac{G - T}{V}$						
<p>M : masa unitaria compactada del árido G : peso del árido y molde T : peso del cilindro V : volumen del cilindro</p>						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.5 DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

Tabla 34. Alternativas de dosificación para el mortero.

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
DOSIFICACIÓN DEL MORTERO						
<p>DOSIFICACIÓN 1 (SEGÚN LA NORMA NTE INEN 155)</p> <table border="1"><thead><tr><th>CEMENTO</th><th>ARENA</th><th>a/c</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>2,75</td><td>0,45</td></tr></tbody></table>	CEMENTO	ARENA	a/c	1	2,75	0,45
CEMENTO	ARENA	a/c				
1	2,75	0,45				
<p>DOSIFICACIÓN 2 (EXPERIENCIA)</p> <table border="1"><thead><tr><th>CEMENTO</th><th>ARENA</th><th>a/c</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>2</td><td>0,4</td></tr></tbody></table>	CEMENTO	ARENA	a/c	1	2	0,4
CEMENTO	ARENA	a/c				
1	2	0,4				

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.6 RESISTENCIA A COMPRESIÓN (7 DÍAS)

3.2.6.1 DOSIFICACIÓN 1

Tabla 35. Resistencia a compresión del mortero 7 días - Dosificación 1

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA				
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS						
Dosificación 1						
Muestra N°	Edad	L1 [mm]	L2 [mm]	Área [mm²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	7	54,55	49,59	2705,13	37630	13,91
2	7	49,83	49,74	2478,54	35175	14,19
Media [MPa]						14,05
Desviación Estándar [MPa]						0,20
Coeficiente de Variación [%]						1,42

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.6.2 DOSIFICACIÓN 2

Tabla 36. Resistencia a compresión del mortero 7 días - Dosificación 2

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS						
Dosificación 2						
Muestra N°	Edad	L1 [mm]	L2 [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	7	50,56	50,31	2543,67	44287	17,41
2	7	50,08	50,46	2527,04	44948	17,79
Media [MPa]						17,60
Desviación Estándar [MPa]						0,27
Coeficiente de Variación [%]						1,51
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{F}{A}$						
<p>Donde:</p> <p>R : resistencia a la compresión</p> <p>F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo</p> <p>A : área de sección transversal</p>						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.7 RESISTENCIA A COMPRESIÓN (28 DÍAS)

3.2.7.1 DOSIFICACIÓN 1

Tabla 37. Resistencia a compresión del motero 28 días - Dosificación 1

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA				
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS						
Dosificación 1						
Muestra N°	Edad	L1 [mm]	L2 [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	28	49,70	50,50	2509,85	59258	23,61
2	28	49,54	50,59	2506,23	66667	26,60
3	28	50,41	50,10	2525,54	61190	24,23
Media [MPa]						24,81
Desviación Estándar [MPa]						1,58
Coeficiente de Variación [%]						6,36

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.7.2 DOSIFICACIÓN 2

Tabla 38. Resistencia a compresión del motero 28 días - Dosificación 2

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
	ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS					
Dosificación 2						
Muestra N°	Edad	L1 [mm]	L2 [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	28	50,71	51,21	2596,86	79698	30,69
2	28	50,61	50,48	2554,79	84939	33,25
3	28	50,65	50,52	2558,84	79651	31,13
4	28	50,94	50,60	2577,56	77715	30,15
Media [MPa]						31,30
Desviación Estándar [MPa]						1,36
Coeficiente de Variación [%]						4,33
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{F}{A}$						
Donde:						
R : resistencia a la compresión						
F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo						
A : área de sección transversal						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.8 RESISTENCIA A FLEXIÓN (28 DÍAS)

3.2.8.1 DOSIFICACIÓN 1

Tabla 39. Resistencia a flexión del motero 28 días - Dosificación 1

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN						
DOSIFICACIÓN 1						
Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	28	40,00	40,00	100,00	2183,968	5,12
2	28	40,00	40,00	100,00	2695,859	6,32
Media [MPa]						5,72
Desviación Estándar [MPa]						0,85
Coeficiente de Variación [%]						14,84
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.8.2 DOSIFICACIÓN 2

Tabla 40. Resistencia a flexión del motero 28 días - Dosificación 2

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																										
<p>ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN</p>																																											
<p>DOSIFICACIÓN 2</p>																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Muestra N°</th> <th>Edad</th> <th>Ancho [mm]</th> <th>Espesor [mm]</th> <th>Luz entre soportes [mm]</th> <th>Carga máxima [N]</th> <th>Módulo de rotura [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">40,00</td> <td style="text-align: center;">40,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">2681,128</td> <td style="text-align: center;">6,28</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">40,00</td> <td style="text-align: center;">40,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">2485,936</td> <td style="text-align: center;">5,83</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Media [MPa]</td> <td style="text-align: center;">6,06</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Desviación Estándar [MPa]</td> <td style="text-align: center;">0,32</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Coeficiente de Variación [%]</td> <td style="text-align: center;">5,34</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]	1	28	40,00	40,00	100,00	2681,128	6,28	2	28	40,00	40,00	100,00	2485,936	5,83	Media [MPa]						6,06	Desviación Estándar [MPa]						0,32	Coeficiente de Variación [%]						5,34	
Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]																																					
1	28	40,00	40,00	100,00	2681,128	6,28																																					
2	28	40,00	40,00	100,00	2485,936	5,83																																					
Media [MPa]						6,06																																					
Desviación Estándar [MPa]						0,32																																					
Coeficiente de Variación [%]						5,34																																					
<p>FÓRMULAS A UTILIZAR</p>																																											
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$																																											
<p>R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes</p>																																											

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.9 FLUIDEZ EN MORTEROS

3.2.9.1 DOSIFICACIÓN 1

Tabla 41. Fluidez en morteros - Dosificación 1

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																				
FLUIDEZ EN MORTEROS																					
DOSIFICACIÓN 1 "Cemento Chimborazo"																					
MUESTRA 1	MUESTRA 2																				
<table border="1"><thead><tr><th>Lectura N°</th><th>Diámetro del mortero [%]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>128,00</td></tr><tr><td>2</td><td>127,50</td></tr><tr><td>3</td><td>129,00</td></tr><tr><td>4</td><td>129,00</td></tr></tbody></table>	Lectura N°	Diámetro del mortero [%]	1	128,00	2	127,50	3	129,00	4	129,00	<table border="1"><thead><tr><th>Lectura N°</th><th>Diámetro del mortero [%]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>126,00</td></tr><tr><td>2</td><td>125,00</td></tr><tr><td>3</td><td>126,00</td></tr><tr><td>4</td><td>126,00</td></tr></tbody></table>	Lectura N°	Diámetro del mortero [%]	1	126,00	2	125,00	3	126,00	4	126,00
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]																				
1	128,00																				
2	127,50																				
3	129,00																				
4	129,00																				
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]																				
1	126,00																				
2	125,00																				
3	126,00																				
4	126,00																				
<table border="1"><tbody><tr><td>Media [%]</td><td>127,06</td></tr><tr><td>Desv. Estándar [%]</td><td>1,52</td></tr><tr><td>Coef. de Variación [%]</td><td>1,20</td></tr></tbody></table>	Media [%]	127,06	Desv. Estándar [%]	1,52	Coef. de Variación [%]	1,20															
Media [%]	127,06																				
Desv. Estándar [%]	1,52																				
Coef. de Variación [%]	1,20																				

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.9.2 DOSIFICACIÓN 2

Tabla 42. Fluidez en morteros - Dosificación 2

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																									
FLUIDEZ EN MORTEROS																									
DOSIFICACIÓN 2 "Cemento Chimborazo"																									
<table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"><thead><tr><th colspan="2">MUESTRA 1</th></tr></thead><tbody><tr><th>Lectura N°</th><th>Diámetro del mortero [%]</th></tr><tr><td>1</td><td>123,00</td></tr><tr><td>2</td><td>123,00</td></tr><tr><td>3</td><td>124,00</td></tr><tr><td>4</td><td>124,00</td></tr></tbody></table> <table border="1" style="display: inline-table;"><thead><tr><th colspan="2">MUESTRA 2</th></tr></thead><tbody><tr><th>Lectura N°</th><th>Diámetro del mortero [%]</th></tr><tr><td>1</td><td>123,00</td></tr><tr><td>2</td><td>124,00</td></tr><tr><td>3</td><td>125,00</td></tr><tr><td>4</td><td>125,00</td></tr></tbody></table>		MUESTRA 1		Lectura N°	Diámetro del mortero [%]	1	123,00	2	123,00	3	124,00	4	124,00	MUESTRA 2		Lectura N°	Diámetro del mortero [%]	1	123,00	2	124,00	3	125,00	4	125,00
MUESTRA 1																									
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]																								
1	123,00																								
2	123,00																								
3	124,00																								
4	124,00																								
MUESTRA 2																									
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]																								
1	123,00																								
2	124,00																								
3	125,00																								
4	125,00																								
<table border="1"><tbody><tr><td>Media [%]</td><td>123,88</td></tr><tr><td>Desviación Estándar [%]</td><td>0,83</td></tr><tr><td>Coef. de Variación [%]</td><td>0,67</td></tr></tbody></table>		Media [%]	123,88	Desviación Estándar [%]	0,83	Coef. de Variación [%]	0,67																		
Media [%]	123,88																								
Desviación Estándar [%]	0,83																								
Coef. de Variación [%]	0,67																								

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Realizado los ensayos de fluidez, flexión y compresión de las dos dosificaciones propuestas, se determinó que la dosificación óptima para utilizar como matriz cementicia es la dosificación 2. Escogida la dosificación se procedió a realizar los siguientes ensayos:

3.2.10 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Tabla 43. Resistencia a compresión - Dosificación óptima.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS						
Dosificación 2						
Muestra N°	Edad	L1 [mm]	L2 [mm]	Área [mm²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	28	50,45	50,44	2544,70	77290	30,37
2	28	50,99	50,51	2575,50	85220	33,09
3	28	50,89	50,49	2569,44	73654	28,67
4	28	51,04	50,51	2578,03	89093	34,56
5	28	51,01	50,89	2595,90	80737	31,10
6	28	50,56	50,64	2560,36	95373	37,25
7	28	50,09	50,78	2543,57	82531	32,45
8	28	50,20	50,92	2556,18	92540	36,20
Media [MPa]						32,96
Desviación Estándar [MPa]						2,94
Coeficiente de Variación [%]						8,91
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{F}{A}$						
Donde: R : resistencia a la compresión F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo A : área de sección transversal						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.10.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Tabla 44. Módulo de Elasticidad a compresión del mortero.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																					
MÓDULO DE ELASTICIDAD																					
Muestra N°	Deformación																				
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U	Def. 40%														
1	50,00	0,4490	0,8980	1,9529	14,8417	0,00005	0,002320														
2	50,00	0,4390	0,8780	2,7520	13,3670	0,00005	0,001620														
3	50,00	0,4280	0,8560	1,9560	14,4747	0,00005	0,002420														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra N°</th> <th>Módulo de Elasticidad [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>5677,895</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6761,147</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5282,135</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>5907,059</td> </tr> <tr> <td>Desviación Estándar</td> <td>765,674</td> </tr> <tr> <td>Coef de Variación [%]</td> <td>12,962</td> </tr> </tbody> </table>								Muestra N°	Módulo de Elasticidad [MPa]	1	5677,895	2	6761,147	3	5282,135	Media	5907,059	Desviación Estándar	765,674	Coef de Variación [%]	12,962
Muestra N°	Módulo de Elasticidad [MPa]																				
1	5677,895																				
2	6761,147																				
3	5282,135																				
Media	5907,059																				
Desviación Estándar	765,674																				
Coef de Variación [%]	12,962																				
FÓRMULAS A UTILIZAR																					
$E = \frac{Esf.40\% - Esf0,00005DefU.}{Def.40\% - 0,00005}$																					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

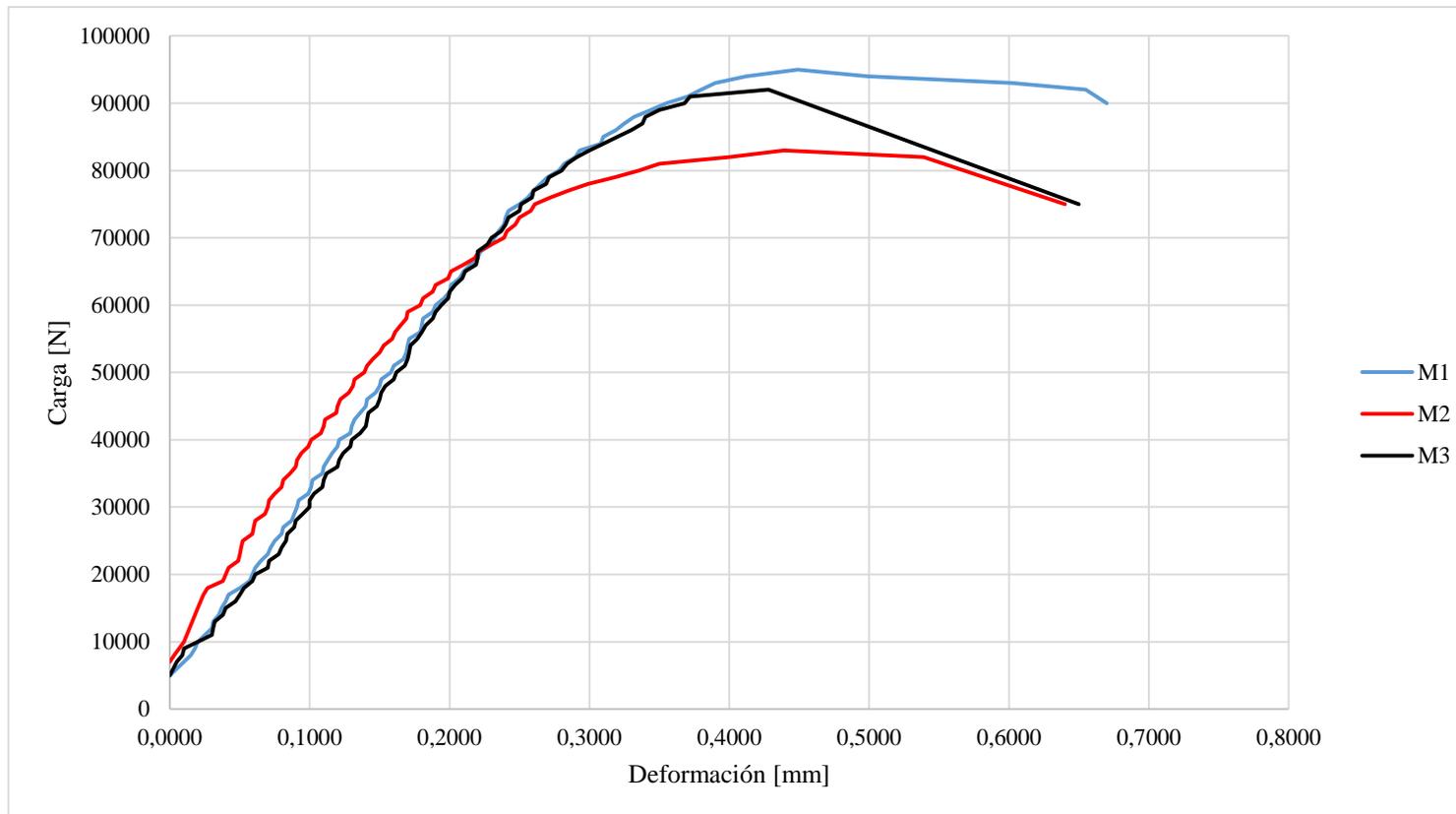


Figura 106. Curvas carga vs deformación del ensayo a compresión del mortero.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.11 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Tabla 45. Resistencia a flexión del mortero.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN						
DOSIFICACIÓN ÓPTIMA						
Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	28	40,00	40,00	100,00	2920,514	6,84
2	28	40,00	40,00	100,00	3207,858	7,52
3	28	40,00	40,00	100,00	3399,287	7,97
4	28	40,00	40,00	100,00	3205,674	7,51
5	28	40,00	40,00	100,00	2967,004	6,95
Media [MPa]						7,36
Desviación Estándar [MPa]						0,46
Coeficiente de Variación [%]						6,25
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
<p>R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes</p>						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.12 MÓDULO DE YOUNG

Tabla 46. Módulo de Young a flexión del mortero.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL									
MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	Carga [N]	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	2920,51	40	0,346555	0,8664	0,74412	2,01119	0,0006417	0,0029782	542,29
2	3207,86	40	0,281224	0,7031	0,98222	2,94169	0,0002707	0,0021660	1033,90
3	3399,29	40	0,346555	0,8664	1,33792	2,55499	0,0005415	0,0024367	642,18
4	3205,67	40	0,335725	0,8393	1,26023	3,56490	0,0005415	0,0029782	945,81
5	2967,00	40	0,249086	0,6227	1,04444	3,09879	0,0002707	0,0029782	758,77
Media									784,59
Desviación Estándar									204,82
Coficiente de Variación [%]									26,11
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.13 DEFLEXIÓN

Tabla 47. Deflexión del mortero.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	L [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	2920.51	213333.333	100	5907.06	0.3466	0.0483
2	3207.86	213333.333	100	5907.06	0.2812	0.0530
3	3399.29	213333.333	100	5907.06	0.3466	0.0562
4	3205.67	213333.333	100	5907.06	0.3357	0.0530
5	2967.00	213333.333	100	5907.06	0.2491	0.0491
Media [mm]					0.3118	0.0519
Desviación Estándar [mm]					0.0443	0.0032
Coefficiente de Variación [%]					14.21	6.25
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde:						
Δ : deflexión P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

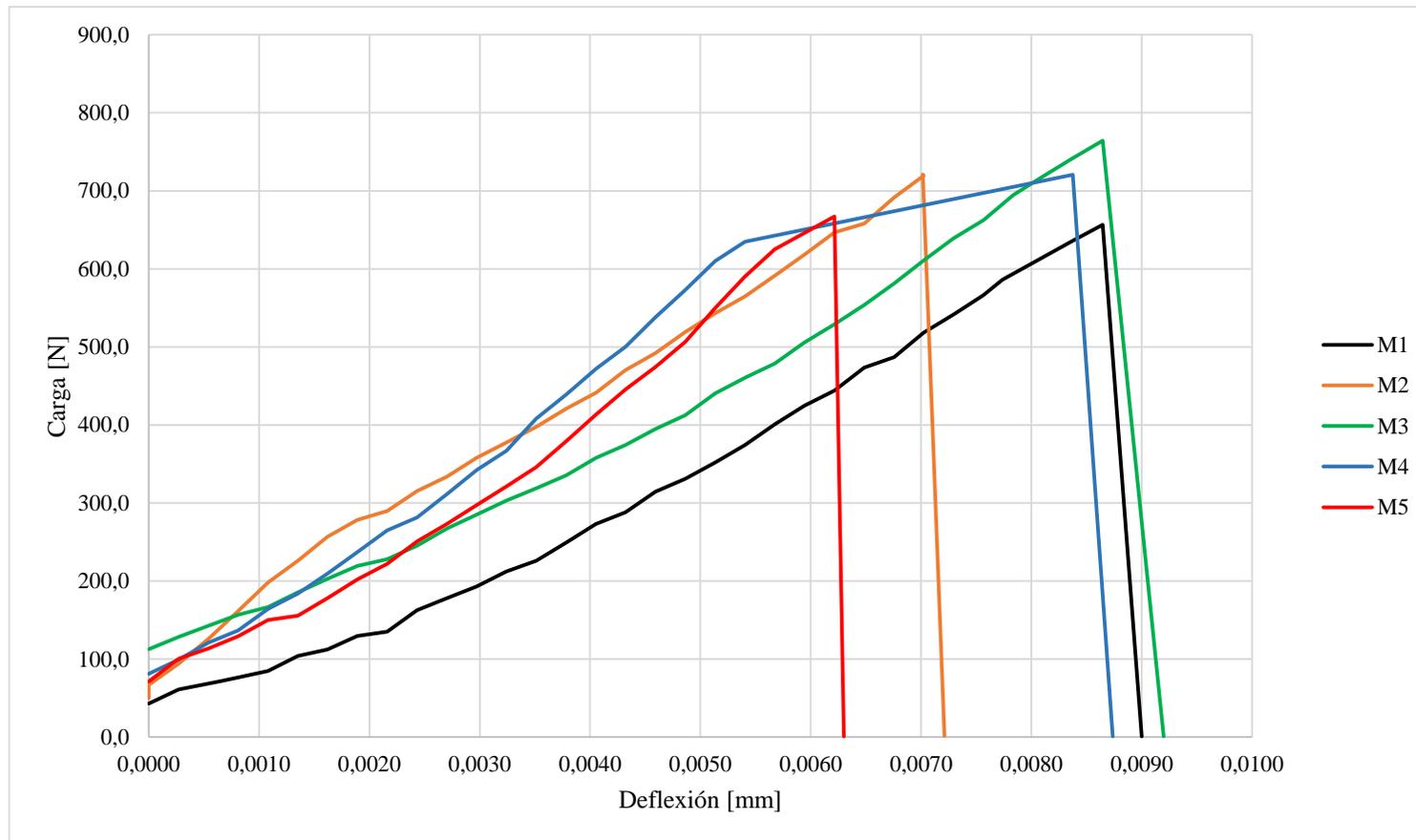


Figura 107. Curvas carga vs deflexión del mortero.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.14 DENSIDAD DEL MORTERO

3.2.14.1 ESTADO FRESCO

Tabla 48. Densidad del mortero en estado fresco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
DENSIDAD DEL MORTERO							
ESTADO FRESCO							
Muestra Nº	Medidas del Molde		Volumen del Molde [cm³]	Peso del Molde [g]	Peso del Molde + Muestra [g]	Peso de la Muestra [g]	Densidad [g/cm³]
	h [cm]	d [cm]					
1	16,08	15,38	2987,37	3149,00	9182,00	6033,00	2,02
2	16,08	15,38	2987,37	3149,00	9321,00	6172,00	2,07
3	16,08	15,38	2987,37	3149,00	9350,00	6201,00	2,08
Media [g/cm³]							2,05
Desviación Estándar [g/cm³]							0,03
Coeficiente de Variación [%]							1,46
FÓRMULAS A UTILIZAR							
Densidad = $\frac{\text{Peso de la Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.14.2 ESTADO ENDURECIDO

Tabla 49. Densidad del mortero en estado endurecido.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
	DENSIDAD DEL MORTERO					
ESTADO ENDURECIDO						
Muestra Nº	L1 [mm]	L2 [mm]	Promedio de Longitudes [mm]	Volumen [mm³]	Peso [g]	Densidad [g/cm³]
1	50,30	49,96	50,13	125977,54	255,00	2,02
2	50,10	50,15	50,13	125939,85	260,20	2,07
3	50,15	50,31	50,23	126732,95	258,10	2,04
4	50,29	50,30	50,30	127225,58	258,10	2,03
5	50,27	50,19	50,23	126732,95	257,00	2,03
Media [g/cm³]						2,04
Desviación Estándar [g/cm³]						0,02
Coeficiente de Variación [%]						0,84
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.15 TIEMPO DE FRAGUADO

Tabla 50. Tiempo de fraguado. Método Vicat.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO VICAT						
Método A. APARATO MANUAL DE AGUJA DE VICAT						
Hora	Lapso [min]	Tiempo [min]	Penetración [mm]	Humedad [%]	Temperatura [°C]	
12:13 pm	0	0	42	44	13	
12:28 pm	15	15	42	40	15	
12:43 pm	15	30	40	41	16	
12:58 pm	15	45	30	51	10	
13:03 pm	5	50	27	53	9	
13:06 pm	3	53	21	55	8	
13:09 pm	3	56	15	57	7	
13:12 pm	3	59	9	57	7	
13:15 pm	3	62	8	58	7	
13:18 pm	3	65	8	55	8	
13:21 pm	3	68	7	53	6	
13:24 pm	3	71	7	53	6	
13:27 pm	3	74	7	53	9	
13:32 pm	5	79	7	50	8	
13:37 pm	5	84	5	46	9	
13:42 pm	5	89	3	44	12	
13:47 pm	5	94	2	42	13	
13:52 pm	5	99	2	37	17	
13:57 pm	5	104	2	33	21	
14:02 pm	5	109	2	32	28	
14:07 pm	5	114	2	29	30	
14:12 pm	5	119	1	28	29	
14:17 pm	5	124	1	26	31	
14:22 pm	5	129	0	26	31	

Tiempo de fraguado inicial: 53 min
 Tiempo de fraguado final: 129 min

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

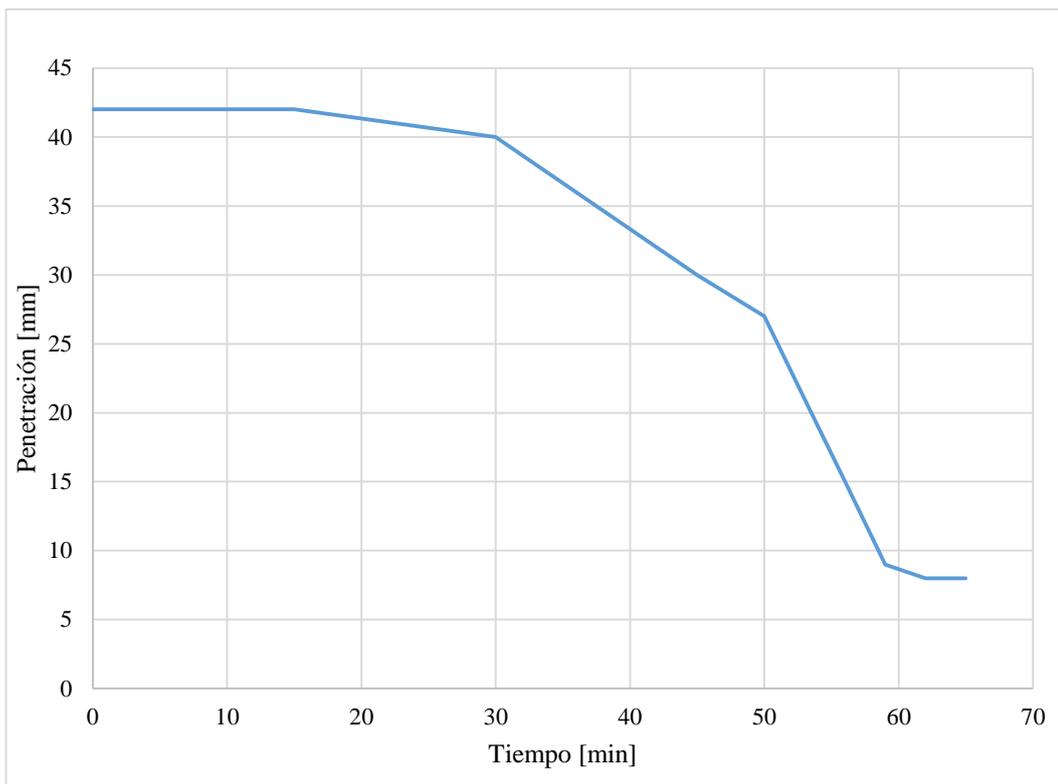


Figura 108. Curva tiempo de fraguado vs penetración.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.2.16 CONTENIDO DE AIRE

Tabla 51. Contenido de aire en el mortero.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	
	CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS	
	Muestra N°	Contenido de aire [%]
	1	3,15
	2	3,70
	3	3,43
	Media [%]	3,20
	Desviación Estándar [%]	0,25
	Coeficiente de Variación [%]	7,86

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO FRCM REFORZADO CON TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA

3.3.1 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Tabla 52. Porcentaje de absorción del FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO			
Muestra N°	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	98,50	113,60	15,33
2	69,80	80,60	15,47
3	66,70	78,00	16,94
4	101,00	116,30	15,15
5	92,30	109,70	18,85
6	64,30	74,90	16,49
7	144,40	170,20	17,87
Media [%]			16,59
Desviación Estándar [%]			1,40
Coeficiente de Variación [%]			8,45
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$\%Asorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$			
Peso SSS: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.2 ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Tabla 53. Absorción del FRCM por capilaridad.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL												
ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD												
ÁREA												
Muestra Nº	Figura	Longitud [mm]				Base [mm]				Área [mm ²]		
		L1	L2	L3	L4	b1	b2	b3	b4			
1	Trapecio	101.68	101.74	102.09	103.55	50.33	50.21	50.23	50.23	5136.36		
2	Trapecio	74.32	74.46	76.18	78.04	50.88	50.84	50.83	50.88	3858.91		
3	Rectángulo	73.25	73.61	73.85	73.53	50.10	49.97	49.66	49.82	3669.72		
4	Rectángulo	103.76	103.68	103.83	103.29	50.83	50.73	50.45	50.34	5242.89		
5	Trapecio	100.84	100.58	99.69	99.62	49.68	49.52	49.52	49.69	4978.56		
6	Rectángulo	74.11	74.43	74.74	74.61	49.20	49.24	49.25	49.22	3666.09		
7	Rectángulo	155.18	153.68	153.49	153.39	50.00	49.92	49.97	49.97	7691.36		
PESO												
Muestra Nº	Peso Seco [g]	Peso por tiempo [g]										
		1 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	60 min	90 min	120 min	360 min	24 hrs
1	98.50	106.90	109.40	109.60	110.90	110.90	111.50	111.80	111.80	111.90	112.00	112.70
2	66.80	71.00	71.50	71.90	72.50	72.90	73.30	75.77	77.30	77.40	79.70	80.40
3	66.70	70.60	72.70	74.40	76.00	76.40	76.50	76.70	76.80	76.80	77.00	77.50
4	98.66	104.20	105.80	106.50	107.40	108.40	109.30	112.00	112.88	113.50	115.50	116.30
5	95.30	104.80	106.40	106.80	107.20	107.20	107.40	107.57	108.10	108.10	108.10	108.70
6	63.30	67.60	70.00	71.70	73.60	74.20	73.70	73.70	73.80	73.80	74.00	74.50
7	144.40	156.90	161.30	162.30	163.50	164.30	165.40	167.10	167.13	167.30	168.00	168.80
ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD [g/100cm ²]												
Muestra Nº	1	3	5	10	15	20	60	90	120	360	1440	
1	16.35	21.22	21.61	24.14	24.14	25.31	25.89	25.89	26.09	26.28	27.65	
2	10.88	12.18	13.22	14.77	15.81	16.84	23.24	27.21	27.47	33.43	35.24	
3	10.63	16.35	20.98	25.34	26.43	26.71	27.25	27.52	27.52	28.07	29.43	
4	10.57	13.62	14.95	16.67	18.58	20.29	25.44	27.12	28.31	32.12	33.65	
5	19.08	22.30	23.10	23.90	23.90	23.90	24.30	24.65	25.71	25.71	26.92	
6	11.73	18.28	22.91	28.10	29.73	28.37	28.37	28.64	28.64	29.19	30.55	
7	16.25	21.97	23.27	24.83	25.87	27.30	29.51	29.55	29.77	30.68	31.72	
Media [g/100cm²]	13.64	17.99	20.01	22.54	23.50	24.10	26.29	27.23	27.64	29.35	30.74	
Desv. Est. [g/100cm²]	3.50	4.09	4.16	4.89	4.78	4.16	2.23	1.63	1.42	2.90	3.05	
Coefficiente Var. [%]	25.67	22.75	20.79	21.68	20.34	17.26	8.47	5.99	5.15	9.87	9.91	
FÓRMULAS A UTILIZAR												
$A_t = \frac{(W_t - W_o) \times 10\,000}{A}$												
Donde: rción por capilaridad en cada período de tiempo eso de la muestra en cada período de tiempo Wo: peso inicial de la muestra A: área de la superficie en prueba												

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.3 DENSIDAD

Tabla 54. Densidad del material compuesto.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO					
Muestra Nº	Volumen de la muestra (Principio de Arquímedes)			Peso de la muestra [g]	Densidad [g/cm³]
	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Volumen [cm³]		
1	785,10	858,90	73,80	98,50	1,33
2	685,40	737,00	51,60	69,80	1,35
3	688,30	741,70	53,40	66,70	1,25
4	778,90	848,90	70,00	101,00	1,44
5	786,00	850,80	64,80	92,30	1,42
6	687,60	741,40	53,80	64,30	1,20
7	994,50	1089,20	94,70	144,40	1,52
Media [g/cm³]					1,36
Desviación Estándar [g/cm³]					0,11
Coeficiente de Variación [%]					8,40
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$ $\text{Volumen} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial}$					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.4 RESISTENCIA A FLEXIÓN

3.3.4.1 MORTERO SIN REFUERZO

Tabla 55. Módulo de rotura del mortero sin refuerzo.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA				
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN						
MORTERO						
Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	28	50,00	10,00	100,00	62,609	1,88
2	28	50,00	10,00	100,00	84,706	2,54
3	28	50,00	10,00	100,00	81,023	2,43
4	28	50,00	10,00	100,00	95,755	2,87
5	28	50,00	10,00	100,00	81,023	2,43
6	28	50,00	10,00	100,00	58,926	1,77
7	28	50,00	10,00	100,00	62,609	1,88
Media [MPa]						2,26
Desviación Estándar [MPa]						0,42
Coeficiente de Variación [%]						18,50
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

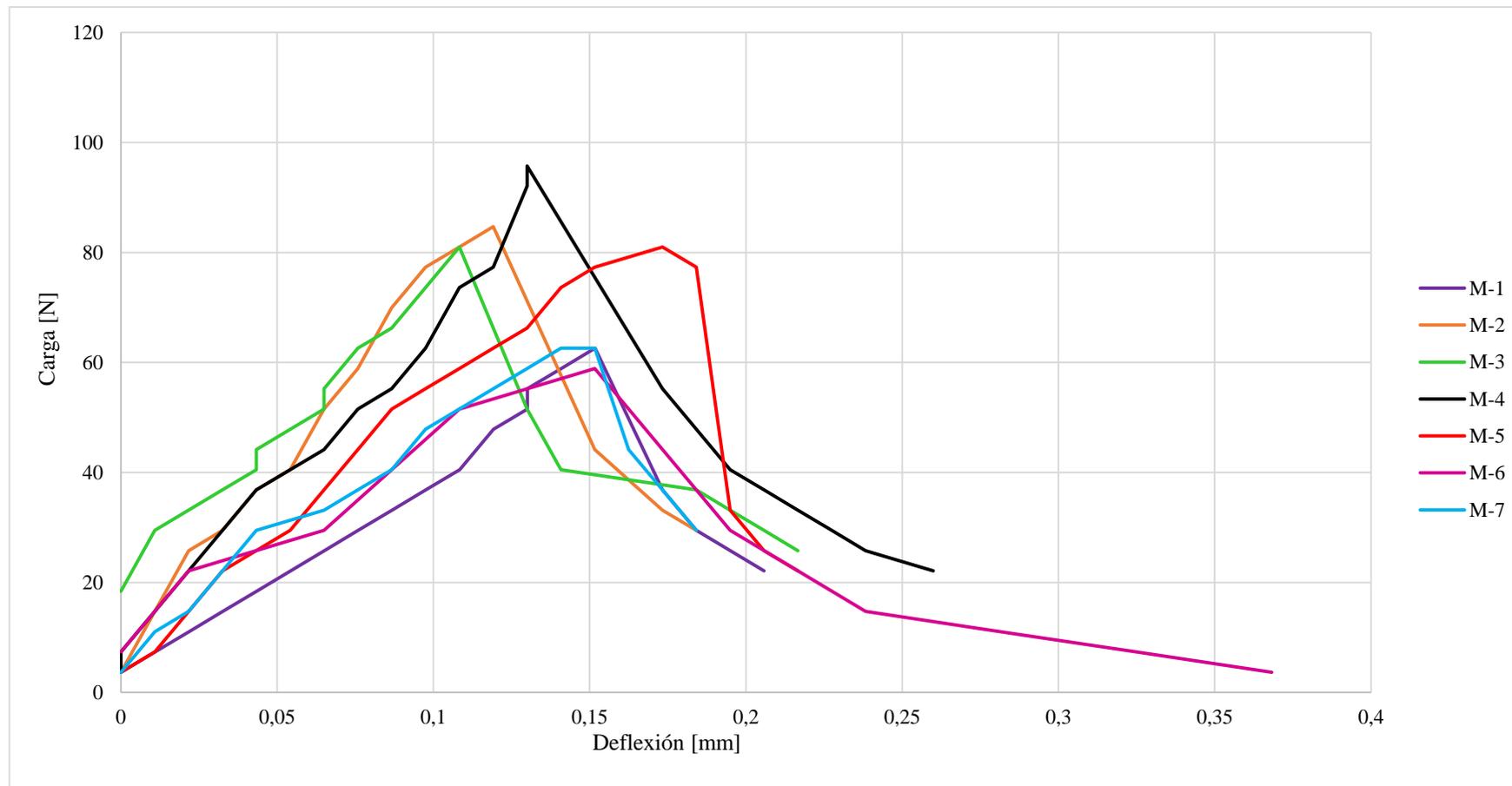


Figura 109. Curvas carga vs deflexión del mortero sin refuerzo.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.4.2 FRCM

Tabla 56. Módulo de rotura del FRCM.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN						
FRCM - 3 Capas						
Muestra N°	Edad	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	28	50,00	10,00	160,00	300,522	14,43
2	28	50,00	10,00	160,00	296,839	14,25
3	28	50,00	10,00	160,00	298,312	14,32
4	28	50,00	10,00	160,00	313,044	15,03
5	28	50,00	10,00	160,00	298,312	14,32
6	28	50,00	10,00	160,00	311,571	14,96
Media [MPa]						14,55
Desviación Estándar [MPa]						0,35
Coeficiente de Variación [%]						2,39
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
<p>R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes</p>						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

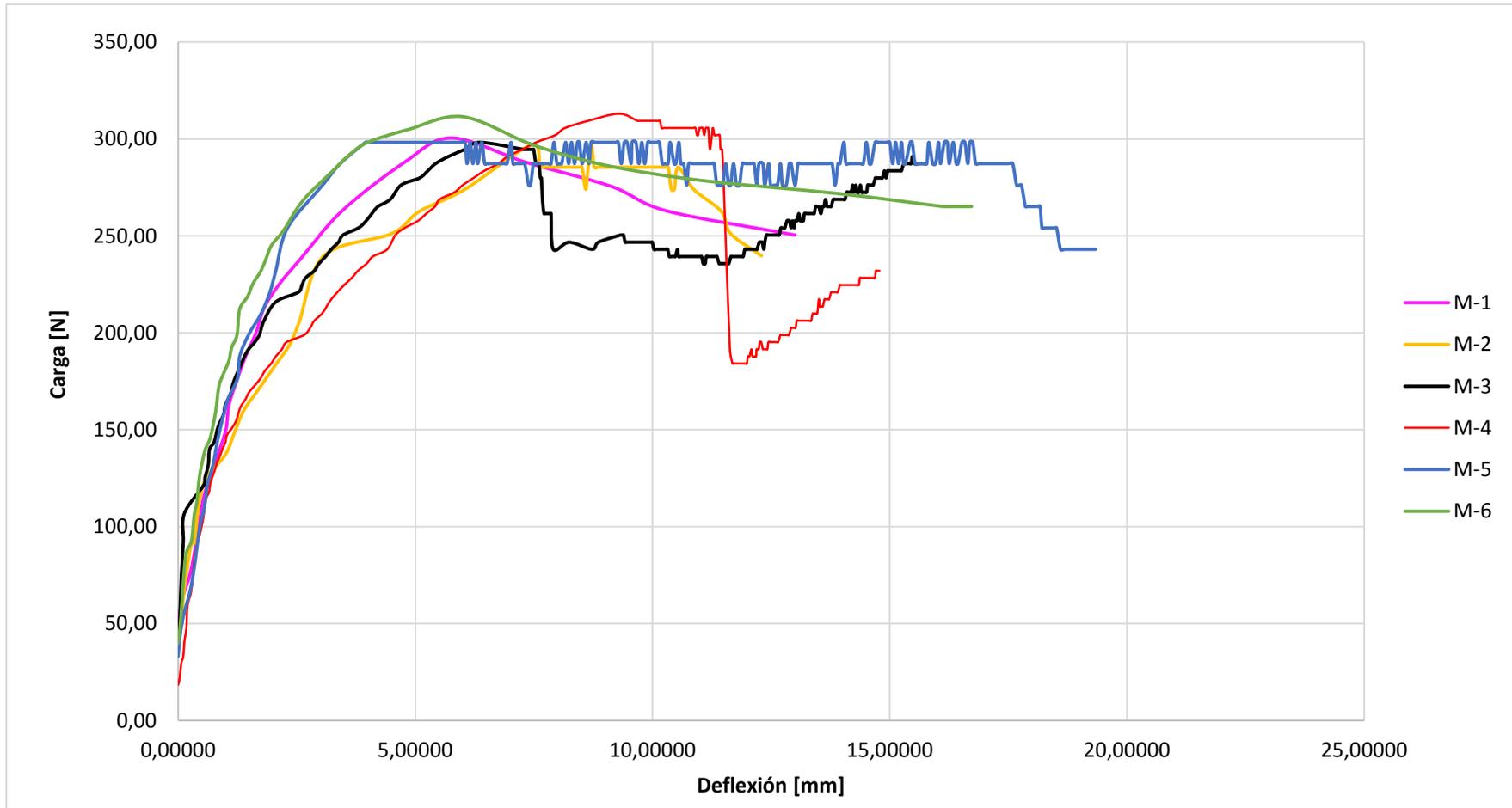


Figura 110. Curvas carga vs deflexión del FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.5 MÓDULO DE YOUNG A FLEXIÓN

3.3.5.1 MORTERO SIN REFUERZO

Tabla 57. Módulo de Young del mortero sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL									
MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	Carga [N]	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	62,61	10	0,151689	1,5169	0,44194	1,21535	0,0032561	0,0108369	102,02
2	84,71	10	0,119168	1,1917	0,77340	1,54680	0,0021699	0,0065019	178,54
3	81,02	10	0,108298	1,0830	0,55243	1,54680	0,0000000	0,0064979	153,03
4	95,75	10	0,129958	1,2996	0,66292	1,87826	0,0021660	0,0097468	160,32
5	81,02	10	0,119128	1,1913	0,66292	1,54680	0,0032489	0,0086639	163,23
6	58,93	10	0,151618	1,5162	0,66292	1,54680	0,0021660	0,0108298	102,02
7	62,61	10	0,151618	1,5162	0,44194	1,21535	0,0021660	0,0086639	119,02
				1,33	Media				139,74
					Desviación Estándar				31,44
					Coefficiente de Variación [%]				22,50
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.5.2 FRCM

Tabla 58. Módulo de Young del FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL									
MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	Carga [N]	L [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	300,52	10	0,5761	5,7615	3,00522	9,01566	0,00823	0,14198	44,94
2	296,84	10	0,8707	8,7072	3,28806	8,76817	0,01300	0,20306	28,83
3	298,31	10	0,6357	6,3571	3,53555	8,66211	0,00650	0,12671	42,65
4	313,04	10	0,9292	9,2920	3,18200	9,01566	0,02707	0,20577	32,65
5	298,31	10	1,6749	16,7494	3,18200	9,01566	0,02469	0,12963	55,59
6	311,57	10	0,5983	5,9835	3,50020	9,22779	0,01126	0,11263	56,50
Media									43,53
Desviación Estándar									11,41
Coficiente de Variación [%]									26,21
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch

3.3.6 DEFLEXIÓN

3.3.6.1 MORTERO SIN REFUERZO

Tabla 59. Deflexión del mortero sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	L [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	62,61	4166,667	100	5907,059	0,1517	0,0530
2	84,71	4166,667	100	5907,059	0,1192	0,0717
3	81,02	4166,667	100	5907,059	0,1083	0,0686
4	95,75	4166,667	100	5907,059	0,1300	0,0811
5	81,02	4166,667	100	5907,059	0,1191	0,0686
6	58,93	4166,667	100	5907,059	0,1516	0,0499
7	62,61	4166,667	100	5907,059	0,1516	0,0530
Media [mm]					0,1331	0,0637
Desviación Estándar [mm]					0,0185	0,0118
Coefficiente de Variación [%]					13,88	18,50
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde:						
Δ: deflexión P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.6.2 FRCM

Tabla 60. Deflexión del FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	Lo [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	300,52	4166,667	160	5907,06	5,761	1,0419
2	296,84	4166,667	160	5907,06	8,707	1,0292
3	298,31	4166,667	160	5907,06	6,357	1,0343
4	313,04	4166,667	160	5907,06	9,292	1,0853
5	311,57	4166,667	160	5907,06	5,983	1,0802
Media [mm]					7,22	1,05
Desviación Estándar [mm]					1,65	0,03
Coefficiente de Variación [%]					22,87	2,52
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde: Δ: deflexión teórica P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.7 RESISTENCIA A TRACCIÓN

3.3.7.1 MORTERO SIN REFUERZO

Tabla 61. Resistencia a tracción del mortero sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A TRACCIÓN			
Muestra N°	Carga [N]	Área [mm ²]	Resistencia a Tracción [MPa]
1	423.53	500.00	0.85
2	412.48	500.00	0.82
3	412.48	500.00	0.82
4	360.92	500.00	0.72
5	436.07	500.00	0.87
Media [MPa]			0.82
Desviación Estándar [MPa]			0.06
Coeficiente de Variación [%]			7.00
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$R = \frac{Carga}{Área}$			
Donde:			
R : resistencia a tracción			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

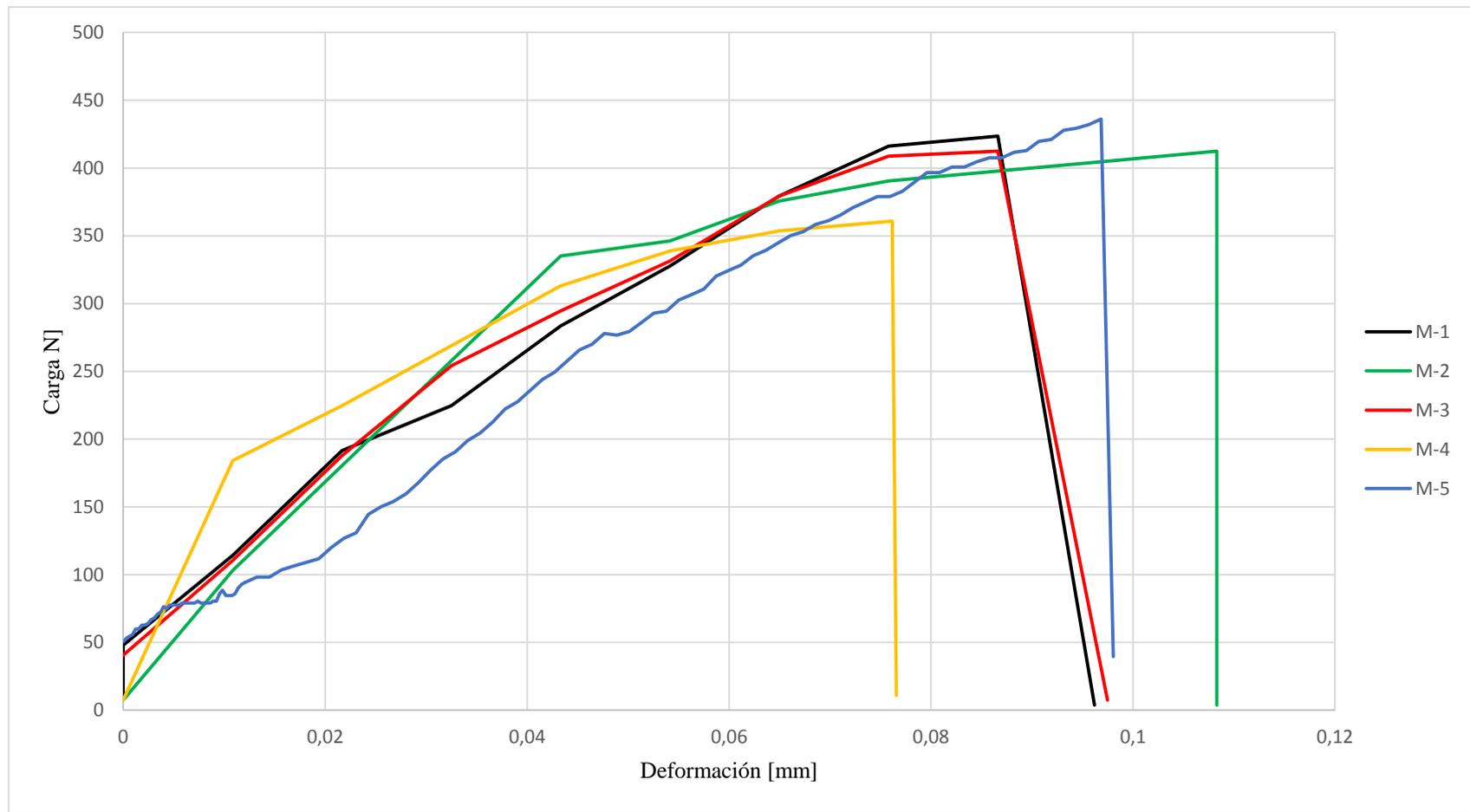


Figura 111. Curvas carga vs deformación del mortero sin refuerzo sometido a cargas de tracción.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.7.2 FRCM

Tabla 62. Resistencia a tracción del FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A TRACCIÓN			
FRCM			
Muestra N°	Carga [N]	Área [mm ²]	Resistencia a Tracción [MPa]
1	4876,12	500,00	9,75
2	5074,99	500,00	10,15
3	4515,20	500,00	9,03
4	5778,42	500,00	11,56
5	5185,48	500,00	10,37
Media [MPa]			10,17
Desviación Estándar [MPa]			0,93
Coeficiente de Variación [%]			9,11
FÓRMULAS A UTILIZAR			
$R = \frac{Carga}{Área}$			
Donde:			
R : resistencia a tracción			

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

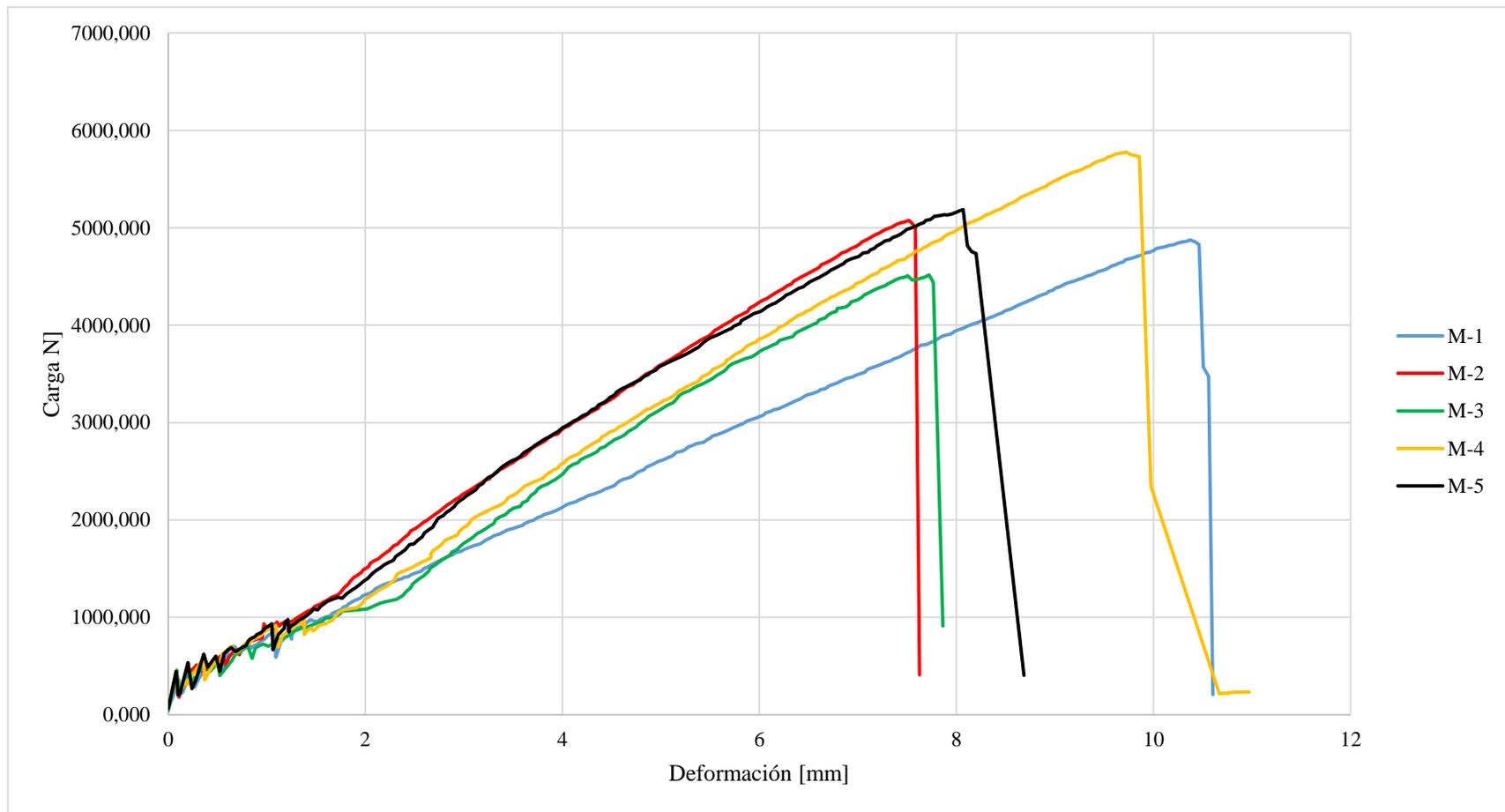


Figura 112. Curvas carga vs deformación del FRCM sometido a cargas de tracción.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.8 MÓDULO DE YOUNG A TRACCIÓN

3.3.8.1 MORTERO SIN REFUERZO

Tabla 63. Módulo de Young del mortero sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL								
MÓDULO DE YOUNG								
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	113.00	0.087	0.077	0.228	0.567	0.0096	0.0383	11.784
2	110.00	0.108	0.098	0.206	0.516	0.0098	0.0295	15.711
3	112.00	0.087	0.077	0.221	0.508	0.0097	0.0290	14.854
4	113.00	0.076	0.067	0.368	0.449	0.0096	0.0192	8.454
5	112.00	0.097	0.086	0.277	0.531	0.0095	0.0280	13.755
Media			0.081					12.912
Desviación Estándar			0.012					2.892
Coefficiente de Variación [%]			14.445					22.401
FÓRMULAS A UTILIZAR								
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$								

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.3.8.2 FRCM

Tabla 64. Módulo de Young del FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL															
MÓDULO DE YOUNG															
Muestra N°	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U%	Etapa 1	Etapa 2				Etapa 3				Módulo de Young [MPa]		
				m	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
1	110,00	10,418	9,471	611,087	0,427	1,183	0,001	0,005	1,971	5,870	0,018	0,053	611,087	183,973	110,000
2	102,00	7,581	7,432	800,822	0,495	1,174	0,001	0,006	2,048	6,091	0,013	0,041	800,822	142,428	145,367
3	104,00	7,722	7,425	1037,538	0,431	1,068	0,001	0,005	1,850	5,473	0,014	0,042	1037,538	165,042	129,055
4	106,00	9,725	9,175	1066,128	0,393	1,245	0,001	0,005	2,328	6,939	0,019	0,051	1066,128	199,456	142,369
5	107,00	8,068	7,540	1020,290	0,400	1,201	0,001	0,004	2,114	6,268	0,014	0,040	1020,290	224,987	156,064
Media			8,209										907,173	183,177	136,571
Desviación Estándar			1,024										196,237	31,635	17,702
Coefficiente de Variación [%]			12,470										21,632	17,270	12,962
FÓRMULAS A UTILIZAR															
$E_{etapa\ 2,3} = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$ $E_{etapa\ 1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$															

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO

3.4.1 DOSIFICACIÓN

Datos del laboratorio

- Dss agregado fino: 2.5 g/cm³
- Dss agregado grueso: 2.63 g/cm³
- % Absorción agregado fino: 2.09
- % Absorción agregado grueso: 2.78
- % Humedad agregado fino: 2.81
- % Humedad agregado grueso: 1.57
- Densidad MUS agregado fino: 1.44 g/cm³
- Densidad MUS agregado grueso: 1.78 g/cm³
- Densidad MUS cemento: 1.34 g/cm³
- Densidad aparente mezcla: 1.80 g/cm³
- Densidad del cemento: 3.20 g/cm³

Procedimiento

- 1.- Cantidad de árido grueso por cilindro de concreto asumido: 10 kg
- 2.- Número de cilindros a elaborar: 26
- 3.- Cantidad de árido fino: 6.13 kg
- 4.- Densidad de la mezcla en estado sss.

$$\text{Densidad de mezcla SSS} = \left(\frac{\% A.F}{100} * D_{SSS A. F}\right) + \left(\frac{\% A.G}{100} * \right.$$

$$\text{Densidad de mezcla SSS} = 2.6 \text{ g/cm}^3$$

- 5.- Porcentaje de vacíos

$$\% \text{ Vacíos} = \left(1 - \frac{DENS.APARENTE MEZCLA}{D_{SSS.MEZCLA}} * 100\right)$$

$$\% \text{ Vacíos} = 22.68, \text{ entonces } \% \text{ Vacíos} = 25$$

- 6.- Volumen aparente de la mezcla.

$$V_{APA.MEZCLA} = \frac{MASA \text{ AGREGADO } (FINO + GRUESO) \text{ kg}}{DENS.APARENTE.MEZCLA}$$

$$V_{APA.MEZCLA} = 8024.39 \text{ cm}^3$$

7.- Volumen de pasta

$$V_{PASTA} = \frac{V_{APA.MEZCLA} * \% \text{ VACIOS}}{100}$$

$$V_{PASTA} = 2006.1 \text{ cm}^3$$

8.- Relación agua/cemento: 0.56

9.- Densidad de la pasta por unidad de cemento

$$\text{Dens. pasta} = \frac{M.CEMENTO+M.AGUA}{V.CEMENTO+V.AGUA}$$

$$\text{Dens. pasta} = 0.00171 \text{ kg/cm}^3$$

10.- Peso de la pasta

$$P_{pasta} = V_{pasta} * \text{Dens. pasta}$$

$$P_{pasta} = 3.40 \text{ kg}$$

11.- Cantidades de agua y cemento

$$\text{Cant. Agua} = \frac{P_{PASTA} * \% \text{ CANT.AGUA} \left(\frac{a}{c}\right)}{1 + \% \text{ CANT.AGUA} \left(\frac{a}{c}\right)} = 1.22 \text{ kg}$$

$$\text{Cant. Cemento} = \frac{P_{PASTA} * \% \text{ CANT.CEMENTO}}{1 + \% \text{ CANT.AGUA} \left(\frac{a}{c}\right)} = 2.18 \text{ kg}$$

12.- Dosificación inicial o dosificación teórica.

(Peso)

Agua: 1.22 Cemento: 2.18 A.Fino: 6.13 A.Grueso: 10

(Unidades de cemento)

Agua: 0.56 Cemento: 1 A.Fino: 2.81 A.Grueso: 4.59

13.- Dosificación por corrección de humedad.

$$A.FINO = \frac{CANT.A.FINO * (100 + \%H)}{(100 + \%ABS)} = 6.17 \text{ kg}$$

$$A.GRUESO = \frac{CANT.A.GRUESO * (100 + \%H)}{(100 + \%ABS)} = 9.88 \text{ kg}$$

(Peso)

Agua: 1.30 Cemento: 2.18 A.Fino: 6.17 A.Gruoso: 9.88

(Unidades de cemento)

Agua: 0.59 Cemento: 1 A.Fino: 2.83 A.Gruoso: 4.53

14.- Dosificación final corregida

(Peso)

Agua: 2.19 Cemento: 3.78 A.Fino: 6.17 A.Gruoso: 9.88

(Unidades de cemento)

Agua: 0.58 Cemento: 1 A.Fino: 1.63 A.Gruoso: 2.61

Se tomó el 15% de micro sílice

Tabla 65. Dosificación del concreto simple.

DOSIFICACIÓN EN UNIDADES DE CEMENTO				
Cemento	Agregado Fino	Micro Sílice	Agregado Gruoso	a/c
1	1,5	0,15	2,6	0,5
DOSIFICACIÓN AL PESO POR CADA SACO DE 50 kg				
Cemento	Agregado Fino	Micro Sílice	Agregado Gruoso	a/c
50	75	7,5	130	25

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Determinada la dosificación del concreto simple, se calculó el porcentaje de fibra de coco a colocar en la mezcla partiendo del resultado de la densidad específica de la fibra.

Tabla 66. Dosificación del concreto con fibras de coco.

DOSIFICACIÓN EN UNIDADES DE CEMENTO					
Cemento	Agregado Fino	Micro Sílice	Agregado Gruoso	Fibra de Coco	a/c
1	1,5	0,15	2,6	3%	0,5
DOSIFICACIÓN AL PESO POR CADA SACO DE 50 kg					
Cemento	Agregado Fino	Micro Sílice	Agregado Gruoso	Fibra de Coco	a/c
50	75	7,5	130	4,73	25

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

3.4.2.1 AGREGADO FINO

Tabla 67. Análisis granulométrico del agregado fino (polvo de piedra).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
AGREGADO FINO (POLVO DE PIEDRA)							
PESO TOTAL DE LA MUESTRA [g]:						2000	
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos	
						Inferior	Superior
3/8	9,52	9,05	0,45	0,45	99,55	100	100
Nº 4	4,75	550,90	27,62	28,08	71,92	95	100
Nº 8	2,36	411,60	20,64	48,71	51,29	80	100
Nº 16	1,18	233,00	11,68	60,40	39,60	50	85
Nº 30	0,59	160,70	8,06	68,45	31,55	25	60
Nº 50	0,30	161,10	8,08	76,53	23,47	10	30
Nº 100	0,15	182,50	9,15	85,68	14,32	2	10
Nº 200	0,07	124,60	6,25	91,93	8,07	0	0
Pasa Nº 200		161,00	8,07	100,00	0,00		
Total		1994,45	100,00				
% Pérdida de Material:						0,28	
Coeficiente de Uniformidad (Cu):						34,72	
Coeficiente de Curvatura (Cc):						10,15	
Módulo de finura						4,60	
Tamaño Máximo (TM) [mm]						9,52	
Tamaño Máximo Nominal (TMN) [mm]						9,52	
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$				$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$			
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$				$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$			
$Cu = \frac{D60}{D10}$				$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$			
<small>D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material</small>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

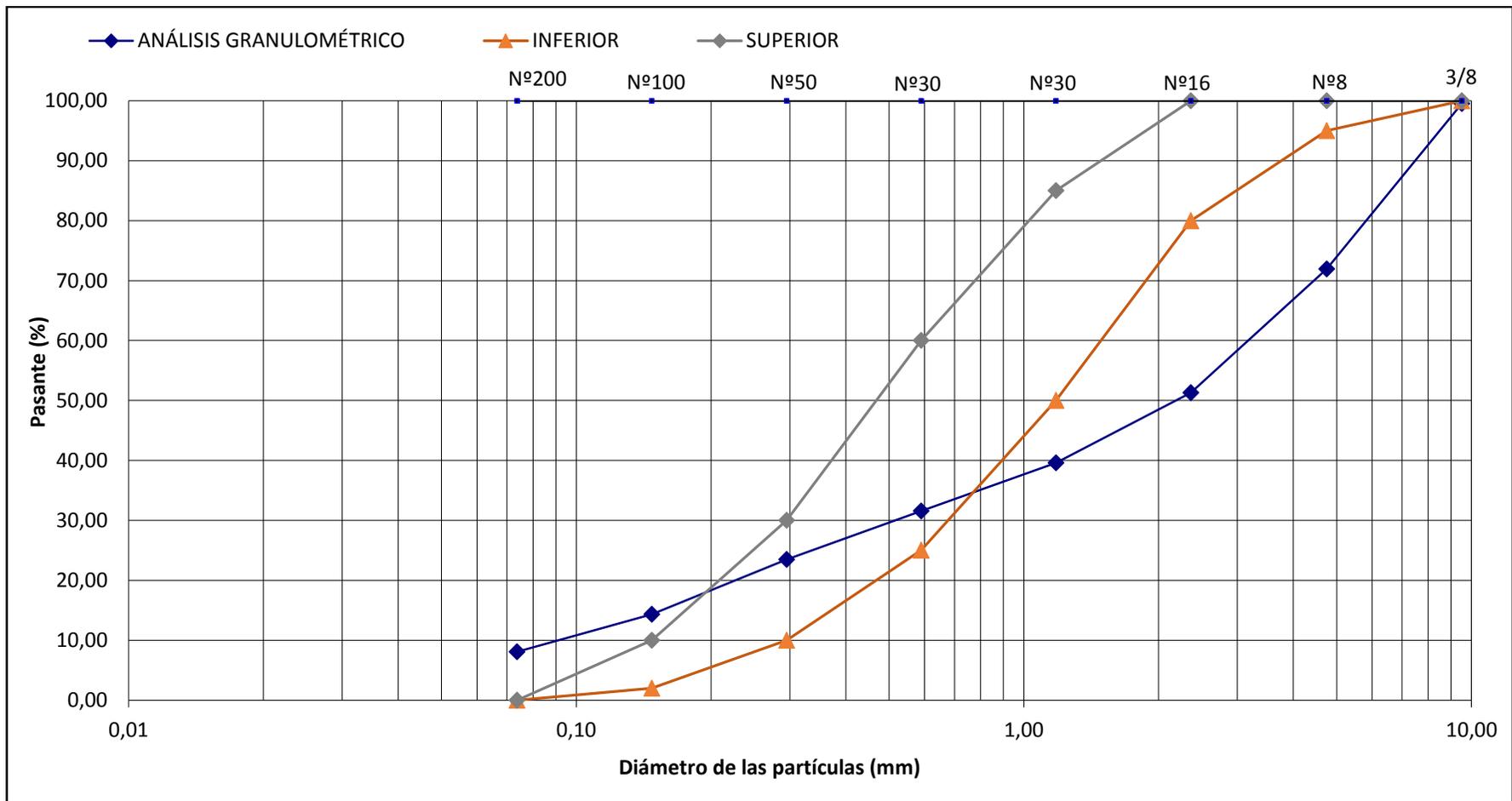


Figura 113. Análisis granulométrico del agregado fino (polvo de piedra).

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.2.2 AGREGADO GRUESO

Tabla 68. Análisis granulométrico del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
AGREGADO GRUESO							
PESO TOTAL DE LA MUESTRA [g]:						2000	
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos	
						Inferior	Superior
1"	25,40	272,00	13,68	13,68	86,32	90	100
3/4"	19,10	570,00	28,66	42,33	57,67	40	85
1/2"	12,70	663,00	33,33	75,67	24,33	10	40
3/8"	9,52	321,00	16,14	91,80	8,20	0	15
Nº 4	4,76	160,00	8,04	99,85	0,15	0	5
Nº 8	2,38	1,00	0,05	99,90	0,10	0	0
Pasante		2,00	0,10	100,00	0,00		
Total		1989,00	100,00				
% Pérdida de Material:						0,55	
Coeficiente de Uniformidad (Cu):						1,95	
Coeficiente de Curvatura (Cc):						396,63	
Módulo de finura						4,23	
Tamaño Máximo (TM) [mm]						25,40	
Tamaño Máximo Nominal (TMN) [mm]						25,40	
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$				$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$			
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$				$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$			
$Cu = \frac{D60}{D10}$				$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$			
<small>D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material</small>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

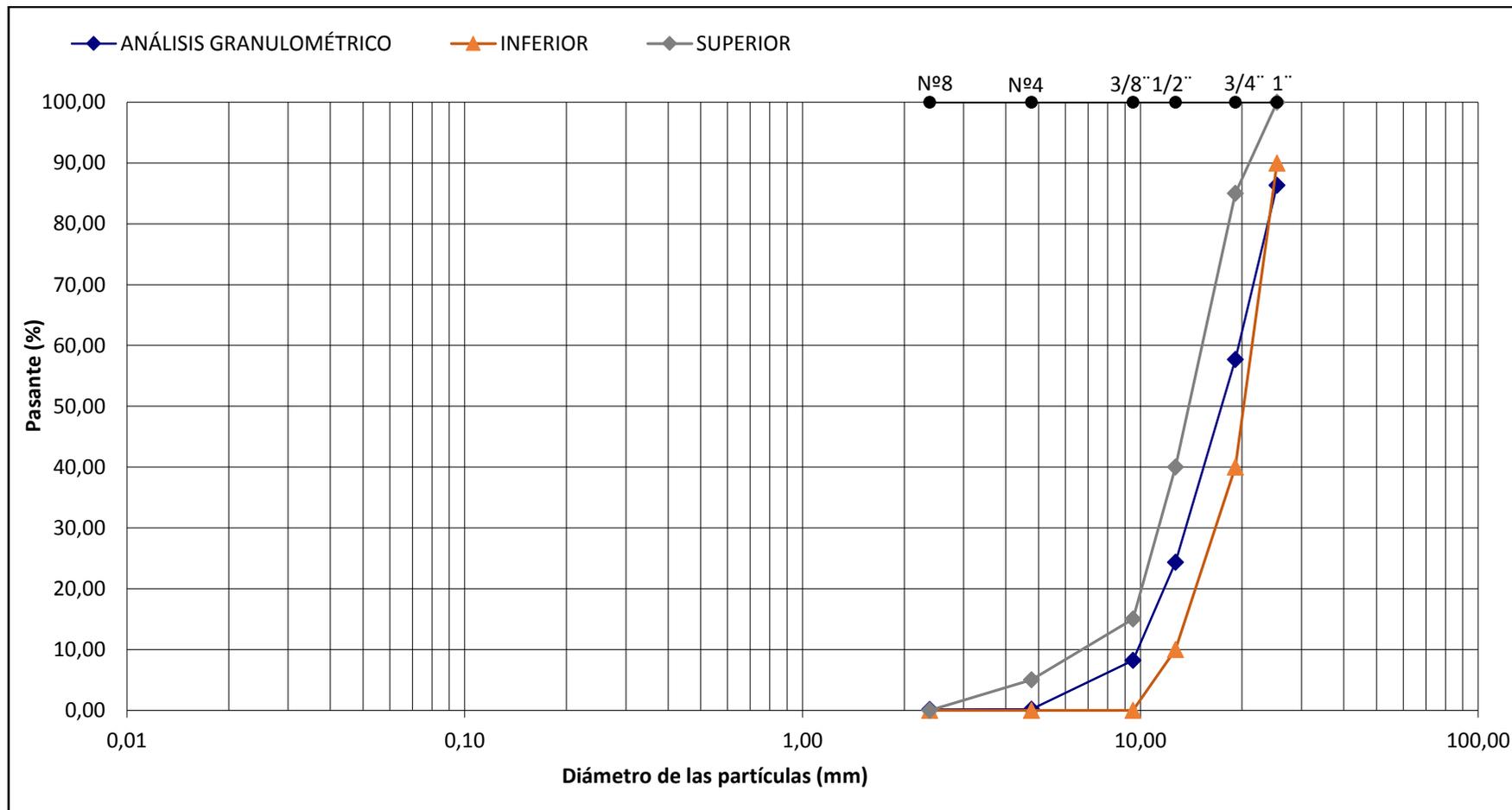


Figura 114. Análisis granulométrico del agregado grueso

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.2.3 MICRO SÍLICE

Tabla 69. Análisis granulométrico del micro sílice

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
MICRO SILICE							
PESO TOTAL DE LA MUESTRA [g]:						155,36	
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límites Específicos	
						Inferior	Superior
N° 30	0,84	0,00	0,00	0,00	100,00	25	60
N° 50	0,60	18,30	11,88	11,88	88,12	5	30
N° 100	0,43	74,50	48,35	60,22	39,78	0	10
N° 200	0,30	38,80	25,18	85,40	14,60	0	0
Pasa N° 200		22,50	14,60	100,00	0,00	0	0
Total		154,10	100,00				
% Pérdida de Material:						0,81	
Coeficiente de Uniformidad (Cu):						4,19	
Coeficiente de Curvatura (Cc):						0,15	
Módulo de finura						1,57	
Tamaño Máximo (TM) [mm]						0,84	
Tamaño Máximo Nominal (TMN) [mm]						0,60	
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$				$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$			
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$				$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$			
$Cu = \frac{D60}{D10}$				$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$			
<small>D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material</small>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

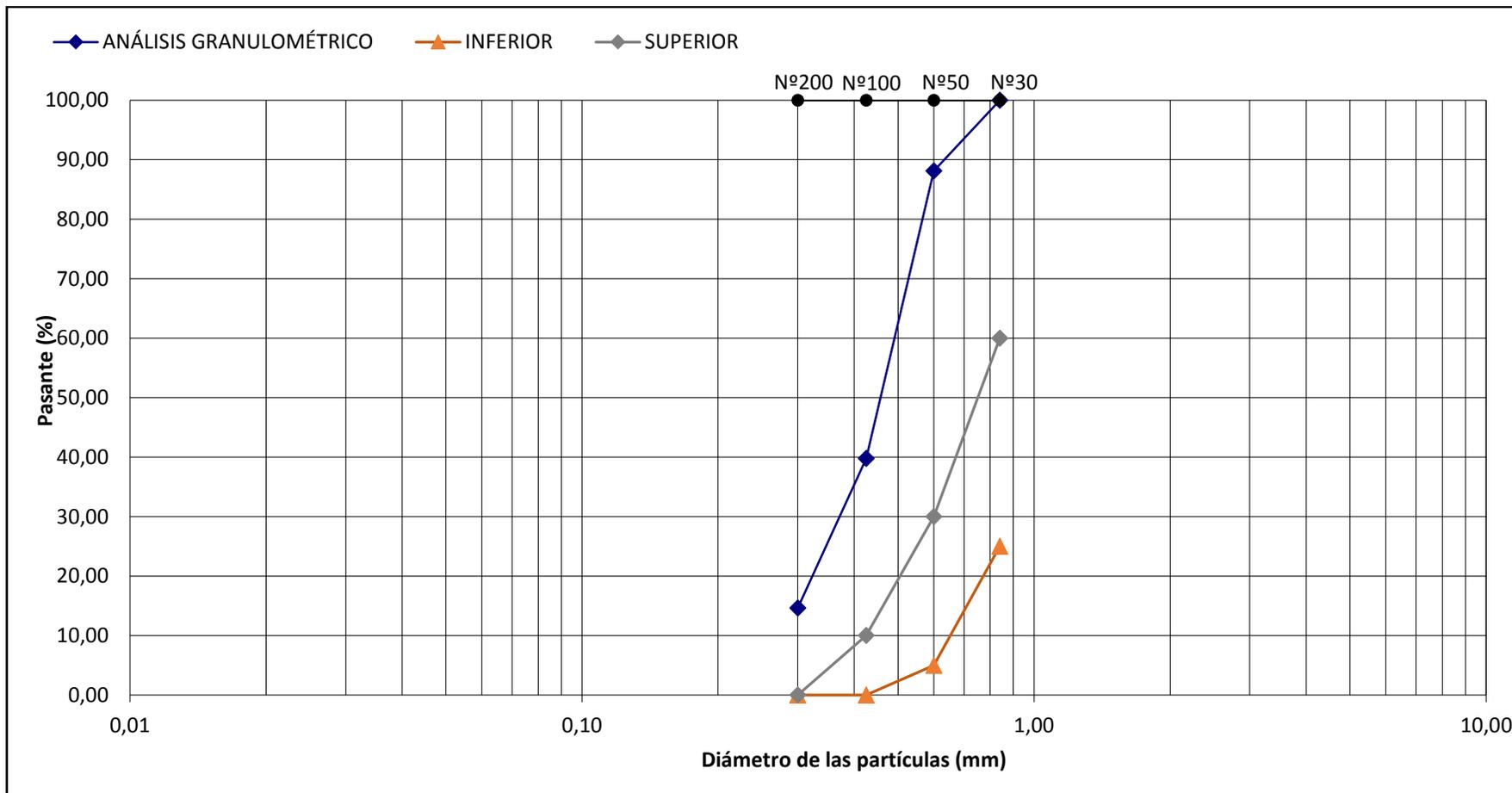


Figura 115. Análisis granulométrico del micro sílice.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.3 ASENTAMIENTO



Figura 116. Asentamiento del concreto.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Tabla 70. Asentamiento del concreto.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
ASENTAMIENTO DEL CONCRETO			
Método de compactación	Asentamiento [cm]	Aspecto	Consistencia del concreto
Varillado, apisonado en capas	2,5	Suelto y sin cohesión	Seca

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

3.4.4.1 CONCRETO SIMPLE

3.4.4.1.1 7 DÍAS

Tabla 71. Ensayo de compresión del concreto simple a los 7 días.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a compresión [MPa]
1	7	151.5	18026.65	301306	16.71
2	7	152.2	18193.62	314955	17.31
Media [MPa]					17.01
Desviación Estándar [MPa]					0.42
Coeficiente de Variación [%]					2.48
Fecha: 15-03-2016					
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$R = \frac{F}{A}$					
Donde:					
R : resistencia a compresión					
F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo					
A : área de sección transversal					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.4.1.2 28 DÍAS

Tabla 72. Ensayo de compresión del concreto simple a los 28 días.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a compresión [MPa]
1	28	152.0	18145.84	422782	23.30
2	28	150.0	17671.46	426361	24.13
Media [MPa]					23.71
Desviación Estándar [Mpa]					0.59
Coeficiente de Variación [%]					2.47
Fecha: 22-03-2016					
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$R = \frac{F}{A}$					
Donde:					
R : resistencia a compresión					
F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo					
A : área de sección transversal					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.4.1.3 35 DÍAS

Tabla 73. Ensayo de compresión del concreto simple a los 35 días.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a compresión [MPa]
1	35	151.50	18026.65	397200	22.03
2	35	152.00	18145.84	431400	23.77
3	35	150.50	17789.46	441200	24.80
4	35	152.00	18145.84	453300	24.98
5	35	151.00	17907.86	450300	25.15
6	35	152.00	18145.84	441200	24.31
7	35	151.00	17907.86	453300	25.31
8	35	151.00	17907.86	450300	25.15
9	35	151.00	17907.86	397200	22.18
Media [MPa]					24.19
Desviación Estándar [MPa]					1.27
Coeficiente de Variación [%]					5.26
Fecha: 29-03-2016					
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$R = \frac{F}{A}$					
Donde: R : resistencia a la compresión F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo A : área de sección transversal					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

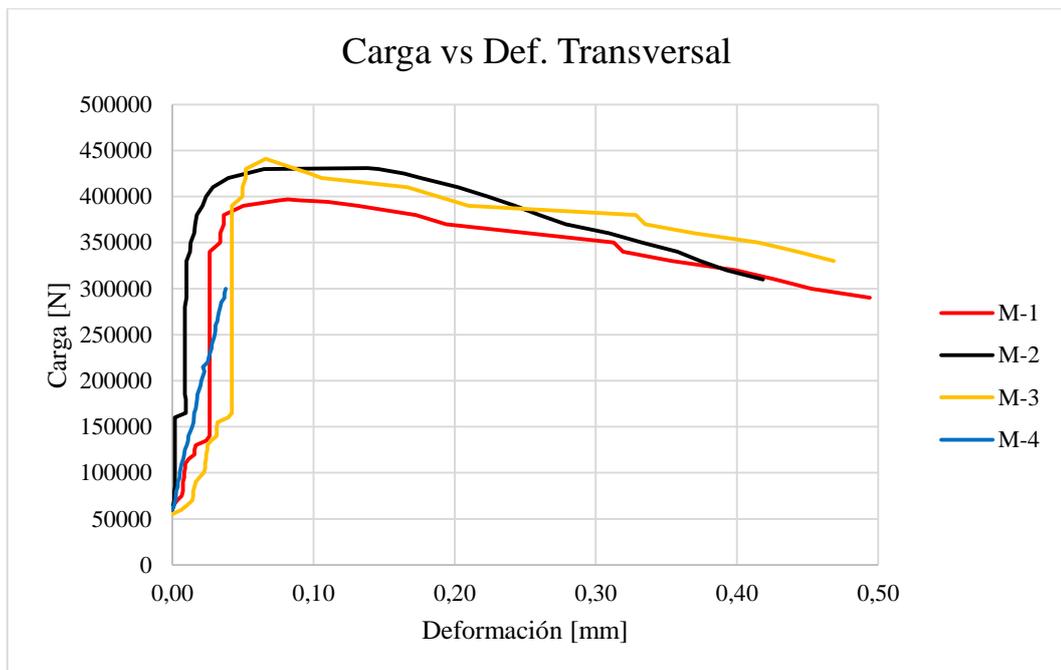
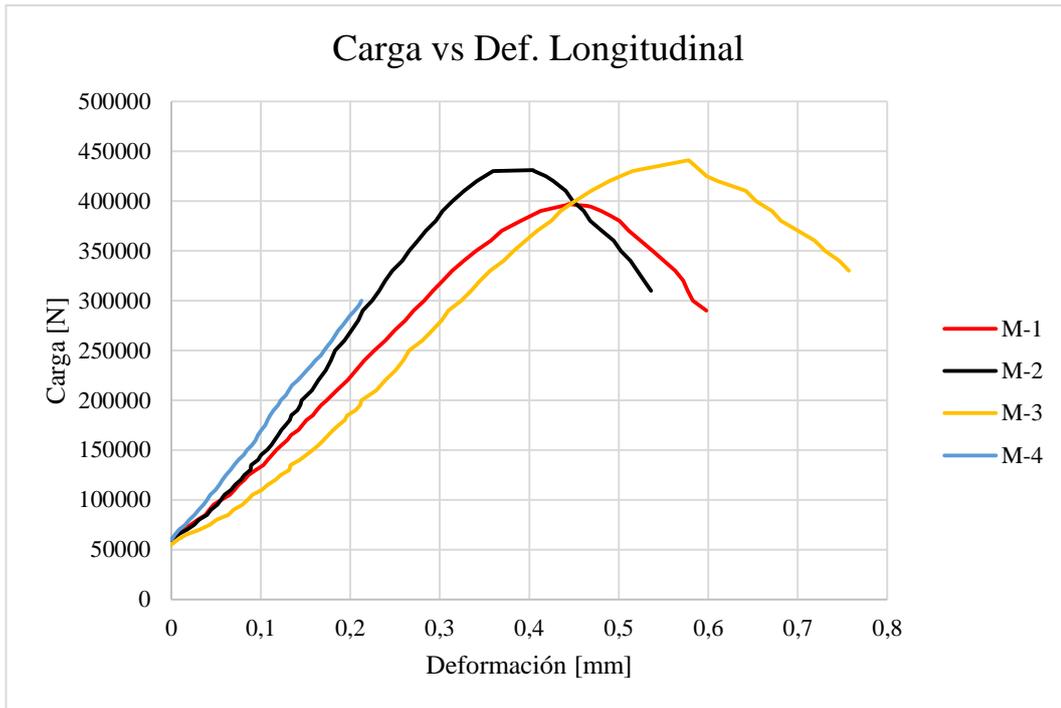


Figura 117. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto simple.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Nota: La lectura M4 corresponde al uso del compresómetro, con M1, M2 y M3 se utilizó diales de deformación ubicados en diferentes puntos del perímetro del espécimen.

3.4.4.2 CONCRETO REFORZADO CON FRCCM

Tabla 74. Ensayo de compresión del concreto reforzado con FRCCM.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																																											
ENSAYO DE COMPRESIÓN																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra N°</th> <th>Edad [Días]</th> <th>Diámetro [mm]</th> <th>Área [mm²]</th> <th>Carga Máxima [N]</th> <th>Resistencia a la compresión [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>35</td> <td>151.10</td> <td>17931.59</td> <td>446964</td> <td>24.93</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> <td>151.20</td> <td>17955.33</td> <td>465360</td> <td>25.92</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>35</td> <td>151.10</td> <td>17931.59</td> <td>452000</td> <td>25.21</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>35</td> <td>151.00</td> <td>17907.86</td> <td>460600</td> <td>25.72</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>35</td> <td>151.00</td> <td>17907.86</td> <td>472200</td> <td>26.37</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Media [MPa]</td> <td>25.63</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Desviación Estándar [MPa]</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Coeficiente de Variación [%]</td> <td>2.23</td> </tr> </tbody> </table>						Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]	1	35	151.10	17931.59	446964	24.93	2	35	151.20	17955.33	465360	25.92	3	35	151.10	17931.59	452000	25.21	4	35	151.00	17907.86	460600	25.72	5	35	151.00	17907.86	472200	26.37	Media [MPa]					25.63	Desviación Estándar [MPa]					0.57	Coeficiente de Variación [%]					2.23
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]																																																						
1	35	151.10	17931.59	446964	24.93																																																						
2	35	151.20	17955.33	465360	25.92																																																						
3	35	151.10	17931.59	452000	25.21																																																						
4	35	151.00	17907.86	460600	25.72																																																						
5	35	151.00	17907.86	472200	26.37																																																						
Media [MPa]					25.63																																																						
Desviación Estándar [MPa]					0.57																																																						
Coeficiente de Variación [%]					2.23																																																						
Fecha: 30-03-2016																																																											
FÓRMULAS A UTILIZAR																																																											
$R = \frac{F}{A}$																																																											
<p>Donde:</p> <p>R : resistencia a la compresión</p> <p>F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo</p> <p>A : área de sección transversal</p>																																																											

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

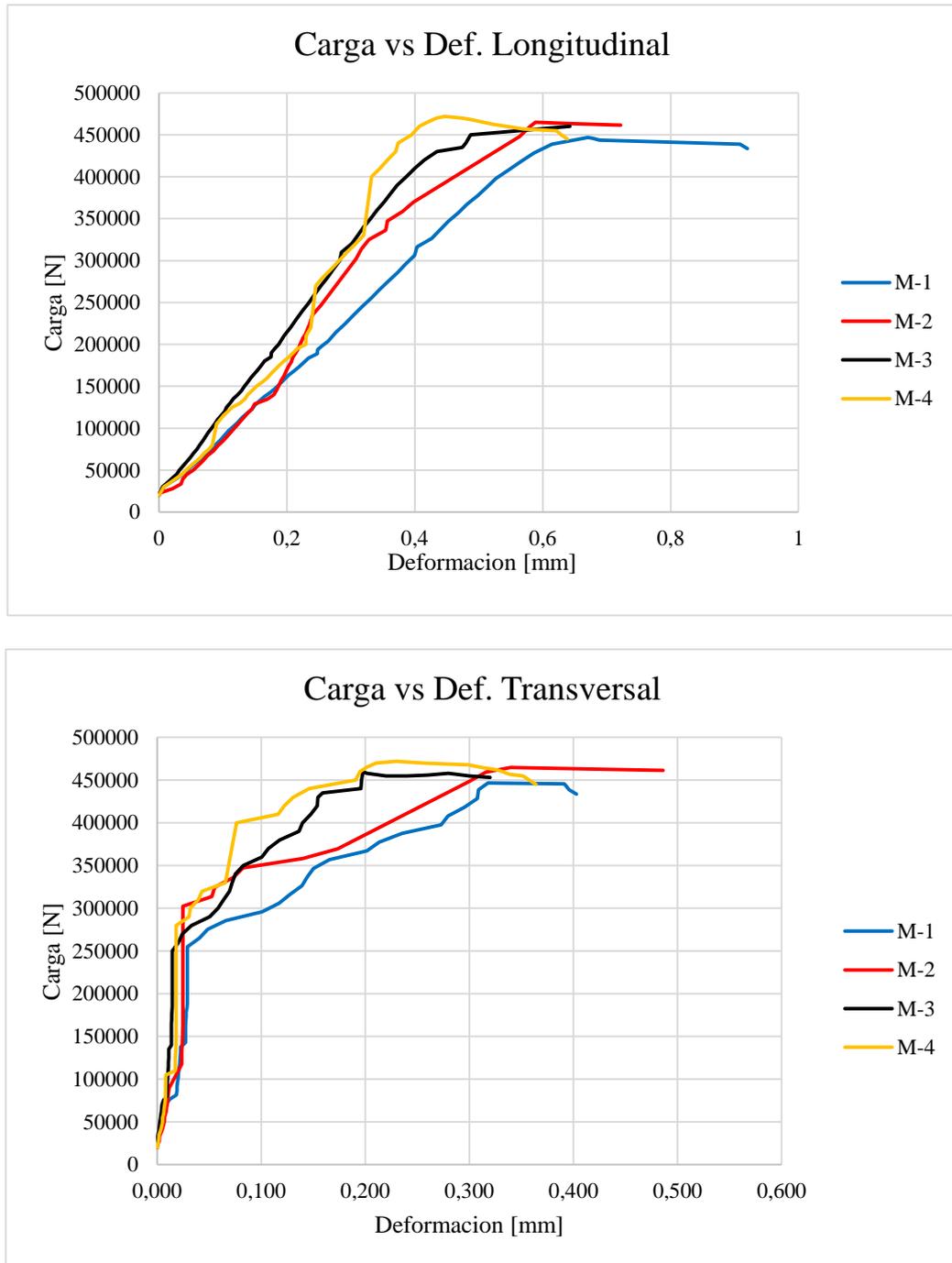


Figura 118. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.4.2 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 75. Ensayo de compresión del concreto reforzado con fibra de coco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	35	151.50	18026.65	245300	13.61
2	35	151.00	17907.86	280952	15.69
3	35	151.10	17931.59	279554	15.59
4	35	151.00	17907.86	273540	15.27
5	35	151.50	18026.65	280120	15.54
Media [MPa]					15.14
Desviación Estándar [MPa]					0.87
Coeficiente de Variación [%]					5.75
Fecha: 06-04-2016					
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$R = \frac{F}{A}$					
Donde: R : resistencia a la compresión F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo A : área de sección transversal					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

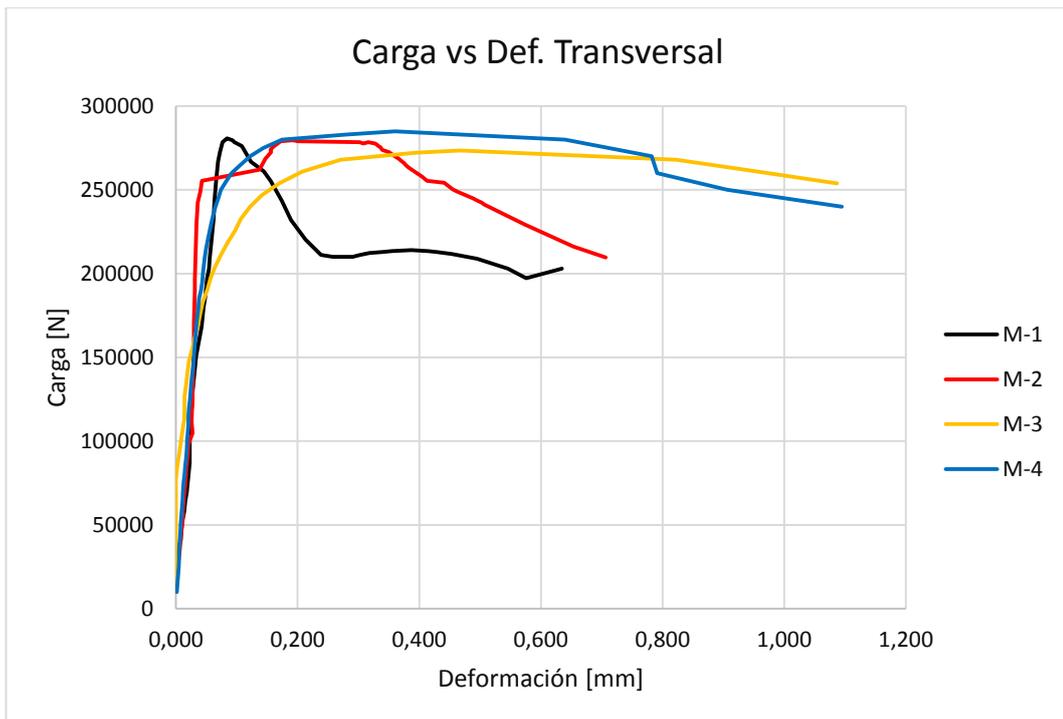
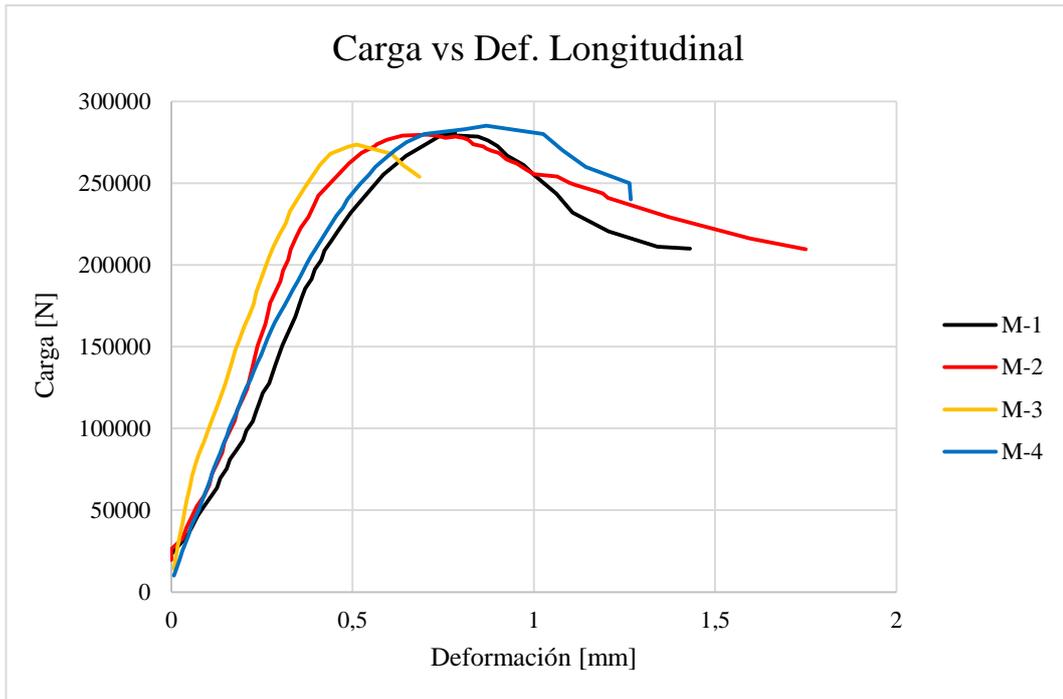


Figura 119. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con fibras de coco.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.4.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM

Tabla 76. Ensayo de compresión del concreto reforzado con fibra de coco y FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Muestra N°	Edad [Días]	Diámetro [mm]	Área [mm ²]	Carga Máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	35	150.50	17789.46	328900	18.49
2	35	151.50	18026.65	356875	19.80
3	35	151.50	18026.65	311760	17.29
4	35	150.50	17789.46	340000	19.11
5	35	150.50	17789.46	342800	19.27
Media [MPa]					18.79
Desviación Estándar [MPa]					0.96
Coeficiente de Variación [%]					5.10
Fecha: 06-04-2016					
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$R = \frac{F}{A}$					
Donde: R : resistencia a la compresión F : carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo A : área de sección transversal					

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

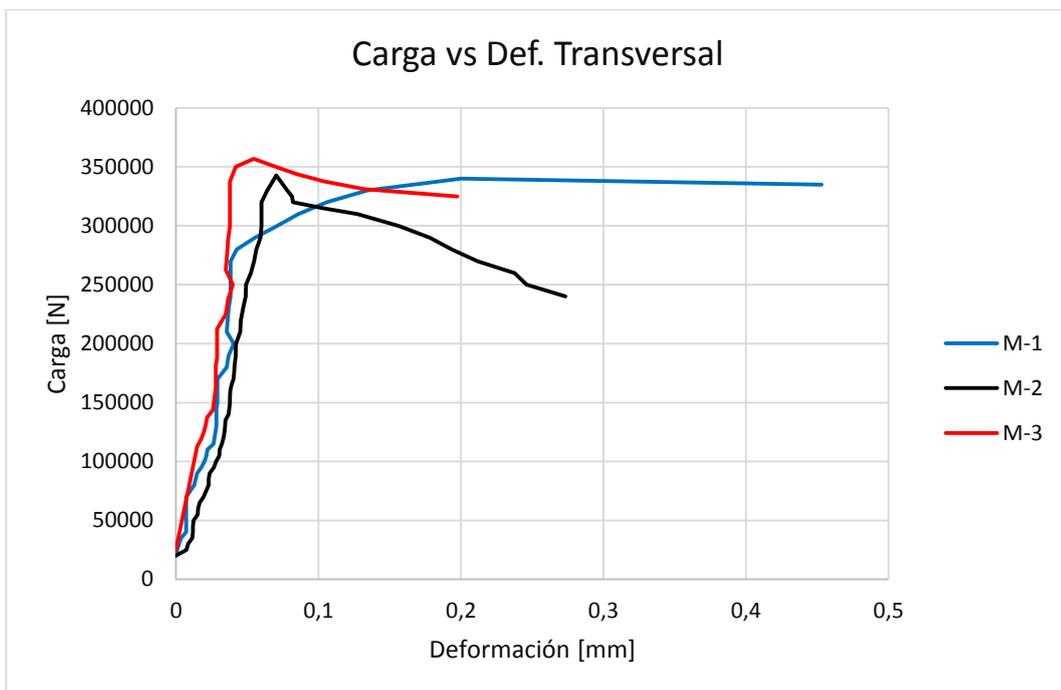
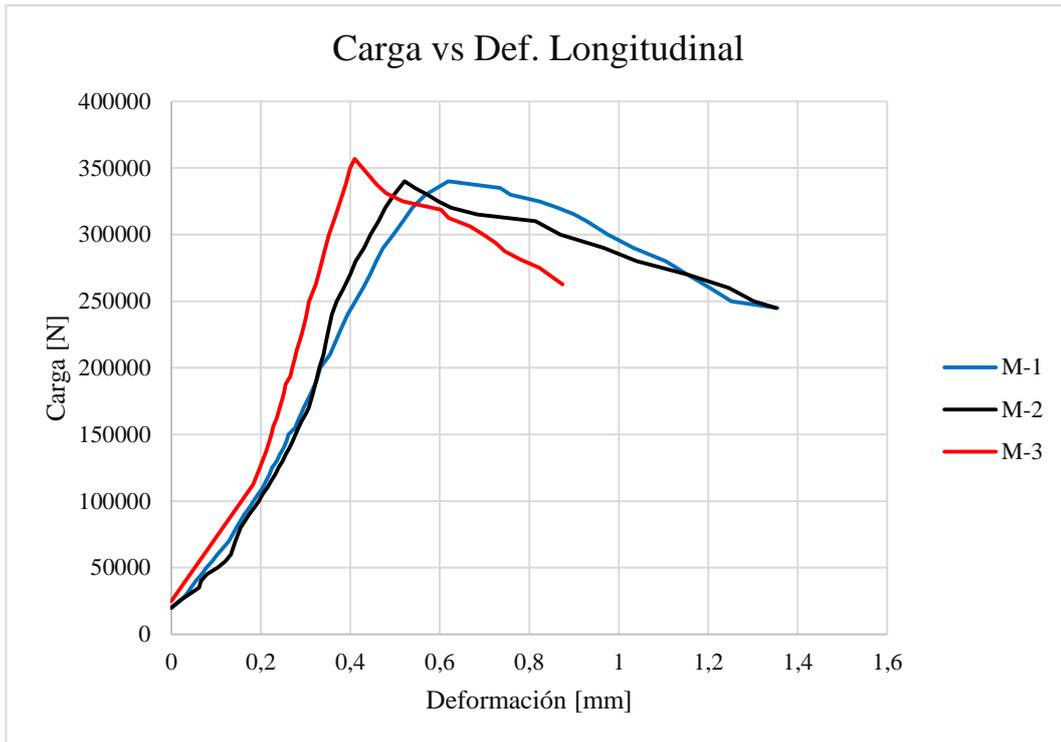


Figura 120. Curvas de carga vs deformación longitudinal y transversal del ensayo a compresión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

3.4.5.1 CONCRETO SIMPLE

Tabla 77. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto simple sometido a compresión

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON							
Muestra N°	Deformación Longitudinal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40 %	0,00005Def.U	Def. 40 %
1	303,67	0,5189	0,1709	0,5511	8,8174	0,00005	0,000692
2	304,33	0,5175	0,1700	0,5584	10,0515	0,00005	0,000791
3	304,00	0,5994	0,1972	1,1168	10,0515	0,00005	0,000707
4	205,00	0,2464	0,1202	1,6977	16,9765	0,00006	0,001202
Muestra N°	Deformación Transversal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40 %	0,00005Def.U	Def. 40 %
1	151,0000	0,1114	0,0738	0,5511	8,8174	0,00005	0,000185
2	152,0000	0,1806	0,1188	0,5584	10,0515	0,00005	0,000204
3	151,0000	0,1994	0,1321	1,1168	10,0515	0,00005	0,000198
4	151,0000	0,0455	0,0301	3,1124	16,9765	0,00005	0,000301
Muestra N°	Esfuerzo [MPa]		Módulo de Elasticidad [MPa]		Relación de Poisson		
1	21,878		12868,713		0,209		
2	24,068		12808,349		0,208		
3	23,733		13596,407		0,224		
4	16,977		13396,388		0,220		
Media	21,664		13167,464		0,215		
Desviación Estándar	3,270		438,600		0,009		
Coef de Variación [%]	15,093		3,331		4,264		
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$E = \frac{Esf. 40\% - Esf_{0,00005Def.U}}{Def. 40\% - 0,00005} \quad \mu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l}$							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.5.2 CONCRETO REFORZADO CON FRCCM

Tabla 78. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con FRCCM sometido a compresión.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON							
Muestra N°	Deformación Longitudinal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U	Def. 40%
1	301,670	0,671	0,222	1,138	10,239	0,00005	0,00077
2	304,330	0,588	0,193	1,248	10,604	0,00005	0,00070
3	301,110	0,642	0,213	1,952	10,317	0,00005	0,00058
4	302,800	0,447	0,148	1,671	10,582	0,00005	0,00069
Muestra N°	Deformación Transversal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U	Def. 40%
1	150,00	0,3179	0,2119	1,1377	10,2389	0,00005	0,000192
2	150,00	0,3397	0,2265	1,2475	10,6041	0,00005	0,000165
3	151,00	0,3323	0,2201	1,9519	10,3170	0,00005	0,000161
4	151,00	0,3285	0,2175	1,6708	10,5818	0,00005	0,000173
Muestra N°	Esfuerzo [MPa]		Módulo de Elasticidad [MPa]		Relación de Poisson		
1	24,915		12558,721		0,196		
2	25,886		14288,754		0,176		
3	25,653		15732,368		0,208		
4	26,287		13850,682		0,190		
Media	25,685		14107,631		0,193		
Desviación Estándar	0,577		1308,653		0,014		
Coef de Variación [%]	2,245		9,276		7,057		
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$E = \frac{Esf. 40\% - Esf. 0,00005Def.U.}{Def. 40\% - 0,00005} \quad \mu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_l}$							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.5.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 79. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con fibras de coco sometido a compresión.

Muestra N°		Deformación Longitudinal					
		Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U
1	205,00	0,7830	0,3820	1,1168	5,5841	0,00005	0,000798
2	205,00	0,7070	0,3449	0,8321	4,9926	0,00005	0,000644
3	205,00	0,5109	0,2492	1,1968	6,3832	0,00005	0,000613
4	205,00	1,0262	0,5006	0,5659	5,3759	0,00005	0,000743
Muestra N°		Deformación Transversal					
		Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U
1	151,0000	0,0840	0,0556	1,1168	5,5841	0,00005	0,000164
2	151,0000	0,1909	0,1264	0,8321	4,9926	0,00005	0,000171
3	151,0000	0,4667	0,3091	5,9842	6,3832	0,00007	0,000090
4	151,0000	0,6401	0,4239	2,5465	5,3759	0,00005	0,000118
Muestra N°	Esfuerzo [MPa]		Módulo de Elasticidad [MPa]		Relación de Poisson		
1	13,5136		5975,5927		0,152		
2	11,8380		7003,8567		0,203		
3	15,4792		9206,7671		0,138		
4	13,2983		6936,7098		0,159		
Media	13,5323		7280,7315		0,163		
Desviación Estándar	1,4962		1367,2370		0,028		
Coef de Variación [%]	11,0567		18,7788		17,247		
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$E = \frac{Esf. 40\% - Esf_{0,00005DefU}}{Def. 40\% - 0,00005} \quad \mu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.5.4 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCCM

Tabla 80. Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson del concreto reforzado con fibras de coco y FRCCM sometido a compresión.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON							
Muestra N°	Deformación Longitudinal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U	Def. 40%
1	270,00	0,6188	0,2292	1,1318	7,9224	0,00005	0,000929
2	270,00	0,6838	0,2533	1,1318	7,9224	0,00005	0,001029
3	270,00	0,4103	0,1519	1,4147	8,4883	0,00005	0,000829
Muestra N°	Deformación Transversal						
	Lo [mm]	ΔL [mm]	Def. U [%]	Esf. 0,00005Def.U	Esf. 40%	0,00005Def.U	Def. 40%
1	151,0000	0,2002	0,1326	1,1318	7,9224	0,00005	0,000188
2	151,0000	0,0703	0,0466	1,1318	7,9224	0,00005	0,000245
3	151,0000	0,0546	0,0362	1,4147	8,4883	0,00005	0,000176
Muestra N°	Esfuerzo [MPa]		Módulo de Elasticidad [MPa]		Relación de Poisson		
1	19,240		7722,454		0,157		
2	19,399		6936,535		0,199		
3	20,195		9083,754		0,162		
Media	19,611		7914,248		0,173		
Desviación Estándar	0,112		555,728		0,030		
Coef de Variación [%]	0,571		7,022		17,272		
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$E = \frac{Esf. 40\% - Esf0,00005DefU.}{Def. 40\% - 0,00005} \quad \mu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.6 RESISTENCIA A FLEXIÓN

3.4.6.1 CONCRETO SIMPLE

Tabla 81. Ensayo de flexión del concreto simple.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA				
		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE FLEXIÓN						
Muestra N°	Edad [Días]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	35	81.50	81.00	450.00	2810.76	3.55
2	35	81.31	81.00	450.00	2496.98	3.16
3	35	81.30	81.50	450.00	2770.99	3.46
4	35	81.40	81.35	450.00	2550.36	3.20
5	35	81.45	81.49	450.00	2673.88	3.34
Media [MPa]						3.34
Desviación Estándar [MPa]						0.17
Coeficiente de Variación [%]						5.01

FÓRMULAS A UTILIZAR						
$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$						
Donde:						
R : módulo de rotura						
P : carga máxima aplicada						
b : ancho promedio de la muestra						
L : longitud entre soportes						
d : espesor promedio de la muestra						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

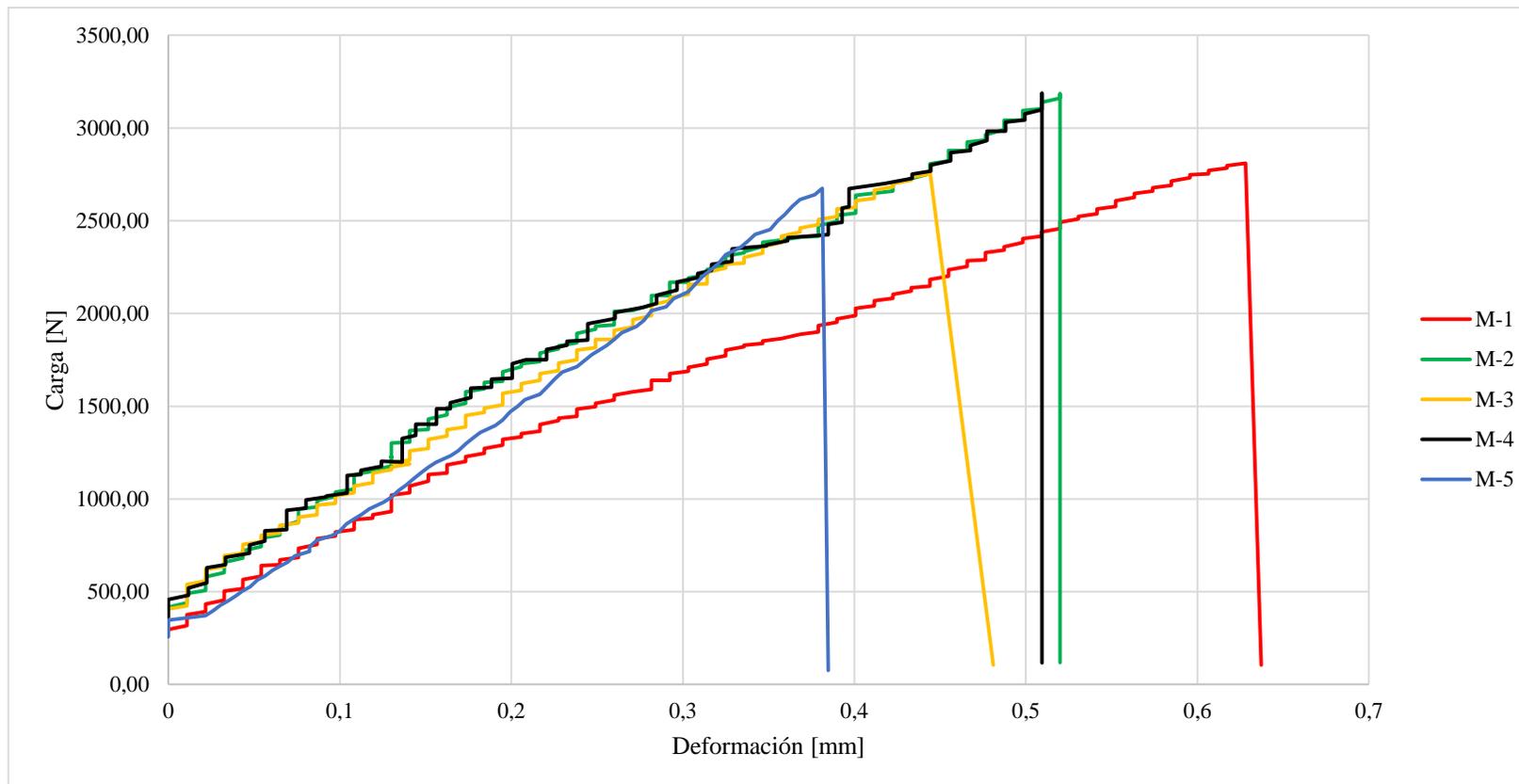


Figura 121. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto simple.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.6.2 CONCRETO SIMPLE REFORZADO CON FRCCM

Tabla 82. Ensayo de flexión del concreto simple reforzado con FRCCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO DE FLEXIÓN						
Muestra N°	Edad [Días]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	35	81.15	81.00	450.00	3738.310	4.74
2	35	80.00	81.00	450.00	3994.365	5.14
3	35	81.15	81.15	450.00	4490.153	5.67
4	35	81.00	81.00	450.00	3935.513	5.00
5	35	81.00	81.21	450.00	4662.721	5.89
Media [MPa]						5.29
Desviación Estándar [MPa]						0.48
Coeficiente de Variación [%]						9.07
Fecha: 31-03-2016						
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
Donde: R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes d : espesor promedio de la muestra						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

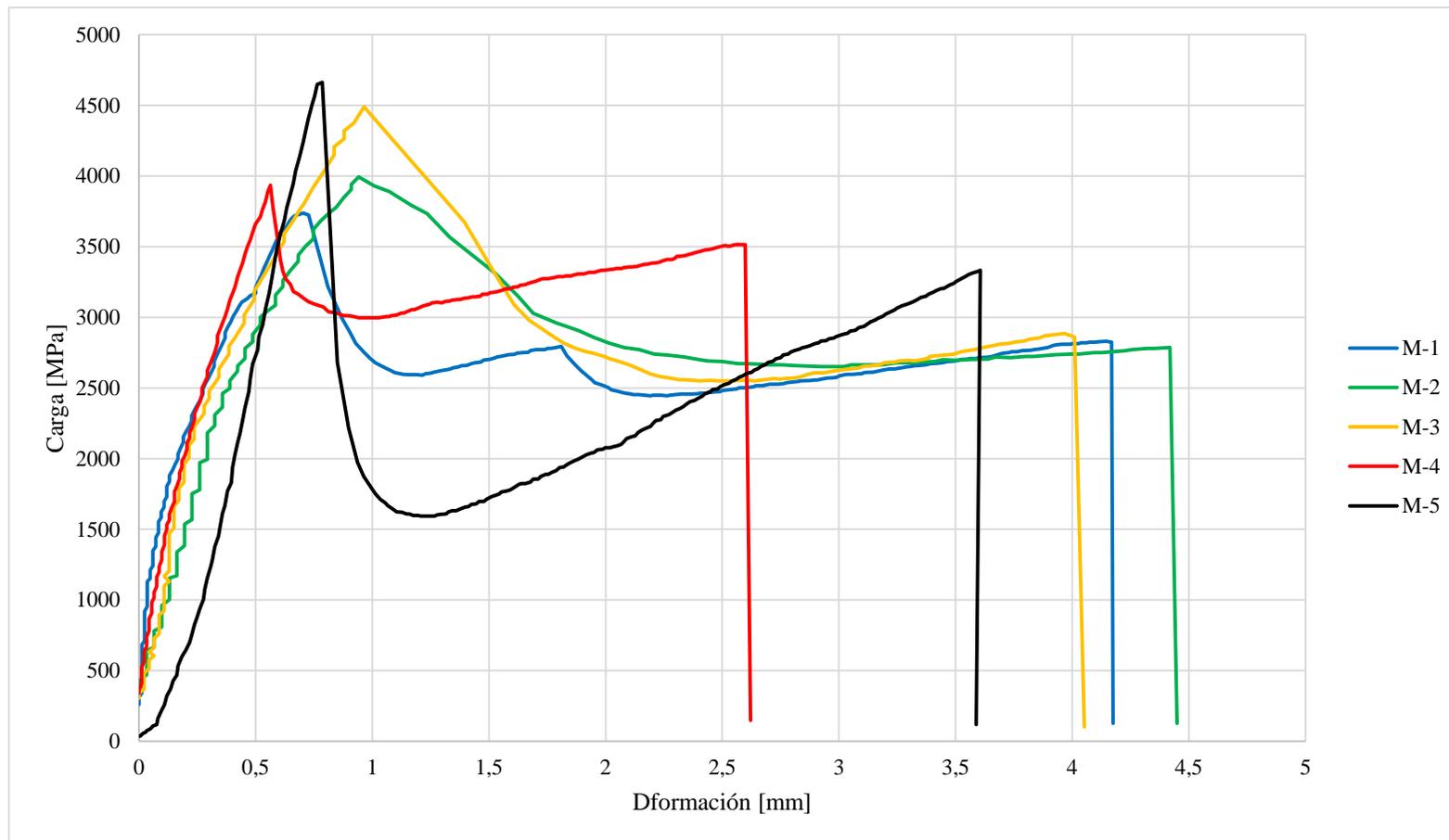


Figura 122. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.6.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 83. Ensayo de flexión del concreto reforzado con fibras de coco.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYO DE FLEXIÓN						
Muestra N°	Edad [Días]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	35	80.00	81.30	450.00	3825.026	4.88
2	35	81.20	81.15	450.00	2592.831	3.27
3	35	80.00	81.10	450.00	3294.097	4.23
4	35	81.15	81.20	450.00	3480.560	4.39
5	35	81.15	81.18	450.00	3193.219	4.03
Media [MPa]						4.16
Desviación Estándar [MPa]						0.59
Coeficiente de Variación [%]						14.14
Fecha: 08-04-2016						
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
Donde: R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de l muestra L : longitud entre soportes						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

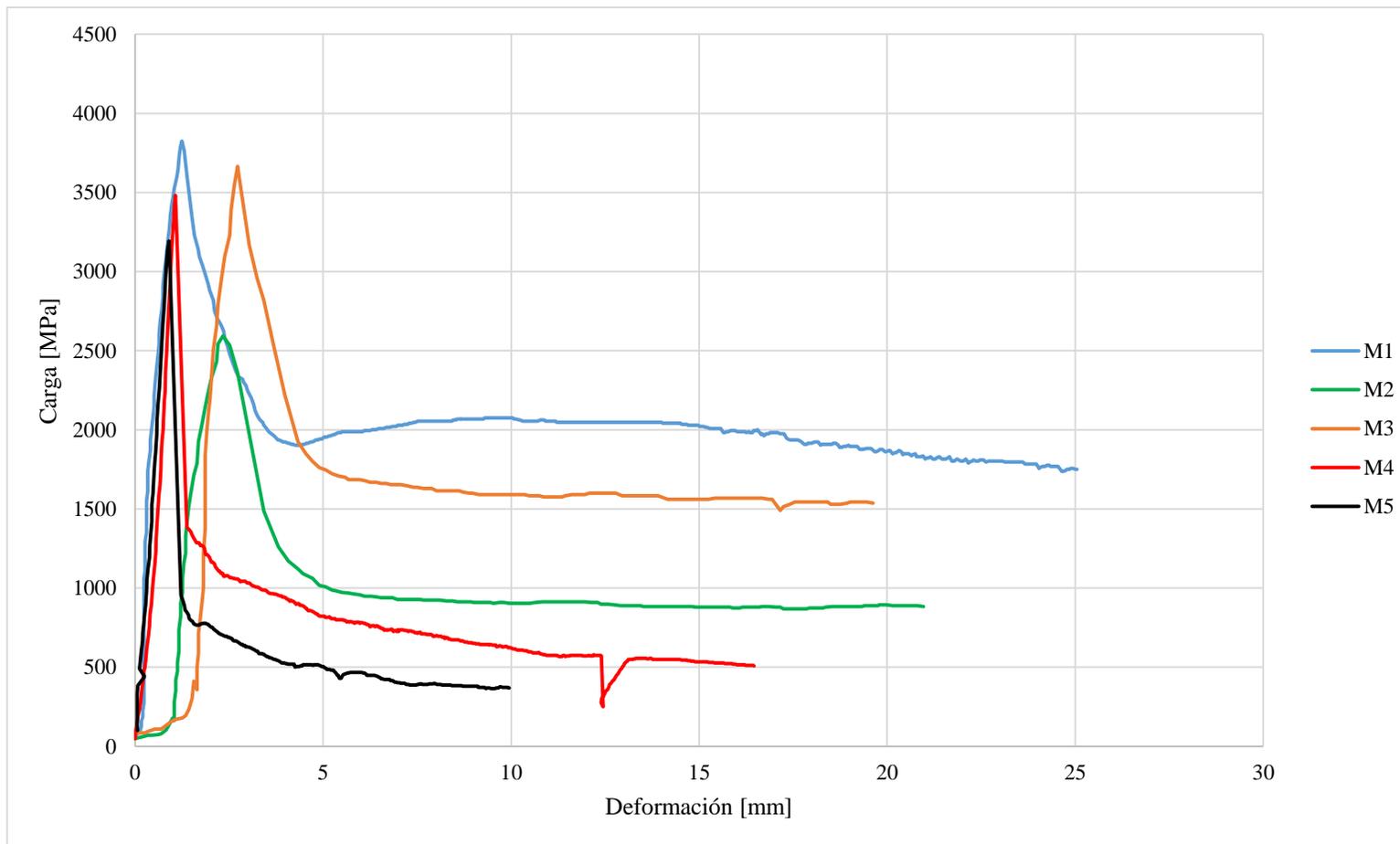


Figura 123. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.6.4 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM

Tabla 84. Ensayo de flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
ENSAYO DE FLEXIÓN						
Muestra N°	Edad [Días]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Luz entre soportes [mm]	Carga máxima [N]	Módulo de rotura [MPa]
1	30	81.00	80.50	450.00	5181.790	6.66
2	30	81.15	81.15	450.00	5576.964	7.04
3	30	81.20	81.20	450.00	4320.736	5.45
4	30	82.00	81.30	450.00	5325.424	6.63
5	30	81.24	81.35	450.00	5450.891	6.84
Media [MPa]						6.45
Desviación Estándar [MPa]						0.69
Coeficiente de Variación [%]						10.74
Fecha: 08-04-2016						
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$R = \frac{3PL}{2bd^2}$						
Donde: R : módulo de rotura P : carga máxima aplicada b : ancho promedio de la muestra L : longitud entre soportes						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

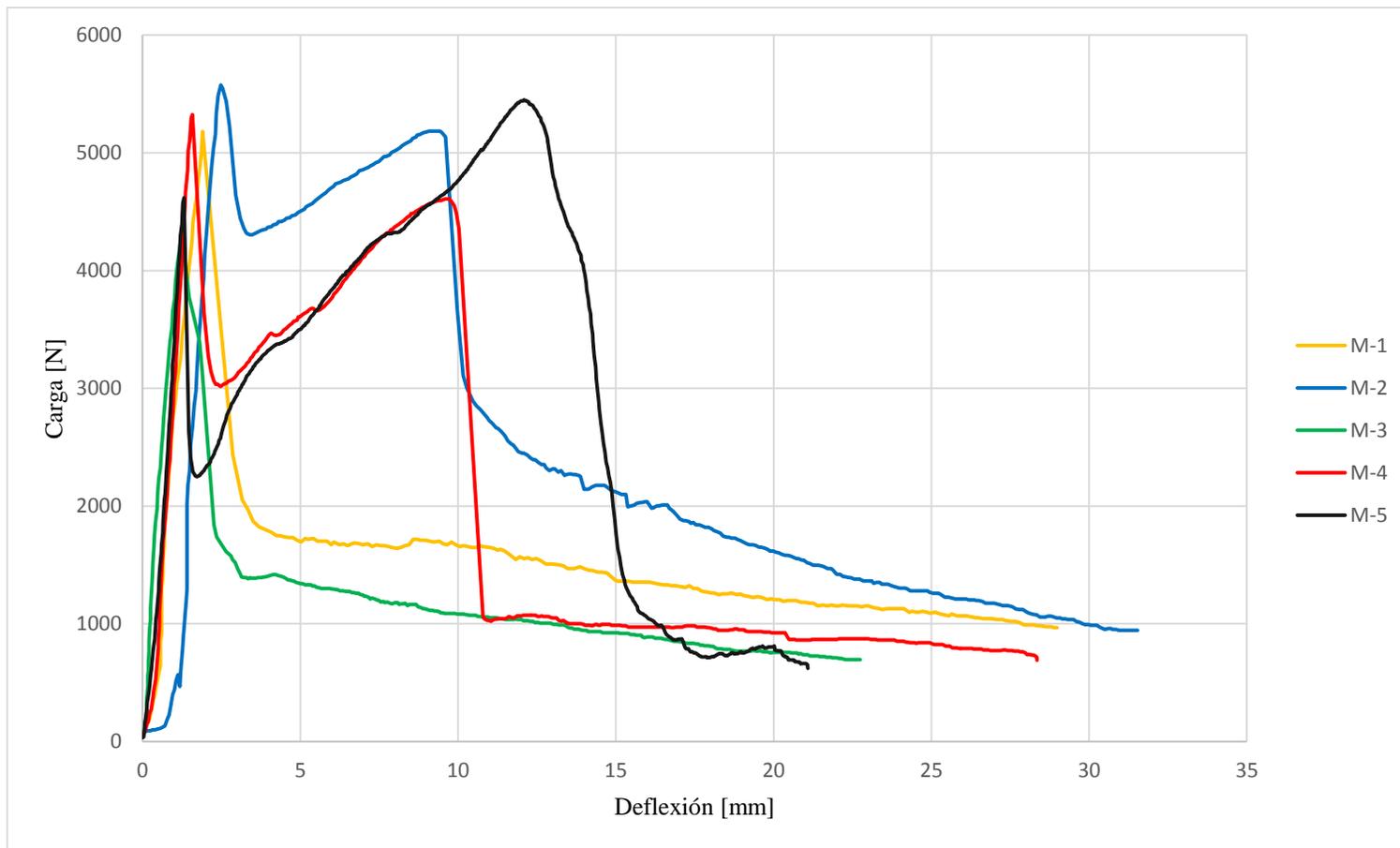


Figura 124. Curvas carga vs deformación del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.7 MÓDULO DE YOUNG

3.4.7.1 CONCRETO SIMPLE

Tabla 85. Módulo de Young del concreto simple sometido a cargas en flexión.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL									
MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	L [mm]	ΔL [mm]	Esfuerzo [MPa]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	81,00	0,628130	3,548139	0,7755	0,71409	2,13111	0,000535	0,003744	441,60
2	81,00	0,519832	4,028244	0,6418	0,81278	2,42408	0,000401	0,003075	602,57
3	81,50	0,444023	3,463641	0,5448	0,69604	2,08260	0,000266	0,002658	579,70
4	81,35	0,381210	3,994623	0,4686	0,80989	2,40199	0,000409	0,003005	613,16
5	81,49	0,381210	3,336925	0,4678	0,70324	2,00399	0,000638	0,002711	627,41
Media		0,47	3,67	0,58					572,89
Desviación Estándar		0,10	0,32	0,13					75,43
Coefficiente de Variación [%]		22,25	8,63	22,53					13,17
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.7.2 CONCRETO REFORZADO CON FRCCM

En las muestras ensayadas de concreto reforzado con FRCCM se obtuvo dos tipos de curva (ver fig. 86). En las muestras 1,2 y 3 se obtuvieron curvas caracterizadas por una sola etapa mientras que para las muestras 4 y 5 se obtuvo curvas con dos etapas diferentes, por lo tanto el módulo de Young fue calculado para cada tipo de muestra.

Tabla 86. Módulo de Young del concreto reforzado con FRCCM sometido a cargas en flexión (muestras 1, 2, 3).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL									
MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	L [mm]	ΔL [mm]	Esfuerzo [MPa]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
									Etapa 1
1	81,00	0,703	4,739	0,868	0,966	2,874	0,000294	0,002794	763,131
2	81,00	0,942	5,137	1,163	1,040	3,120	0,001203	0,004412	648,253
3	81,15	0,965	5,672	1,189	1,167	3,461	0,001321	0,00476	667,891
Media		0,870	5,183	1,073					693,092
Desviación Estándar		0,145	0,468	0,179					61,446
Coefficiente de Variación [%]		16,689	9,026	16,634					8,865
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 87. Módulo de Young del concreto reforzado con FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 4, 5).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL														
MÓDULO DE YOUNG														
Muestra N°	L [mm]	ΔL [mm]	Esfuerzo [MPa]	Def. U%	Etapa 1				Etapa 2				Módulo de Young [MPa]	
					Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Etapa 1	Etapa 2
4	81,00	0,563	4,938	0,695	0,991	2,998	0,001	0,003	3,941	4,202	0,016	0,024	789,954	34,924
5	81,21	0,785	5,886	0,967	1,181	3,617	0,003	0,006	2,078	3,347	0,017	0,033	777,755	80,357
Media			5,412	0,831									783,855	57,640
Desviación Estándar			0,670	0,192									8,626	32,126
Coefficiente de Variación [%]			12,387	23,108									1,100	55,735
FÓRMULAS A UTILIZAR														
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$														

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.7.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 88. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco sometido a cargas en flexión.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL										
MÓDULO DE YOUNG										
Muestra N°	Carga [N]	L [mm]	Esfuerzo [MPa]	ΔL [mm]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa]
1	3825,03	81,20	4,88	1,242182	1,5298	0,99856	2,94490	0,002891	0,006607	523,70
2	2592,83	81,00	3,27	2,339243	2,8880	0,66707	2,00744	0,013879	0,018150	313,86
3	3294,10	81,30	4,70	2,729117	3,3568	1,03577	2,82844	0,021366	0,024571	559,36
4	3480,56	81,35	4,39	1,072153	1,3180	0,89209	2,75991	0,004401	0,009603	359,09
5	3193,22	81,00	4,03	0,898876	1,1097	0,83675	2,49165	0,002401	0,007070	354,43
Media			4,26		2,04					422,09
Desviación Estándar			0,64		1,01					111,16
Coefficiente de Variación [%]			14,98		49,62					26,34
FÓRMULAS A UTILIZAR										
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$										

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.7.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCCM

Para este tipo de muestras se obtuvo los mismos casos que las muestras de concreto reforzado con FRCCM, por lo que su cálculo es igual.

Tabla 89. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco y FRCCM sometido a cargas en flexión (muestras 1, 3).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE YOUNG									
Muestra N°	L [mm]	ΔL [mm]	Esfuerzo [MPa]	Def. U%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Módulo de Young [MPa] Etapa 1
1	80,50	1,906	6,501	2,368	1,44576	4,09469	0,007441	0,014883	355,975
3	81,20	1,268	5,447	1,562	1,20910	3,30228	0,002817	0,007938	408,704
Media		1,587	5,974	1,965					382,340
Desviación Estándar		0,451	0,745	0,570					37,285
Coficiente de Variación [%]		28,408	12,470	28,995					9,752
FÓRMULAS A UTILIZAR									
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$									

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 90. Módulo de Young del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM sometido a cargas en flexión (muestras 2, 4, 5).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL														
MÓDULO DE YOUNG														
Muestra N°	L [mm]	ΔL [mm]	Esfuerzo [MPa]	Def. U%	Etapa 1				Etapa 2				Módulo de Young [MPa]	
					Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Esf. 20%	Esf. 60%	Def. 20%	Def. 60%	Etapa 1	Etapa 2
2	81,15	2,478	7,044	3,053	1,494	4,260	0,017	0,022	5,453	6,090	0,044	0,084	569,492	16,088
4	81,30	1,581	6,632	1,945	1,376	4,169	0,007	0,013	3,901	4,988	0,037	0,082	419,383	24,432
5	81,35	1,310	5,799	1,611	1,193	3,482	0,005	0,011	3,306	5,401	0,031	0,095	399,850	32,987
Media			6,492	2,203									462,909	24,502
Desviación Estándar			0,635	0,755									92,819	8,450
Coefficiente de Variación [%]			9,776	34,279									20,051	34,485
FÓRMULAS A UTILIZAR														
$E = \frac{Esf\ 60\% - Esf\ 20\%}{Def\ 60\% - Def\ 20\%}$														

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.8 DEFLEXIÓN

3.4.8.1 CONCRETO SIMPLE

Tabla 91. Deflexión experimental y teórica del concreto simple.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	Lo [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	2810,76	3609370,125	450	13167,46	0,6281	0,1123
2	2496,98	3600955,643	450	13167,46	0,5198	0,1000
3	2770,99	3667601,366	450	13167,46	0,4440	0,1089
4	2550,36	3651874,386	450	13167,46	0,3812	0,1007
5	2673,88	3673015,796	450	13167,46	0,3812	0,1050
Media [mm]					0,4709	0,1054
Desviación Estándar [mm]					0,1048	0,0053
Coefficiente de Variación [%]					22,25	5,01
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde:						
Δ : deflexión teórica P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.8.2 CONCRETO REFORZADO CON FRCCM

Tabla 92. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con FRCCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	Lo [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	3738,310	3593869,763	450	14107,631	0,703	0,140
2	3994,365	3542940,000	450	14107,631	0,942	0,152
3	4490,153	3613872,702	450	14107,631	0,965	0,167
4	3935,513	3587226,750	450	14107,631	0,563	0,148
5	4662,721	3620544,434	450	14107,631	0,785	0,173
Media [mm]					0,792	0,156
Desviación Estándar [mm]					0,168	0,014
Coefficiente de Variación [%]					21,215	8,895
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde: Δ: deflexión teórica P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.8.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO.

Tabla 93. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con fibras de coco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	Lo [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	3825,03	3582451,980	450	7280,73	1,2422	0,2784
2	2592,83	3616099,365	450	7280,73	2,3392	0,1870
3	3294,10	3556078,207	450	7280,73	2,7291	0,2415
4	3480,56	3620556,806	450	7280,73	1,0722	0,2507
5	3193,22	3617882,176	450	7280,73	0,8989	0,2301
Media [mm]					1,66	0,24
Desviación Estándar [mm]					0,82	0,03
Coefficiente de Variación [%]					49,64	14,07
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde: Δ: deflexión teórica P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.8.4 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM

Tabla 94. Deflexión experimental y teórica del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
DEFLEXIÓN						
Muestra Nº	Carga [N]	Inercia [mm ⁴]	Lo [mm]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	
					Experimental	Teórica
1	5181,80	3654067,781	450	7914,25	1,906	0,3402
2	5576,97	3613872,702	450	7914,25	2,478	0,3702
3	4320,74	3622787,586	450	7914,25	1,268	0,2861
4	5325,43	3672013,280	450	7914,25	1,581	0,3479
5	5450,89	3644696,255	450	7914,25	1,310	0,3588
Media [mm]					1,709	0,34
Desviación Estándar [mm]					0,500	0,03
Coefficiente de Variación [%]					29,251	9,55
FÓRMULAS A UTILIZAR						
$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$						
Donde: Δ: deflexión teórica P: carga máxima aplicada L: longitud entre apoyos E: módulo de young I: inercia						

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.9 ENERGÍA DE FRACTURA O TENACIDAD

Tabla 95. Energía de fractura o tenacidad de los especímenes.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
ENERGÍA DE FRACTURA O TENACIDAD							
CONCRETO SIMPLE				CONCRETO REFORZADO CON FRCM			
Muestra N°	Área de la muestra [mm ²]	Energía de Absorción [J]	Energía de Fractura (T) [J/m ²]	Muestra N°	Área de la muestra [mm ²]	Energía de Absorción [J]	Energía de Fractura (T) [J/m ²]
1	6601,500	1071,106	162,252	1	6573,150	11121,093	1691,897
2	6586,110	773,662	117,469	2	6480,000	11788,642	1819,235
3	6625,950	725,133	109,438	3	6585,323	11824,805	1795,630
4	6621,890	770,509	116,358	4	6561,000	8004,025	1219,940
5	6637,361	550,031	82,869	5	6578,010	8320,465	1264,891
Media		778,088	117,677	Media		10211,806	1558,319
Desviación Estándar		187,584	28,584	Desviación Estándar		1895,155	292,762
Coefficiente de Variación [%]		24,108	24,290	Coefficiente de Variación [%]		18,558	18,787
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO				CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM			
Muestra N°	Área de la muestra [mm ²]	Energía de Absorción [J]	Energía de Fractura (T) [J/m ²]	Muestra N°	Área de la muestra [mm ²]	Energía de Absorción [J]	Energía de Fractura (T) [J/m ²]
1	6504,000	50266,475	7728,548	1	6520,500	44725,512	6859,215
2	6589,380	20972,866	3182,828	2	6585,323	76215,405	11573,527
3	6488,000	31539,555	4861,214	3	6593,440	44311,260	6720,507
4	6589,380	17758,590	2695,032	4	6666,600	74101,310	11115,308
5	6587,757	14256,093	2164,028	5	6608,874	83845,880	12686,863
Media		26958,716	4126,330	Media		64639,873	9791,084
Desviación Estándar		14543,599	2253,079	Desviación Estándar		18723,092	2799,130
Coefficiente de Variación [%]		53,948	54,602	Coefficiente de Variación [%]		28,965	28,589
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$T = \frac{\text{Energía de absorción}}{\text{Área de la sección transversal}}$							
Donde: J (energía de absorción): área bajo la curva de carga [N] vs deformación [mm]							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.10 DUCTILIDAD

3.4.10.1 COMPRESIÓN

Tabla 96. Ductilidad de los especímenes sometidos a compresión.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
DUCTILIDAD A COMPRESIÓN							
CONCRETO SIMPLE				CONCRETO REFORZADO CON FRCM			
Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ	Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ
1	0,00224	0,00142	1,579	1	0,00305	0,00174	1,749
2	0,00213	0,00134	1,587	2	0,00237	0,00112	2,117
3	0,00256	0,00147	1,749	3	0,00213	0,00124	1,721
Media			1,638	4	0,00211	0,00122	1,724
Desviación Estándar			0,096	Media			1,828
Coefficiente de Variación [%]			5,853	Desviación Estándar			0,193
				Coefficiente de Variación [%]			10,574
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO				CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM			
Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ	Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ
1	0,00650	0,00179	3,633	1	0,005	0,001	4,522
2	0,00575	0,00143	4,032	2	0,005	0,001	3,388
3	0,00334	0,00189	1,763	3	0,003	0,001	4,442
4	0,00617	0,00246	2,508	Media			4,117
Media			2,984	Desviación Estándar			0,632
Desviación Estándar			1,039	Coefficiente de Variación [%]			15,361
Coefficiente de Variación [%]			34,815				
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\mu_\epsilon = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_e}$ <p>Donde:</p> <p>μ_ϵ: Índice de ductilidad por deformación</p> <p>ϵ_u: deformación unitaria de rotura</p> <p>ϵ_e: deformación unitaria elástica máxima</p>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.10.2 FLEXIÓN

Tabla 97. Ductilidad de los especímenes sometidos a flexión.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
DUCTILIDAD A FLEXIÓN							
CONCRETO SIMPLE				CONCRETO REFORZADO CON FRCM			
Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ	Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ
1	0,00775	0,00762	1,017	1	0,05154	0,00494	10,438
2	0,00628	0,00615	1,022	2	0,05493	0,01163	4,723
3	0,00549	0,00532	1,034	3	0,05004	0,01191	4,200
4	0,00628	0,00614	1,024	4	0,03236	0,00681	4,748
5	0,00470	0,00452	1,041	5	0,04430	0,00943	4,696
Media			1,027	Media			5,761
Desviación Estándar			0,010	Desviación Estándar			2,624
Coefficiente de Variación [%]			0,937	Coefficiente de Variación [%]			45,549
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO				CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO Y FRCM			
Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ	Muestra N°	ϵ_u	ϵ_e	μ_ϵ
1	0,30806	0,01610	19,133	1	0,27912	0,01480	18,862
2	0,25837	0,02509	10,298	2	0,35713	0,02349	15,205
3	0,24197	0,03365	7,191	3	0,38768	0,02947	13,155
4	0,12883	0,01293	9,963	4	0,34873	0,01892	18,434
5	0,12260	0,01107	11,071	5	0,25920	0,01610	16,096
Media			11,531	Media			16,351
Desviación Estándar			4,495	Desviación Estándar			2,358
Coefficiente de Variación [%]			38,980	Coefficiente de Variación [%]			14,421
FÓRMULAS A UTILIZAR							
$\mu_\epsilon = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_e}$ <p>Donde:</p> <p>μ_ϵ: Índice de ductilidad por deformación</p> <p>ϵ_u: deformación unitaria de rotura</p> <p>ϵ_e: deformación unitaria elástica máxima</p>							

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.11 pH EN ESTADO ENDURECIDO

3.4.11.1 CONCRETO SIMPLE

Tabla 98. pH del concreto simple.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
pH DEL CONCRETO SIMPLE		
Muestra N°	Edad [Días]	pH
1	35	12,301
2	35	12,510
3	35	11,950
4	35	12,200
5	35	11,850
Media		12,162
Desviación Estándar		0,27
Coeficiente de Variación [%]		2,19

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

3.4.11.2 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

Tabla 99. pH del concreto reforzado con fibras de coco.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
pH DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO		
Muestra N°	Edad [Días]	pH
1	35	11,568
2	35	11,536
3	35	11,542
4	35	11,695
5	35	11,602
Media		11,589
Desviación Estándar		0,06
Coeficiente de Variación [%]		0,56

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA

Las características de las fibras dependen principalmente de la madurez de la planta, ubicación en la que se cultiva y el método de extracción utilizado. Los valores de diámetro y densidad de las fibras de cabuya son semejantes a los reportados en investigaciones anteriores.

En el estudio realizado a los hilos de cabuya respecto a la resistencia a tracción, se pudo observar una rotura de fibras a diferentes longitudes y un desgarramiento de las mismas (ver fig. 125a). También se observa una rotura de las fibras exteriores y la conservación entrecruzada de las fibras centrales, lo que permite obtener mayores cargas. En los hilos recubiertos con resina se obtuvieron cargas menores debido a que al recubrirlas con resina provoca que las fibras exteriores y centrales se rompan al mismo tiempo (ver fig. 125b).

Además de la resistencia a tracción se tomó lecturas de la deformación de la fibra en el momento de la falla, teniendo como resultado que la deformación es directamente proporcional al diámetro de la fibra; es decir que entre mayor sea el diámetro de la fibra mayor es su deformación.

El esfuerzo a tracción de los hilos con y sin resina fue evaluado como la relación entre la carga de rotura y el área del hilo. Los resultados obtenidos son altos lo que indica que la fibra de cabuya es un material muy resistente a la tracción lo cual ayudará a mejorar la resistencia a tracción del mortero. Realizando la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria (ver fig.126), se puede decir que existe una relación lineal entre los datos, es decir que entre mayor sea la carga mayor es la deformación.

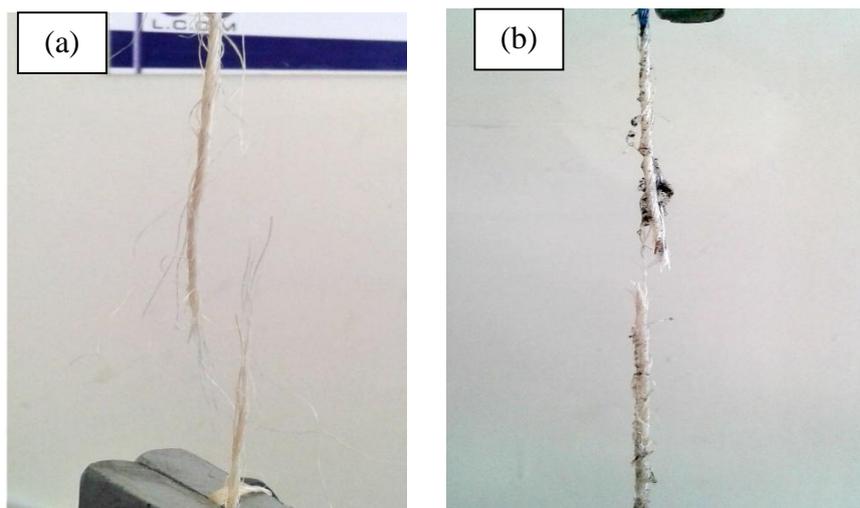


Figura 125. Tipo de rotura en los hilos de cabuya: (a) hilo (b) hilo con resina.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

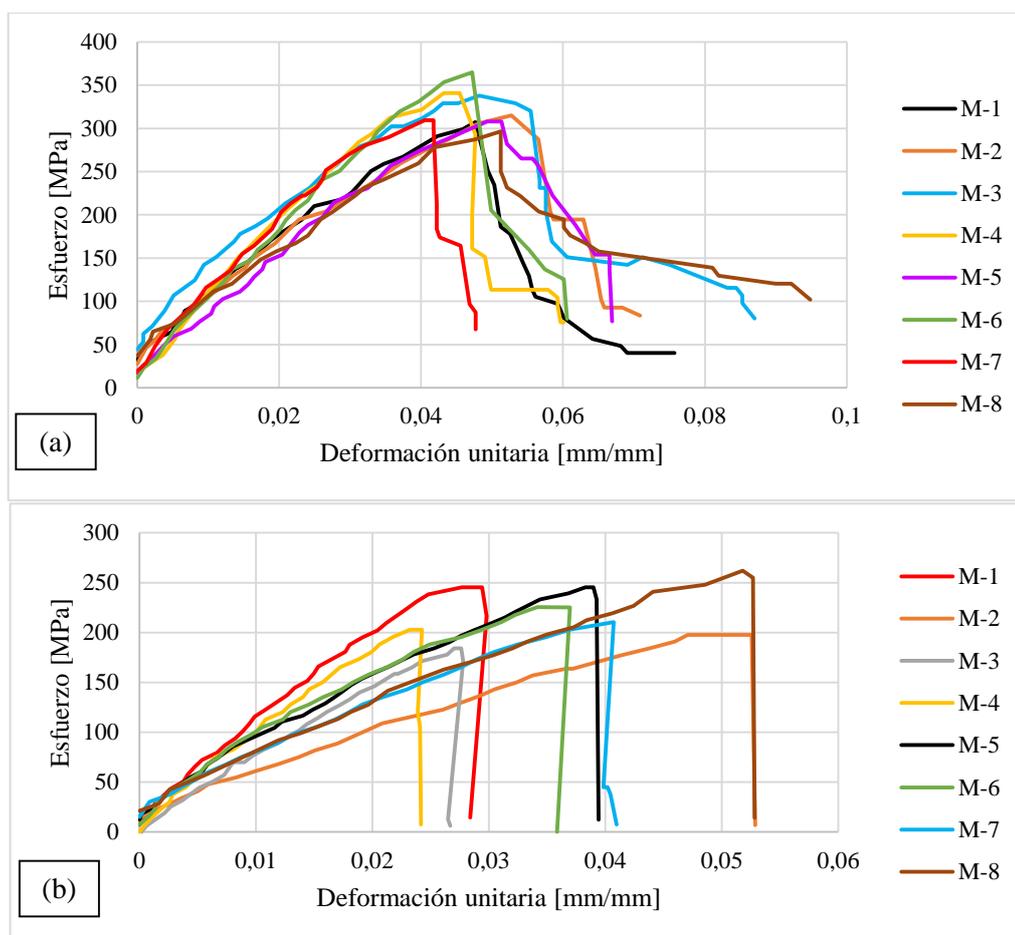


Figura 126. Curvas Esfuerzo vs Deformación unitaria: (a) hilo (b) hilo con resina.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

En los tejidos se observó que la ductilidad depende del número de hilos que se encuentren en la dirección de ensayo, entre más número de hilos presente el tejido la ductilidad será mayor. El tipo de falla es igual que el de los hilos recubiertos resina (ver fig.127). La disminución de las propiedades mecánicas de las muestras de tejido a comparación con los hilos se debe a la distribución irregular de la carga hacia los hilos.

Las propiedades del tejido de cabuya que se detallan en el capítulo anterior, indican que los tejidos de cabuya son favorables para ser utilizados en la elaboración de materiales compuestos con matriz cementicia.

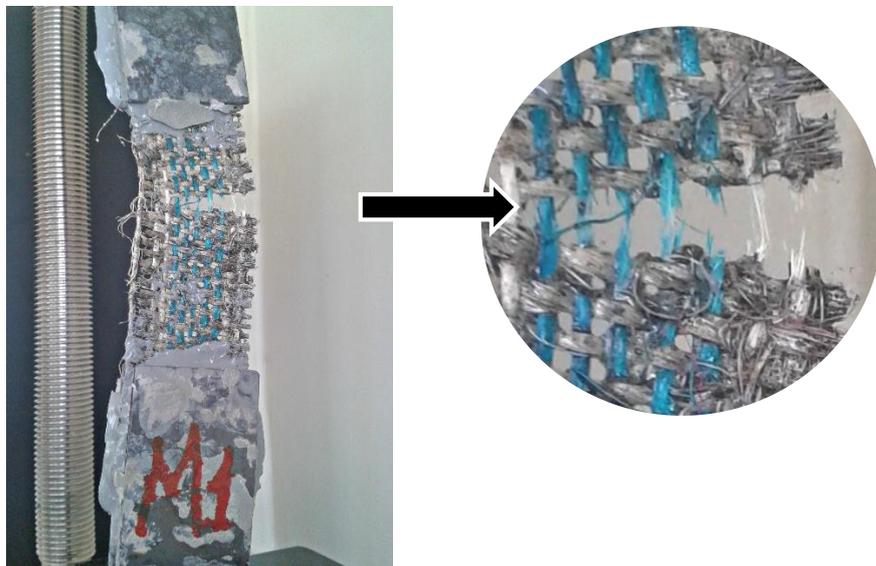


Figura 127. Tipo de falla del tejido recubierto con resina.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO

La fibra de coco comercializada se encuentra en longitudes de entre 15 y 25 cm con un diámetro de 297.38 μm . El porcentaje de absorción de la fibra es de 94.77% esto se debe a que posee una porosidad entre el 96% (Quintero & González, 2006).

La tenacidad obtenida es mayor que el de otras fibras naturales, esto se debe a la capacidad que tiene la fibra de coco de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, al igual que la capacidad que tiene la fibra de estirarse permanente mientras se le aplica carga a tracción.

4.3 PROPIEDADES DEL MORTERO

La arena utilizada para la elaboración del mortero (matriz cementicia) es una arena gruesa con un porcentaje de absorción del 1.86%, tamaño máximo de partículas de 0.84 mm y tamaño máximo nominal 0.60 mm. Se determinó la resistencia a la compresión, obteniendo como resultado una resistencia de 32.96 MPa. El tiempo de fraguado final de la matriz cementicia es de 1h:16min con una temperatura de 36 °C y una humedad de 26%.

4.4 PROPIEDADES DEL FRCM

Una de las propiedades estudiadas del FRCM fue el porcentaje de absorción, teniendo como resultado que el FRCM puede absorber 16.59% de agua, también se determinó la absorción por capilaridad, en donde se recolecto datos de los valores de agua absorbida por unidad de superficie en los intervalos de tiempo estipulados, representándolos gráficamente. En la curva de la figura 128 se observa dos tramos bien diferenciados, el primer tramo de crecimiento casi lineal seguido de un tramo horizontal el cual se forma cuando el FRCM alcanza su estado de saturación.

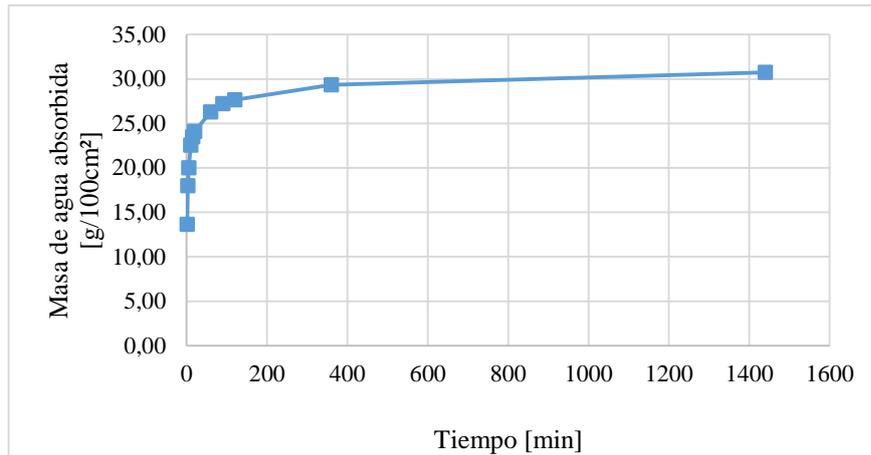


Figura 128. Curva masa de agua absorbida vs tiempo del FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

4.5 COMPARACIÓN ENTRE EL MATERIAL COMPUESTO Y EL MORTERO

4.5.1 DENSIDAD

El FRCM elaborado para esta investigación tiene una densidad menor que la del mortero (ver fig.129), esto se debe a que al tener poco peso los tejidos de fibra de cabuya y debido a que ocupan la mayor parte del material compuesto provoca que sea un material liviano.

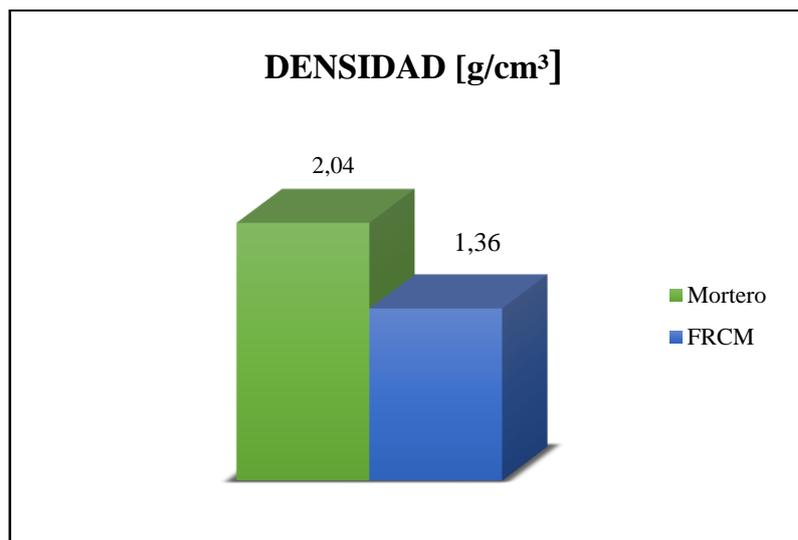


Figura 129. Densidad del motero y del FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

4.5.2 RESISTENCIA A TRACCIÓN

Las fallas presentadas en las muestras de material compuesto se observó roturas a diferentes alturas en la matriz cementicia, (ver fig.132). Sin embargo el material permaneció unido en gran parte debido al tejido de cabuya que presenta. Además se pudo observar grietas provocadas por el desprendimiento de la matriz y el tejido de cabuya. El tejido de reforzamiento falló igual a la rotura observada en el modo de falla a tracción de los hilos con resina.

Comparando la resistencia a tracción del mortero y del material compuesto, se puede apreciar que el material compuesto reforzado con fibras de tejido de cabuya presenta un aumento considerable en la resistencia (ver figura 130), lo que indica que la fibra de cabuya tiene un gran aporte en la resistencia a tracción.

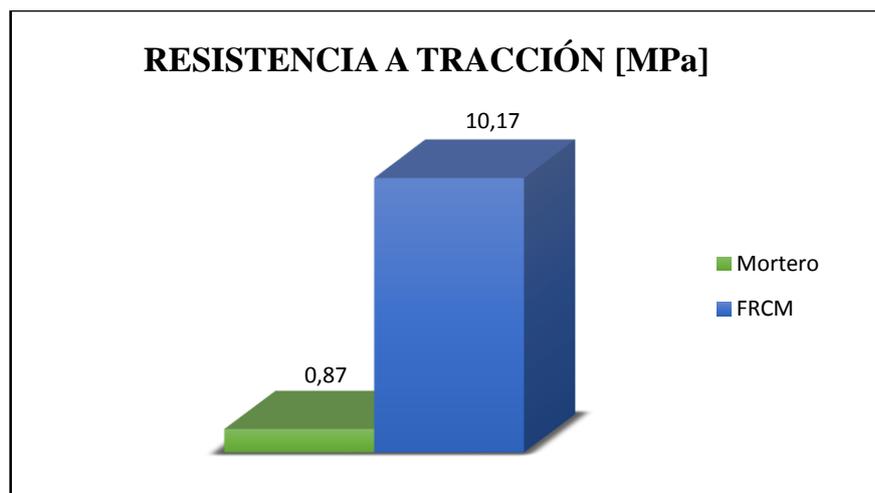


Figura 130. Comparación de la resistencia a tracción entre el mortero y FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.



Figura 131. Falla del mortero sometido a tracción.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

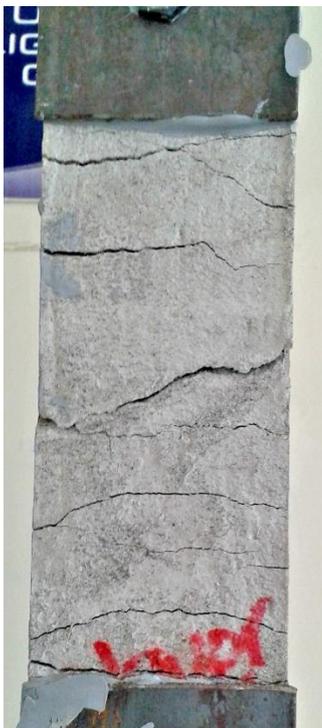


Figura 132. Falla del FRCCM sometido a tracción

Fuente: Andrea Estrella Ch.

La matriz cementicia además de proteger al tejido, tiene como función principal la de actuar como un medio para transferir los esfuerzos y tensiones entre las fibras, este proceso es posible solo si existe una interacción fibra-matriz apropiada así como el anclaje de los tejidos en la matriz son lo suficientemente fuertes como para difundir las cargas externas a lo largo de todas las fibras internas (Cevallos, 2015). En la figura 133 se puede observar que el material compuesto reforzado con tejido de fibras de cabuya producto de esta investigación cumple con lo mencionado anteriormente lo que nos indica que es un material recomendable para el reforzamiento de elementos de concreto reforzado.



Figura 133. Adherencia del tejido en la matriz cementicia.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Durante el comportamiento a tracción de las muestras del material compuesto se pudo identificar tres etapas principales (ver fig. 135), la primera etapa se caracteriza por presentar un comportamiento casi lineal y termina al formarse la primera grieta en la matriz cementicia. En la segunda etapa el comportamiento es no lineal, aparecen múltiples fisuras debido a la liberación de energía almacenada causando una disminución de la tensión. En la tercera etapa los tejidos son los que rigen el comportamiento del material compuesto y la contribución de la matriz cementicia es nula, esta etapa termina cuando se obtiene la carga máxima la cual

hace que el material compuesto falle totalmente. Todo este comportamiento se debe a la alta ductilidad que presentan los tejidos de cabuya.

En las muestras de mortero se pudo observar que al aplicar las cargas de tracción se produjo una sola fisura mientras que en el material compuesto se produjeron múltiples fisuras, lo que nos da como resultado que las curvas de esfuerzo vs deformación del mortero presenten un comportamiento casi lineal.

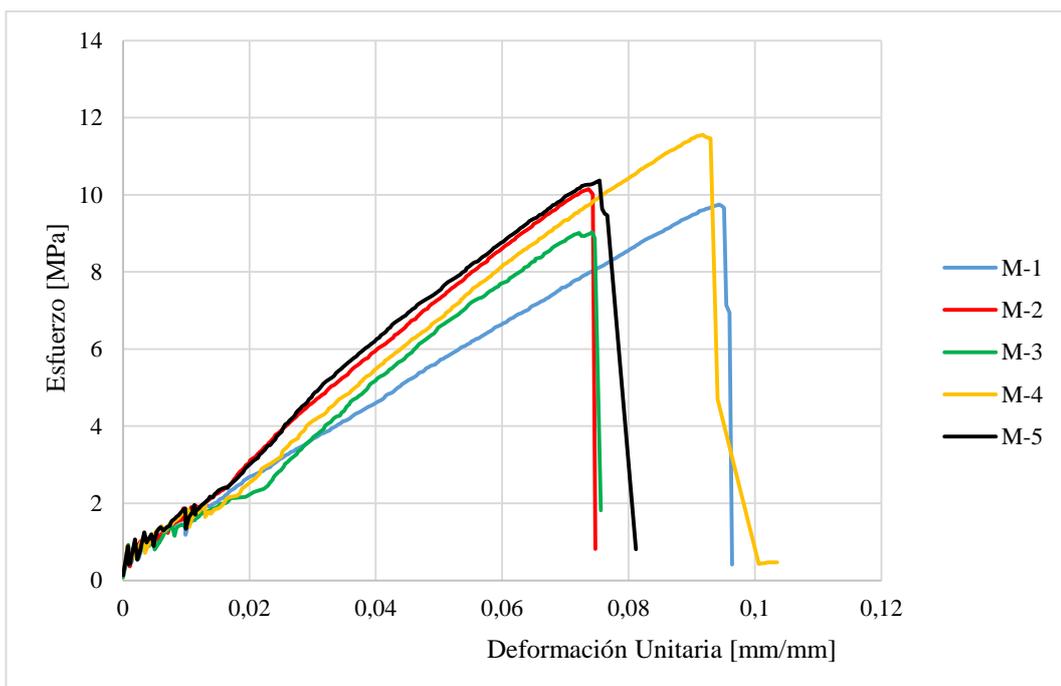
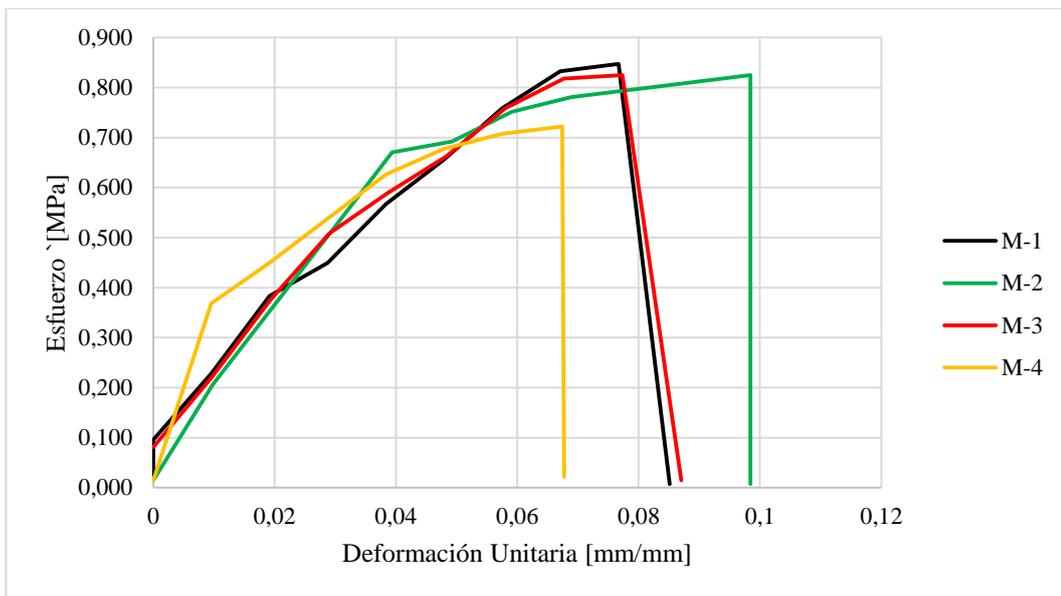


Figura 134. Curvas esfuerzo vs deformación (a) mortero (b) FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.



Figura 135. Etapas del comportamiento a tracción del FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

4.5.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN

El modo de falla a flexión del material compuesto reforzado al igual que en el modo de falla a tracción, se observó la aparición de grietas debido al desprendimiento entre el tejido de cabuya y la matriz cementicia (ver fig.137b). El tejido de reforzamiento no presentó ningún tipo de rotura, a diferencia de la matriz cementicia que presentó fisuras a diferentes alturas (ver fig.137b). El valor promedio de la resistencia a tracción del FRCM es 644% mayor que la del mortero.

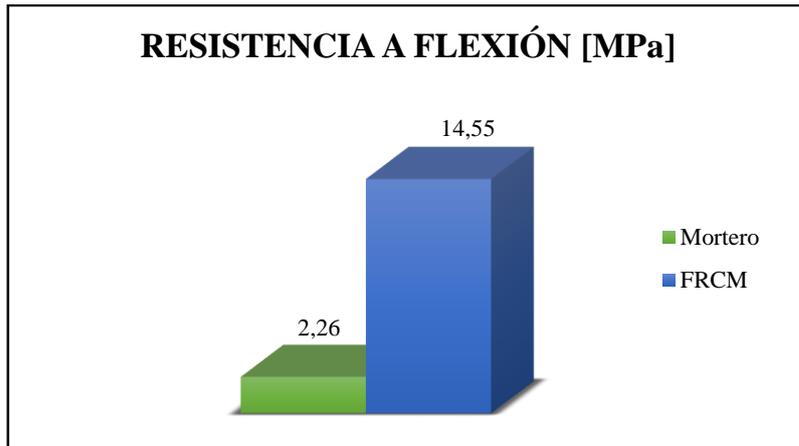


Figura 136. Resistencia a flexión del mortero y del FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

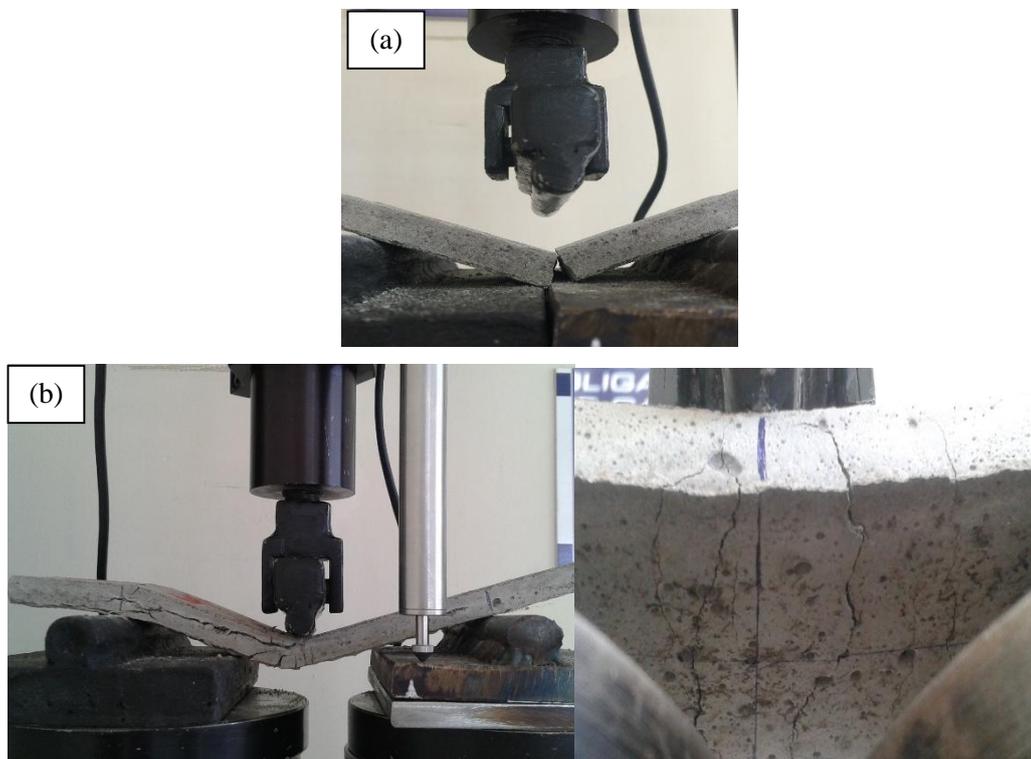


Figura 137. Comportamiento a flexión del (a) mortero y (b) FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

4.6 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL REFORZAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO

Con la finalidad de comparar la influencia del material compuesto reforzado con fibras de cabuya y la adición de fibras de coco a la mezcla, se realizaron probetas de concreto simple (PC), concreto reforzado con material compuesto (PC-FRCM), concreto reforzado con fibras de coco (CFRC) y concreto reforzado con fibras de coco y material compuesto (CFRC-FRCM), los cuales fueron ensayados a compresión y flexión.

4.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para estudiar el comportamiento a compresión de los elementos reforzados con FRCM se utilizó como base los resultados de los cilindros de concreto simple, el cual es considerado como el 100%.

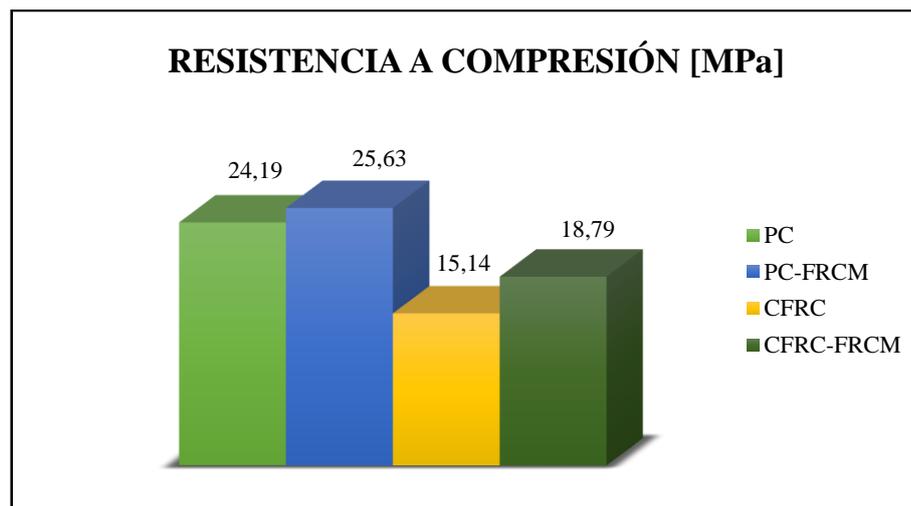


Figura 138. Resultado de la resistencia a compresión de los especímenes.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 100. Porcentaje de la resistencia a compresión de los especímenes.

	PC	PC-FRCM	CFRC	CFRC-FRCM
Resistencia [MPa]	24,19	25,63	15,14	18,79
%	100	106	63	78

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

La única muestra que presentó mayor resistencia a la compresión que el concreto simple fue el PC-FRCM incrementado la resistencia en un 6%, por otra parte la inclusión de las fibras de coco afectó al concreto y disminuyó la resistencia. Pero no todo es malo en el uso de la fibra de coco, ya que el efecto positivo de la incorporación de estas fibras de coco fue que al momento de la falla el concreto no presentó una falla explosiva manteniendo el concreto unido, de lo cual se deduce que existe una buena adherencia entre la matriz y la fibra y se mejora considerablemente la ductilidad del concreto (ver fig.139).



Figura 139. Falla a compresión de los especímenes de PC, PC-FRCM, CFRC, CFRC-FRCM.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

La deformación de las muestras de CFRC, CFRC-FRCM y PC-FRCM son mayores que las de PC (ver fig.140), esto se debe a que la carga aplicada durante el ensayo es transferida del concreto a las fibras, y las fibras a su vez no permiten que la grieta avance. En el grafico 141 se observa el comportamiento de los especímenes sometidos a compresión.

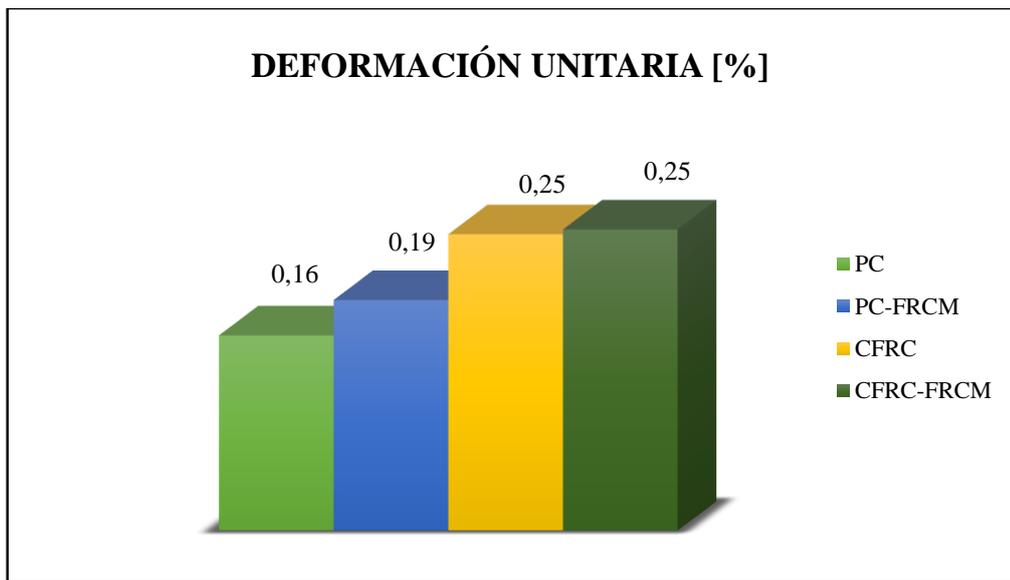


Figura 140. Deformación unitaria de los diferentes especímenes.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

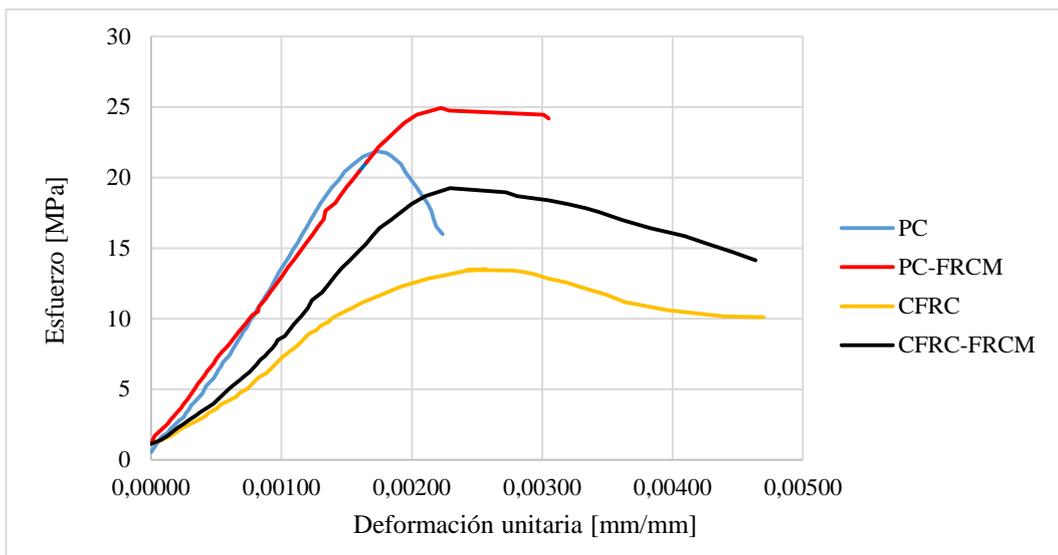


Figura 141. Comportamiento de los especímenes sometidos a cargas de compresión.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Los resultados obtenidos en el grafico 142 nos indican que el concreto reforzado con FRCM tiene el mayor módulo de elasticidad, lo que significa que tiene mayor tenacidad.

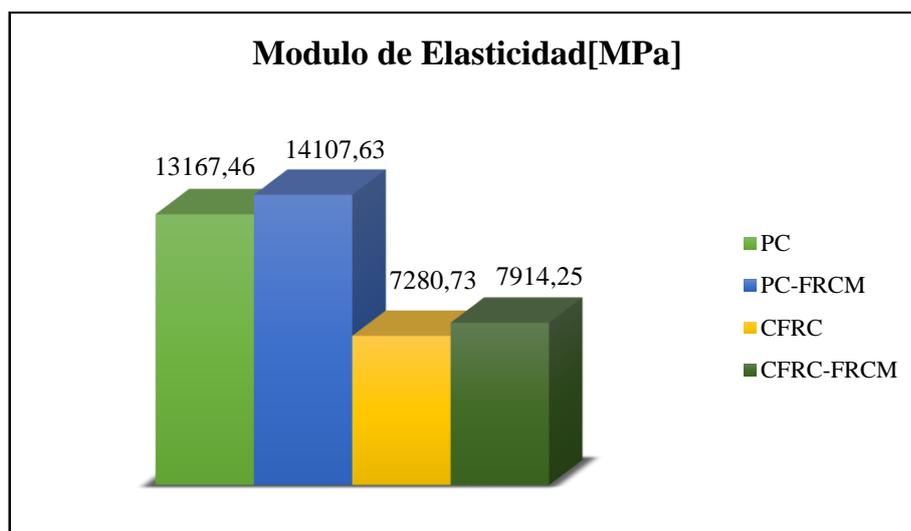


Figura 142. Módulo de elasticidad de los diferentes especímenes.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

4.6.2 RESISTENCIA A FLEXIÓN

Para el análisis del comportamiento de las muestras a flexión se utilizó como base los resultados de las vigas de concreto simple. En la tabla 101 se aprecia que las vigas de PC-FRCM, CFRC y CFRC-FRCM presentan un aumento en la resistencia, siendo la viga de CRFC-FRCM la que muestra una mayor capacidad de carga incrementada en el 93% con respecto a las vigas de PC.

Tabla 101. Porcentaje de la resistencia a flexión de los especímenes.

	PC	PC-FRCM	CFRC	CFRC-FRCM
Resistencia [MPa]	3,34	5,29	4,16	6,45
%	100	158	125	193

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

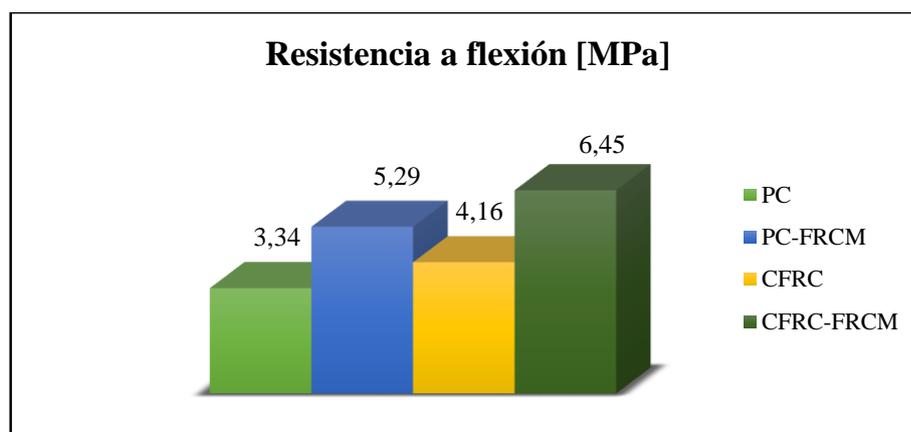


Figura 143. Resultado de la resistencia a flexión de los especímenes.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

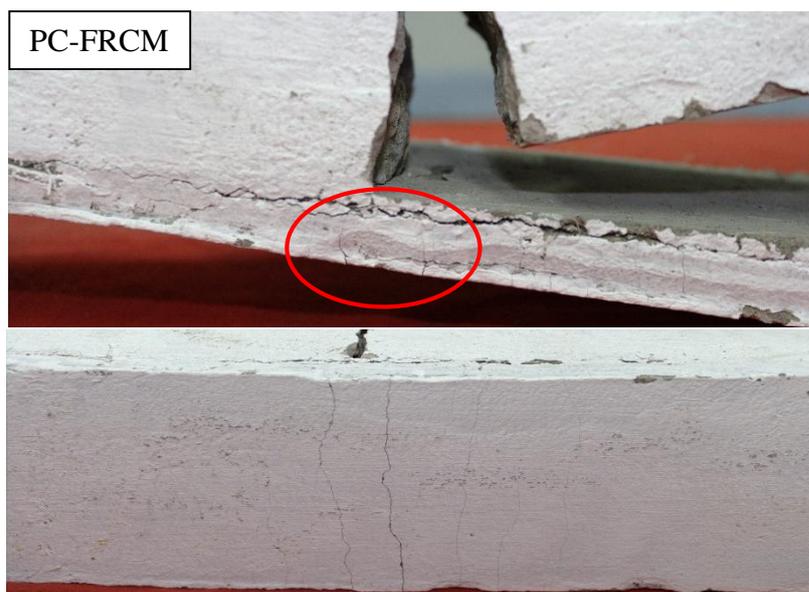
En las vigas de concreto simple se produjo una falla frágil debido a una sola fisura central con una trayectoria claramente vertical, mientras que en las vigas de CFRC se observó que las fibras internas cambian la trayectoria de la fisura al distribuir las tensiones internas en el concreto.



Figura 144. Falla a flexión de las vigas.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

En el material compuesto colocado en las vigas de concreto simple y en las vigas de CFRC las fisuras aparecen a 90° y 315° respectivamente, las cuales se propagan hasta la parte posterior del FRCM.



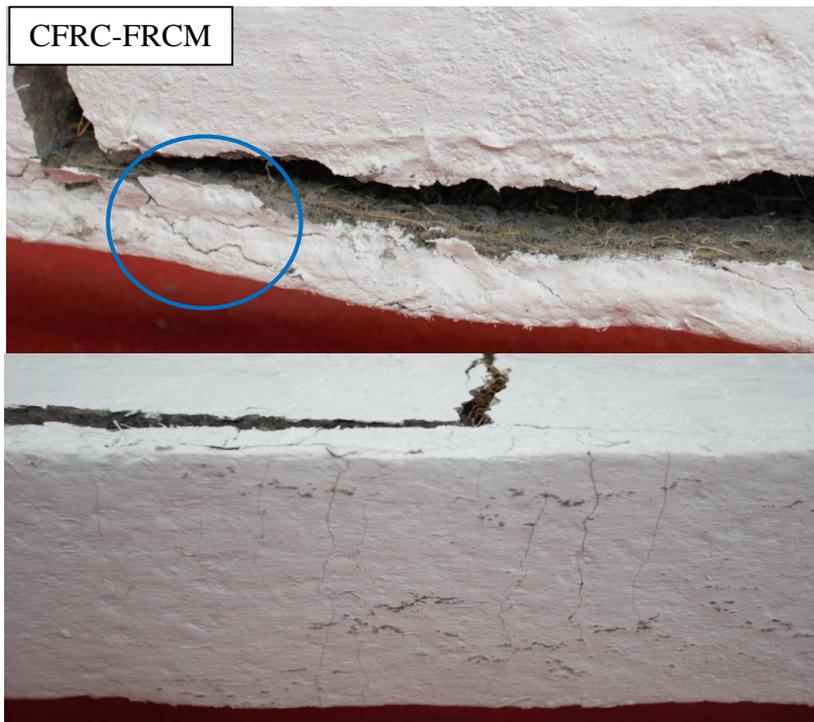


Figura 145. Falla a flexión del FRCM.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Otras de las fallas que se presentó en las vigas reforzadas externamente fue la falla por *debonding* (ver fig.146), la cual consiste en el desprendimiento del FRCM provocado por una sola grieta critica diagonal, que conduce no solo a la falla del concreto sino también a la pérdida de adherencia del FRCM.



Figura 146. Falla debonding.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Debido a la ductilidad que tienen las fibras de coco y cabuya la deformación de los elementos sometidos a flexión aumentaron considerablemente (ver fig.147). En cada una de las pruebas se conservó entero el FRCM a pesar del daño de las vigas.

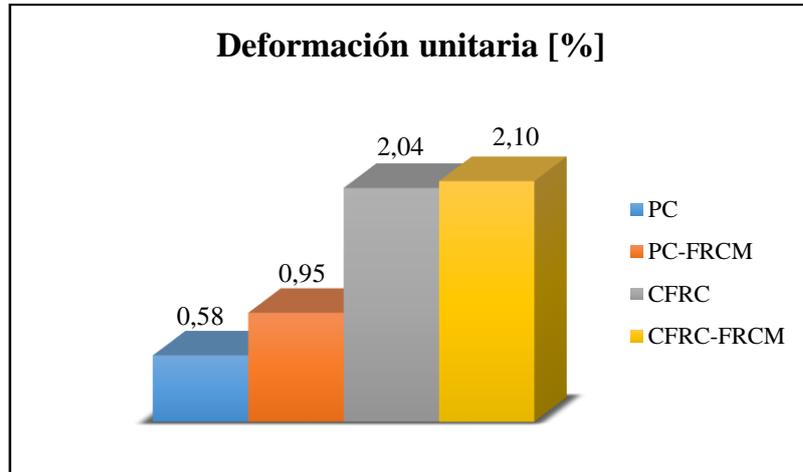


Figura 147. Deformación unitaria de los especímenes sometidos a flexión.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Las vigas reforzadas con FRCM presentaron un comportamiento diferente que las vigas de PC Y CFRC (ver fig.148), esto se debe a que una vez que falla la viga la carga se empieza a distribuir en el FRCM y comienza a aumentar, los tejidos de refuerzo desarrollan su resistencia máxima hasta que la muestra falle totalmente.

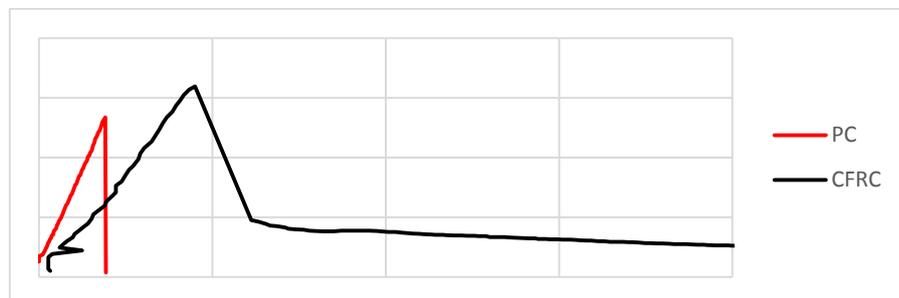




Figura 148. Comportamiento de los especímenes bajo cargas a flexión.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En esta tesis se estudió el comportamiento a flexión y compresión de elementos estructurales de concreto, reforzados externamente con un material compuesto de matriz cementicia reforzado (FRCM) con tejido de cabuya; además se investigó los efectos de añadir fibra de coco en la dosificación del concreto. Llegando a importantes conclusiones como son:

- El agregado fino utilizado para la elaboración de la matriz cementicia proviene de la mina de Penipe. El módulo de finura de dicho agregado es de 3.17 y su granulometría se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma INEN 696, lo que nos indica que el agregado es apropiado para ser utilizado en la mezcla.
- La dosificación óptima para fabricar la matriz cementicia es 1:2 con una relación de agua/cemento de 0.4, obteniendo una resistencia a los 28 días de 32.96 MPa.
- La utilización de las fibras naturales de cabuya para el reforzamiento del material compuesto mejora considerablemente la resistencia a flexión y tracción del mortero.
- Al usar los tejidos de cabuya, los cuales gozan de una gran capacidad de deformación, el comportamiento a flexión y tracción del FRCM evidencia una alta ductilidad.

- La densidad del FRCM-cabuya disminuye en un 33% en relación al mortero, es decir que es un material ligero, por lo que al ser utilizado como reforzamiento no incrementará considerablemente el peso de los elementos.
- La utilización de las fibras de cabuya como refuerzo en una matriz cementicia involucra efectos en su durabilidad, para evitar este problema se impregnó a las fibras con resina poliéster transparente la cual actúa como un agente repelente del agua y evita la penetración del agua alcalina en los poros de las fibras impidiendo que se descompongan.
- Debido a la alta alcalinidad que tiene el concreto y al estar formadas químicamente las fibras de coco por lignina y hemicelulosa, provocan que la fibra se deteriore al entrar en contacto con el agua alcalina. Para contrarrestar este problema se trató a las fibras con cal. La lignina reacciona con el calcio de la cal y provoca la hidrólisis ácida y forma sales insolubles que actúan como agentes bloqueadores. Además se incorporó en la dosificación humo de sílice el cual provoca el proceso de carbonatación de la matriz cementosa ayudando a disminuir el pH de la mezcla de 12.1 a 11.58.
- Para lograr una buena adherencia entre la matriz cementicia y los tejidos de cabuya se mezcló en la resina arena tamizada, con la finalidad de dar rugosidad a la fibra y cumplir con lo antes mencionado.
- La resistencia a compresión aumentó en muestras de concreto simple reforzados con FRCM-cabuya, mientras que la adición de las fibras de coco en la mezcla afectó al concreto y disminuyó la resistencia.

- La contribución del FRCM-cabuya y de las fibras de coco han mejorado el comportamiento a flexión de los elementos estructurales, aumentando la resistencia y la ductilidad. Las muestras con mayor capacidad de carga elaboradas para esta investigación fueron las vigas de CFRC-FRCM, elevando su resistencia en un 93% con respecto a las vigas de concreto simple.
- Los resultados obtenidos en las muestras de concreto, a las cuales se agregó el 3% de fibras de coco con longitudes de 5cm, concuerdan con investigaciones realizadas anteriormente y en bibliografía consultada, en donde se confirma que el uso de las fibras de coco mejora la tenacidad considerablemente, ya que la presencia de fibras forman un puente para las grietas internas en el concreto.
- Durante el ensayo a compresión se pudo apreciar que las muestras de concreto que contienen fibras de coco tiene la capacidad de mantener la integridad del concreto a pesar del agrietamiento producido después del ensayo, a diferencia de las muestras de concreto simple que luego de producirse la falla se desintegran totalmente e incluso explotan.
- En cada una de las muestras ensayadas a flexión se preservó entero el FRCM-cabuya aunque en las vigas se produjeron daños. El tipo de falla predominante en este ensayo fue la falla debonding, la cual provoca la pérdida de adherencia del FRCM-cabuya
- Las vigas reforzadas externamente con FRCM-cabuya presentaron un comportamiento a flexión diferente que las vigas de concreto simple y de concreto con fibra de coco. Al fallar la viga la carga comienza a subir una vez más, a causa de que los tejidos de cabuya utilizados como refuerzo desarrollan su resistencia máxima hasta que la muestra falle totalmente.

- Los módulos de elasticidad de las muestras de concreto no reforzadas y reforzadas, obtenidas en esta investigación son menores en comparación con los calculados al aplicar la ecuación planteada por la norma ACI-318, esto se debe que dicha ecuación fue creada para materiales usados en los Estados Unidos, los cuales poseen menor porosidad y mayor módulo de elasticidad de los que se utiliza en nuestro país.
- El FRCM-cabuya tiene ventajas económicas ya que no requiere de nuevas tecnologías para ser elaborado, sino que se fabrica de manera sencilla, simplificando su aplicación y uso.
- Al ser Ecuador un país productor de las fibras de coco y cabuya el costo de la adquisición de dichas fibras es bajo. Comparando los precios de la fabricación del FRCM-cabuya con uno de los sistemas de reforzamiento que se encuentran en el mercado, se puede apreciar que su costo disminuye sustancialmente.
- Con la aplicación de esta metodología se generará fuentes de trabajo y se contribuiría a la protección del ambiente, además ayudará a solucionar problemas de sostenibilidad en la industria de la construcción

5.2 RECOMENDACIONES

- La combinación óptima de empleo de fibras de coco y del FRCM-cabuya han permitido aumentar la resistencia de los elementos estructurales a flexión, por lo que se recomienda este tipo de compuesto en la construcción principalmente de vigas y losas de estructuras de concreto con niveles bajos de solicitaciones.

- Al tener problemas de adherencia entre el FRCM-cabuya y las vigas de concreto se recomienda realizar investigaciones que ayuden a solventar dicho problema.
- Se recomienda difundir a nivel nacional e internacional las propiedades que brinda este tipo de reforzamiento, pues es una solución competitiva y viable principalmente en aquellos países que se encuentran en vía de desarrollo y sobre todo que cuentan con la producción de las fibras de cabuya y de coco.
- La aplicación de este sistema de reforzamiento a base de fibras naturales ha probado que existe un efecto positivo económico, por lo que se recomienda utilizarla en construcciones de viviendas de bajo costo.
- Nuestro país dispone de una gran variedad de fibras naturales por lo que se recomienda que se realice investigaciones acerca del uso de estas fibras para el reforzamiento en el concreto, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas a un menor precio.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA

Utilización de las fibras naturales para reforzar elementos estructurales de concreto.

6.2 INTRODUCCIÓN

Una vez realizada la investigación se determinó que los elementos que presentan mejoras bajo cargas a compresión son los elementos de concreto simple reforzado con material compuesto FRCM-cabuya, mientras que para las cargas a flexión se obtuvo mejoras en los elementos de concreto con fibras de coco y reforzados con material compuesto FRCM-cabuya. Además de optimizar las propiedades mecánicas de los elementos de concreto, se contribuirá con la reducción de residuos y a la conservación del ambiente. Otra de las características del uso de las fibras naturales es su fácil adquisición debido a que existe gran disponibilidad en el mercado.

El material compuesto de matriz cementicia reforzado con tejidos (FRCM) a base de fibras naturales, desarrollado en esta investigación, presenta ciertas ventajas sobre los materiales compuestos de matriz polimérica reforzado con fibras (FRP). Al ser los tejidos de fibra de cabuya elaborados en forma bidireccional permiten que exista una mejor adherencia con la matriz, a diferencia de los tejidos de caucho o de vidrio que al ser fabricados en forma unidireccional no presentan las mismas ventajas que las del tejido de cabuya. Otra de las ventajas del FRCM es la

aplicación, ya que puede ser realizada con menos complicaciones que la de los
otros materiales compuestos.

La principal ventaja del FRCM es su costo ya que comparándolo con los que se ofrecen en el mercado resulta mucho más económico.

Al darle un nuevo uso a las fibras de coco y de cabuya para el sector de la construcción de nuestro país se incentiva la producción de este tipo de fibras generando fuentes de trabajo. Por todo lo mencionado anteriormente se propone el uso de las fibras naturales para el reforzamiento de elementos estructurales de concreto.

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Utilizar las fibras naturales para reforzar elementos de concreto.

6.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Especificar las características del material compuesto de matriz cementicia reforzado con tejidos de fibras de cabuya obtenidas mediante ensayos de laboratorio.
- Elaborar muestras de concreto reforzado con FRCM-cabuya y concreto reforzado con fibras de coco y FRCM-cabuya para determinar los beneficios del uso de las fibras naturales como reforzamiento.
- Establecer el costo de un metro cuadrado de material compuesto FRCM reforzado con fibras de cabuya para comparar el precio con un material compuesto que se encuentra en el mercado.
- Realizar un análisis económico de un metro cúbico de concreto reforzado con fibras de coco para relacionar el valor con el concreto convencional.

6.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA

6.4.1 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son aquellos que están formados por dos o más materiales sin provocar reacción química entre ellos. La creación de estos materiales nace de la necesidad de obtener materiales con una combinación de propiedades que difícilmente se encuentren en los cerámicos, los plásticos o los metales. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

En todos los materiales compuestos se pueden distinguir dos componentes principales: la matriz y el refuerzo.

La matriz es el componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante y en la que el refuerzo queda embebido. Su principal función es la de transmitir las cargas al refuerzo.

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

- Bajo cargas de compresión: es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.
- En tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo.

El refuerzo es la fase discontinua, es el elemento resistente que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee, es decir el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas. En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso.

Además de las características de las fibras y de la matriz, las propiedades de los materiales compuestos dependerán de cómo sea la interfase (la región de contacto) entre estos dos componentes. Si la interfase es débil, la transferencia de carga de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza.

6.4.2 MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ CEMENTICIA REFORZADO CON TEJIDOS (FRCM)

Estos materiales están formados por una matriz de cemento y un refuerzo de fibras. Se pueden definir como como un aglomerante inorgánico hidráulico y no hidráulico de cemento (mortero) que contiene como refuerzo estructural mallas o tejidos. . El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

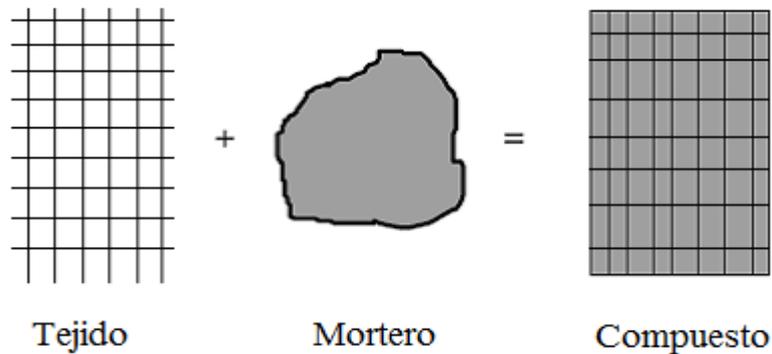


Figura 149. Componentes de un material compuesto reforzado con fibras.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Las fibras utilizadas en este tipo de material compuesto presentan morfologías variadas, como se observa en la figura 150. Fibras continuas unidireccionales,

6.4.3 FIBRA DE CABUYA

La cabuya es una planta sumamente rústica, que se ha explotado en Ecuador desde tiempos inmemoriales. Es una de las fibras vegetales más representativas de la América Tropical que ofrece infinidad de utilidades, esta planta produce fibras largas, duras por lo que poseen atributos importantes. La cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono; además, no contamina el agua y permite una producción limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como económicas.

La gran resistencia de la fibra de cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas (Checa & Jurado, 2001):

- Densidad : 1,3 g/cm³
- Resistencia a la Tracción : 305,15 MPa
- Módulo de Elasticidad : 7,5 GPa
- Elongación a la fractura : 4,96 %

Las fibras de cabuya tienen la siguiente composición química (Checa & Jurado, 2001):

- Celulosa (% peso) : 62,7
- Lignina (% peso) : 15,5
- Pentosas (% peso) : 17,7

6.4.3.1 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA

1. Cortar las pencas u hojas de la planta: La labor es llevada a cabo por personas especialistas, se requiere esfuerzo físico y experiencia en el tema.

2. Extracción de la materia prima: Para esto se usa una Máquina desfibradora, que cumple con el propósito de raspar las hojas o pencas, eliminando

completamente el bagazo y otros residuos, quedando como resultado una fibra limpia.

3. Lavado y secado: Luego del proceso anterior, la fibra se lava con abundante agua limpia hasta darle un tono color blanco, luego se pone a secar.

4. Escarmenado o Peinado: Es el proceso por el cual se pasa la fibra de fique por una máquina escarmenadora, que consta de puntas agudas, y permite que la fibra sea peinada y completamente desenredada.

6. Hilado. Con la ayuda de una máquina hiladora un operario se encarga de la función de unir con las yemas de los dedos de modo continuo y uniforme, hasta obtener el hilo deseado.

6.4.3.2 PRESENTACIÓN DE LOS TEJIDOS DE FIBRA DE CABUYA

Existe una gama de tejidos, siendo el tejido *plano o tefetán* el más utilizado para la elaboración del tejido de cabuya. Este tejido está formado por filamentos intercalados en donde las fibras de la trama pasan de manera regular y uniforme por encima y debajo de la urdimbre. Así el primer hilo correspondiente a la trama pasar por encima del primer hilo de la urdimbre, debajo del segundo, encima del tercero y así sucesivamente. En la próxima columna los hilos de trama pasaran debajo del primero de urdimbre, encima del segundo, debajo del tercero y así sucesivamente. Después se continúa con estas repeticiones de la primera secuencia en la tercera columna y por ende en todas las columnas impares. Estos tejidos tienen un mayor número de entrelazamientos por unidad de área (Tamayo, 2012).

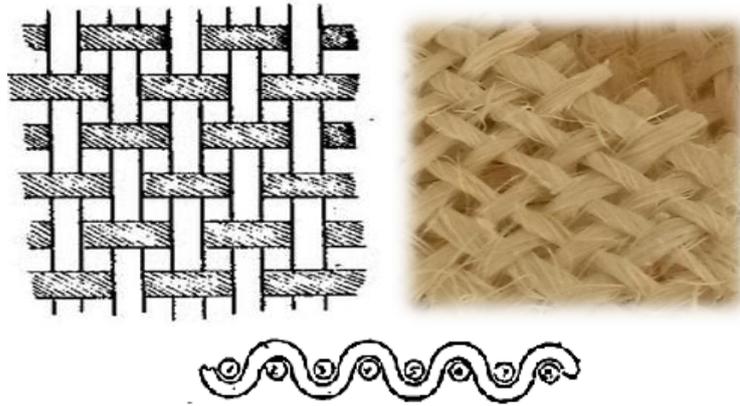


Figura 151. Presentación de los tejidos de fibras de cabuya.

Fuente: (Ideas-News, 2014)

6.4.4 DISEÑO DEL MATERIAL COMPUESTO

Para diseñar un material compuesto reforzado con fibras naturales se deben tomar en cuenta muchos factores como: longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de las fibras; propiedades de la matriz y la unión entre fibras y matriz.

6.4.4.1 LONGITUD Y DIÁMTERO DE LAS FIBRAS

Fabricar las fibras con un diámetro pequeño, le da a la fibra menos área superficial; en consecuencia, hay menos defectos que puedan propagarse durante el proceso o bajo carga. También se prefieren fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto; por tanto, a menos extremos, mayor capacidad de las fibras para soportar carga.

6.4.4.2 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con orientaciones diversas. Una de las características únicas de los compuestos reforzados con fibra es que sus propiedades se pueden diseñar para soportar condiciones de carga diferentes. En la matriz se pueden introducir fibras largas y continuas en varias direcciones,

mediante arreglos ortogonales (capas de $0^\circ/90^\circ$) en donde se obtienen buenas resistencias en dos direcciones perpendiculares. Disposiciones más complejas (como capas de $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$) proporcionan refuerzo en varias direcciones.

6.4.4.3 CANTIDAD DE LAS FIBRAS

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto, por ser el que posee mayores propiedades mecánicas intrínsecas. Sin embargo, la fracción máxima de volumen de fibras es, aproximadamente 80%; más allá de esta cantidad, las fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz y la transferencia de carga deja de ser eficiente.

6.4.5 PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO

Dado que los materiales compuestos combinan dos materiales, las propiedades del material resultante combinarán de alguna manera las propiedades de cada uno de estos dos componentes.

La mayoría de los materiales compuestos poseen una alta resistencia mecánica al mismo tiempo que una baja densidad, lo cual permite realizar estructuras y dispositivos resistentes y a la vez livianos.

Los cerámicos aventajan a los compuestos en mayor resistencia, mientras que los polímeros poseen en general la menor densidad, pero al evaluar ambas propiedades juntas, los materiales compuestos son la opción más conveniente. Esto se debe a que al utilizar una matriz cementicia logramos una baja densidad; mientras que las fibras aportan la resistencia mecánica, pero como son la fase minoritaria no agregan demasiado peso al material.

Los materiales compuestos con matriz cementicia son más resistentes e inertes a la corrosión. Entonces, si logramos un material compuesto con la resistencia

mecánica y tenacidad adecuadas, se poseerá la capacidad de resistir mejor las condiciones de servicio.

6.4.6 UTILIZACIÓN DE FIBRAS NATURALES EN MATERIALES COMPUESTOS

El creciente sentido ambientalista en todo el mundo ha exigido el diseño de materiales que cumplan con su función y que además sean amigables con el medio ambiente. Por ésta razón el uso de fibras naturales, en especial las vegetales como refuerzo de materiales compuestos se ha incrementado en los últimos años.

El interés que se tiene en el uso de las fibras naturales viene dado también por las ventajas que tienen en comparación con las fibras tradicionales. Haciendo una comparación de las ventajas de las fibras naturales con las fibras de vidrio que son utilizadas en la elaboración de materiales compuestos podemos mencionar que:

- Las fibras naturales tienen un abaja densidad mientras que las fibras de vidrio duplican esta densidad.
- El costo de las fibras naturales es menor que el de las fibras de vidrio.
- Las fibras naturales son productos renovables, las fibras de vidrio no.
- El consumo de energía de las fibras naturales es relativamente bajo a comparación que el de las fibras de vidrio que es muy alto.
- Las fibras naturales son reciclables a diferencia de las fibras de vidrio que no lo son
- Las fibras naturales son biodegradable por lo que son fácil de eliminar mientras que las fibras de vidrio son no biodegradables lo que provoca la contaminación del medio ambiente.

Cabe recalcar que las propiedades mecánicas de las fibras naturales son inferiores a las que presenta una fibra de vidrio o fibras sintéticas, pero las propiedades

específicas son muy competitivas. Se puede mencionar que las fibras naturales son un 50% más livianas que las de vidrio y menos costosas.

6.4.7 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO REFORZADO CON MATERIAL COMPUESTO FRCM

6.4.7.1 COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN

Los principales parámetros que definen las características de los elementos de concreto reforzados con material compuesto no son sólo la resistencia a la tracción, que generalmente es mucho mayor a las tensiones de tracción a las que se somete el refuerzo de FRCM, sino también el módulo de elasticidad. Cuanto mayor sea el módulo de elasticidad de las fibras, mayor será la contribución de rigidez del concreto sometido a cargas de compresión.

6.4.7.2 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN

La influencia del material compuesto FRCM en elementos de concreto es positivo, ya que resiste cargas altas a flexión. Es necesario comprender que en un elemento flexado se encuentran muy bien definidas las zonas que están traccionadas y las que están comprimidas, por tanto son válidos los gráficos de $\sigma - \epsilon$ para el comportamiento del elemento reforzado flexión.

6.4.8 APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Los materiales compuestos FRCM se han utilizado para reparar el techo con aberturas para conductos de alta temperatura. Estos conductos funcionaron a temperaturas consideradas demasiado alto para los sistemas de reparación de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras (FRP) convencionales.

Otra aplicación que debe destacarse es el fortalecimiento de un puente de ferrocarril a lo largo de la línea ferroviaria Roma-Formia en Italia. Después de una caracterización completa de los constituyentes del sistema y un análisis y diseño detallado, utilizando un análisis de estado límite, se realiza entonces la aplicación de refuerzo en esta estructura. La superficie de concreto fue limpiada y reconstruida en lugares que mostraron signos de deterioro. A continuación, se aplica una primera capa de la matriz, seguido de la primera fase de la armadura. En este proyecto de fortalecimiento del puente, se ha previsto el uso de un sistema de FRCM de dos capas.

Un sistema de material compuesto con matriz cementicia y usando tejidos naturales fue desarrollado como parte de un amplio proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad de Calabria. En la actualidad, los proyectos de investigación, como el proyecto NATEX se han centrado en el desarrollo de los textiles adecuados para aplicaciones estructurales. Posibles campos de aplicación para estos textiles incluyen el sector del transporte, por ejemplo, ferrocarril y carretera, y la reparación y refuerzo de estructuras de mampostería. Parece poco probable que los compuestos de fibra natural, alguna vez puedan competir con los materiales compuestos reforzados con fibras de tela avanzada.

6.4.9 CONCRETO

Se puede definir al concreto como una piedra artificial formada al mezclar cuatro materiales principales como son: grava, arena, cemento y agua. Las propiedades del concreto dependen en su gran mayoría de las proporciones y calidad de los materiales en la mezcla. La principal característica estructural del concreto es su gran resistencia a los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos como: tracción, flexión, cortante, etc.; por este motivo es habitual combinarlo con acero, recibiendo el nombre de concreto armado; comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones.

6.4.10 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

6.4.10.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Entre las principales propiedades del concreto fresco tenemos: la consistencia, la docilidad, la homogeneidad.

Consistencia

Habilidad que tiene el concreto fresco para deformarse. La consistencia varía por diversos factores: cantidad de agua, tamaño máximo, forma de los áridos, etc.; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Trabajabilidad

Capacidad de un concreto para ser manipulado, amasado o puesto en obra con medios de compactación con el que se dispone. Está relacionada con su consistencia, homogeneidad, y la habilidad que el concreto presente para eliminar el aire ocluido.

Homogeneidad

Cualidad en la cual los diferentes componentes del concreto aparecen distribuidos en toda la masa. La homogeneidad se obtiene con un buen amasado y, para mantenerse, se necesita de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

Masa Específica o Densidad

Cantidad de peso por unidad de volumen (densidad = peso/volumen). Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra. Debemos recordar que

mientras mayor sea la densidad de los agregados utilizados y mejor compactada esté la mezcla, será mayor la densidad del hormigón.

6.4.10.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa.

La resistencia a la compresión de concretos normales y de mediana resistencia está dominada por la relación agua/cemento (a menor relación agua/cemento mayor resistencia) y por el nivel de compactación (a mayor compactación mayor resistencia), pero también son factores importantes la cantidad de cemento (a mayor cantidad de cemento mayor resistencia) y la granulometría de los agregados (mejores granulometrías dan lugar a mayores resistencias).

Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación}$ es una medida de la rigidez, es decir la resistencia del hormigón a la deformación.

Ductilidad

Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga, una medida cuantitativa de esa ductilidad sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

Resistencia a la Tracción

El concreto es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción, esta resistencia representa hasta un 10% de su capacidad a la compresión. Es por ello que en el concreto armado los esfuerzos de tracción son absorbidos por el acero de refuerzo.

6.4.11 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

El concreto reforzado con fibras (FRC) está formado por una matriz formada por cemento, agregados (fino y grueso), agua y fibras adecuadas, además se puede incorporar aditivos.

La matriz de concreto mantiene al material unido dando resistencia a compresión y rigidez, distribuyendo los esfuerzos y protegiendo las fibras. Las fibras, por su parte, soportan los esfuerzos de tracción que resisten por adherencia al hormigón, controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma, a la vez que mejoran la tenacidad.

La adición de estas fibras no condiciona la naturaleza de los componentes del concreto por lo que éstos deben ser los adecuados para que el concreto alcance y mantenga las características requeridas.

6.4.12 FIBRA DE ESTOPA DE COCO

El coco en su exterior se conforma por la estopa o mesocarpio. El valor de esta parte estriba en su contenido de fibra, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa, como agregado en la industria del concreto.

La composición química promedio de la estopa de coco es:

• Lignina	42,5%
• Celulosa	32,3%
• Pentosa	14,7%
• Grasas saponificables	5,1%
• Grasa insaponificables	0,7%
• Cenizas	3,5%

La fibra de coco presenta diversas propiedades para su utilización entre las cuales se puede mencionar:

- La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras, tales como el "cabuya", el "hanequen" y "abacá".
- Es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño, lo que confiere elevados índices de rigidez y dureza.
- La baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua, son algunas de sus características.
- Su capacidad de retención del agua varía entre el 20% y 50%.
- La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento (térmico y acústico).
- Alta porosidad. Hasta el 95% que le confiere una excelente distribución del aire y agua. El paso del aire sigue siendo superior al 20% aún saturado de agua favoreciendo la salud de las raíces.
- Material Orgánico 100%. Además es gracias a su contenido en lignina (mayor a 45%) muy estable asegurando unas buenas características físicas durante un largo periodo (tiene una alta rentabilidad frente a otros sustratos orgánicos).

6.4.12.1 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE COCO

El procedimiento de extracción de la fibra de coco se inicia con la obtención de la cáscara (cubierta externa del coco), este paso se realiza manualmente, utilizando

una estaca de madera o hierro afilado, fijada en la tierra a 90 cm aproximadamente. El coco se clava en la punta de la misma, para perforar la cáscara y el extremo redondo del coco, moviéndose para ir removiendo la cáscara por partes.

Una vez obtenidas las cascaras del coco, se procede a secarla al sol, una vez hecho este proceso, la cascara de coco, coge un color parecido al de la cabuya, cuando se observe que la cascara tiene ese color está listo para convertirlo en fibra.

Luego se procede a colocar la cascara seca, en la maquina desfibradora, esta máquina saca toda la fibra de la cascara, se calcula que en doce cascaras de coco, podemos obtener un kilogramo de fibra de coco. La máquina desfibradora posee un rodillo con puntas, donde procesa la cascara al producto deseado, la capacidad de producción es de una tonelada por hora.

6.4.13 UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE COCO EN LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

El desempeño del concreto reforzado con fibras es controlado principalmente por la dosis, por la longitud de la fibra, por las propiedades físicas de la fibra y de la matriz y por la adherencia entre las dos fases. Además se añade el efecto de orientación de una fibra en la matriz.

Los principales parámetros relacionados al desempeño de los hormigones reforzados con fibras son:

Dosis de la fibra

Una alta dosis de fibras otorga una mayor resistencia post-fisuración y menor dimensión de fisuras, desde que las fibras puedan absorber las cargas adicionales ocasionadas por la fisura.

Módulo de elasticidad de la fibra

Un alto valor de módulo de elasticidad causaría un efecto similar a la dosis de fibra, pero, en la práctica, cuanto mayor sea el módulo, mayor será la probabilidad de que haya un arrancamiento de las fibras.

Adherencia entre la fibra y la matriz

Las características de resistencia, deformación y patrones de rotura de una gran variedad de compuestos cimentados reforzados con fibras dependen fundamentalmente de la adherencia fibra-matriz. Una alta adherencia entre la fibra y la matriz reduce el tamaño de las fisuras y amplía su distribución por el compuesto.

Resistencia de la fibra

Aumentando la resistencia de las fibras, aumenta también la ductilidad del compuesto, desde que no ocurra la rotura en las ligaciones de adherencia. La resistencia de la fibra dependerá, en la práctica, de las características post-fisuración deseadas, así como la dosis de fibra y de las propiedades de adherencia fibra-matriz.

Deformidad de la fibra

La ductilidad se puede aumentar con la utilización de fibras que presenten alta deformación a la rotura. Esto se debe al hecho de que compuestos con fibras de alto grado de deformidad consuman energía bajo la forma de estiramiento de la fibra.

Compatibilidad entre la fibra y la matriz

La compatibilidad química y física entre las fibras y la matriz es muy importante. A corto plazo, las fibras que absorben agua pueden ocasionar una excesiva pérdida de trabajabilidad del hormigón. Además, las fibras que absorben agua sufren una variación de volumen y, la adherencia fibra-matriz queda comprometida.

Longitud de la fibra

Cuanto menor sea la longitud de la fibra, mayor será la probabilidad de que sean arrancadas. Para una tensión dada de corte superficial aplicada a la fibra, ésta será mejor utilizada si su comportamiento es lo suficientemente capaz de permitir que la tensión cortante desarrolle una tensión de tracción igual a su resistencia a tracción.

6.4.14 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA

La orientación de las fibras, su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades del concreto reforzado con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas: (1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y (2) alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar o alinearse parcialmente.

6.4.15 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA

La mínima longitud se la puede definir como la longitud que debe tener una fibra para que su carga sea igual al de la carga de rotura por tracción.

Las características mecánicas del concreto reforzado con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se

transmite a la fibra por medio de la interfaz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

6.4.16 DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA

La aplicación de fibras naturales como refuerzo de materiales de matriz cementicia implica efectos potencialmente nocivos sobre ciertos tipos de fibras. La mayoría de las fibras vegetales se forman a partir de lignina, celulosa y hemicelulosa, que tienen reacciones adversas interfaciales cuando está en contacto con matrices cementosas. En particular, las reacciones entre una matriz de cemento portland ordinario y la degradación de la lignina causa la fuerza compuesta. Esta degradación se produce porque el agua de los poros alcalina disuelve la lignina y la hemicelulosa existente en las láminas de medio de las fibras, lo que debilita el enlace entre las células de fibra individuales.

Un mecanismo adicional es la hidrólisis alcalina de las moléculas de celulosa, lo que provoca la degradación de las cadenas moleculares, por lo tanto, conduce a una reducción en el grado de polimerización y menor resistencia a la tracción. Otro aspecto a considerar en materiales compuestos cementicios reforzados con fibras naturales es la carbonatación, que induce a la mineralización y los cambios microestructurales y modifica la interfaz de ser abierta y porosa, densa y homogénea contribuyendo al aumento de grietas y la reducción en la tenacidad, mediante la reducción de la capacidad de deformación de las fibras.

Los problemas de durabilidad de las fibras naturales se incrementan cuando la humedad está presente. Las fibras naturales son muy sensibles a los cambios en el

contenido de humedad, que afectan tanto a las propiedades mecánicas de la fibra y sus dimensiones en términos del área de sección transversal. Cuando la fibra natural absorbe la humedad, pierde rigidez y ductilidad.

6.4.17 MÉTODOS PARA CONTRARRESTAR EL DEBILITAMIENTO DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA

6.4.17.1 IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS CON AGENTES BLOQUEADORES

Este método consiste en impregnar la fibra con agentes o sustancias bloqueadoras que pueden reaccionar con ciertos componentes de la fibra y dar como resultado otras sustancias los cuales son difíciles de disolver en un ambiente alcalino.

Existen diferentes agentes bloqueadores, entre los cuales están: Silicato de Sodio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), Sulfito de Sódio ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Sulfato de Magnésio (MgSO_4), entre otros.

6.4.17.2 IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS CON AGENTES REPELENTES AL AGUA

El objetivo de este tratamiento es el de impregnar la fibras con agentes repelentes al agua para evitar la penetración del agua alcalina en los poros y entonces impedir que las fibras se descomponga químicamente. Los tratamientos se pueden realizar con resinas epóxicas y de poliésteres, productos bituminosos, barnices, asfaltos y otros.

6.4.17.3 IMPREGNACIÓN DE LAS FIBRAS CON AGENTES BLOQUEADORES Y REPELENTES AL AGUA

Es una combinación de las dos anteriores, las fibras primero son impregnadas con agentes bloqueadores, y luego son impregnados con agentes repelentes al agua.

6.4.17.4 ACCIONES RELACIONADAS CON LA MATRIZ CEMENTICIA

Sellado de la matriz

Consiste en reducir o eliminar completamente el sistema de poros de la matriz. De esta forma se busca que no exista el transporte de poros de agua alcalina hacia la fibra.

Un método utilizado es adicionar pequeñas cantidades de cera al conformar la matriz. También se ha ensayado el sellar el sistema de poros al adicionar al hormigón esterato de zinc.

Efectos de reducción de la alcalinidad

El valor del PH en los poros de agua del hormigón normalmente excede de 13. Una forma de disminuir la degradación está asociada con tratar de bajar dicho potencial de hidrogeno a valores por debajo de 12 – 12.5.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Al desarrollar esta propuesta se pretende contribuir con información acerca de la utilización de fibras de cabuya como sistema de refuerzo para el concreto. Por lo que se detallará las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de cabuya y coco, así como las propiedades del material compuesto FRCM.

Para determinar los beneficios del uso de las fibras naturales se analizó el comportamiento a compresión del concreto reforzado con FRCM-cabuya y a flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM-cabuya.

6.5.1 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS NATURALES

6.5.1.1 FIBRA DE CABUYA

La fibra de cabuya utilizada para la elaboración del material compuesto se obtuvo de costales elaborados con tejido bidireccional o conocido también como tejido tafetán, comercializados en el Mercado Dávalos de la ciudad de Riobamba. En la siguiente tabla se presentan las características del hilo de cabuya.

Tabla 102. Propiedades del hilo de cabuya.

	Media	Desv. Est.	Co. Var. [%]
Diámetro de la fibra [μm]	179,72	-	-
Densidad [g/cm^3]	1,50	0,06	4,21
Densidad Lineal [Tex]	721,67	72,75	10,08
Área [mm^2]	0,48	0,05	10,08
Módulo de Young [MPa]	7440,52	1130,63	15,20
Tenacidad [N/Tex]	0,22	0,02	7,42
Espesor Equivalente [mm]	0,12	0,01	10,08
Deformación a la Rotura [%]	4,82	0,36	7,43
Resistencia a la Tracción [MPa]	322,74	23,96	7,42
Absorción [%]	44,45	6,04	13,59

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.1.2 FIBRA DE COCO

Las fibras de coco que se empleó en la dosificación fueron proporcionadas por una empresa procesadora de coco, ubicada en el cantón San Lorenzo de la ciudad de Esmeraldas, las cuales presentan las siguientes propiedades:

Tabla 103. Propiedades de la fibra de coco.

	Media	Desv. Est.	Co. Var [%]
Diámetro de la fibra [μm]	297,35	-	-
Densidad [g/cm^3]	1,28	0,07	5,09
Densidad Lineal [Tex]	44,59	12,63	28,33
Área [mm^2]	0,04	0,01	28,33
Módulo de Young [MPa]	7939,04	1161,04	14,62
Tenacidad [N/Tex]	0,66	0,11	16,66
Deformación a la Rotura [%]	15,72	8,35	53,09
Resistencia a la Tracción [MPa]	849,38	141,49	16,66
Absorción [%]	94,77	2,39	2,52

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.2 MATERIAL COMPUESTO DE FRCM-CABUYA

El material compuesto utilizado para el reforzamiento de los elementos estructurales está formado por una matriz cementicia con dosificación 1:2, a/c 0.4, y por 3 capas de tejidos de fibra de cabuya. Las propiedades de cada uno de ellos se detallan a continuación.

6.5.2.1 PROPIEDADES DE LA MATRIZ CEMENTICIA

Tabla 104. Propiedades de la matriz cementicia.

	Media	Desv. Est.	Co. Var. [%]
Resistencia a la Compresión [MPa]	32,96	2,94	8,91
Módulo de Elasticidad [MPa]	5907,06	765,67	12,96
Resistencia a la Flexión [MPa]	7,36	0,46	6,25

Módulo de Young a flexión [MPa]	784,59	204,82	26,11
Densidad [g/cm ³]	2,04	0,02	0,84
Fluidez [%]	123,88	0,83	0,67
Deflexión [mm]	0,31	0,04	14,21
Contenido de aire [%]	3,2	0,25	7,86
Tiempo de fraguado	1h:16min		

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.2.2 PROPIEDADES DEL TEJIDO DE CABUYA

Tabla 105. Propiedades del tejido de cabuya impregnado con resina.

	Media	Desv. Est.	Co. Var. [%]
Diámetro del hilo [μm]	1456,72	-	-
Tenacidad del hilo [N/Tex]	0,15	0,02	12,44
Masa por unidad de área [gr/m ²]	410,7	11,38	2,77
Área del tejido dirección principal [mm ²]	6,85	0,19	2,77
Nº de hilos [Nº/cm]	2,4	-	-
Módulo de Young [MPa]	5819,38	1186,81	20,39
Deformación a la Rotura [%]	5,3	0,93	17,54
Resistencia a la Tracción [MPa]	260,99	21,08	8,08

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.2.3 PROPIEDADES DEL FRCM

Tabla 106. Propiedades del material compuesto de FRCM-cabuya.

	Media	Desv. Est.	Co. Var. [%]
Absorción [%]	16,59	1,4	8,45
Absorción por capilaridad - 24hrs [g/100cm ²]	30,74	3,05	9,91
Densidad [g/cm ³]	1,36	0,11	8,4
Módulo de Rotura [MPa]	14,55	0,35	2,39
Módulo de Young a flexión [Mpa]	43,53	11,41	26,21
Deflexión [mm]	0,88	0,42	47,24

Resistencia a Tracción [MPa]	10,17	0,93	9,11
Módulo de Young a tracción [Mpa]			
- Etapa 1	907,17	196,24	21,63
- Etapa 2	183,18	31,64	17,27
- Etapa 3	136,57	17,702	12,96

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.3 FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Se elaboraron 5 cilindros de concreto simple reforzados con FRCM-cabuya, y 5 vigas de concreto con fibras de coco reforzadas con material compuesto de FRCM-cabuya. El proceso de elaboración es el mismo que se detalla en el capítulo II de metodología. La dosificación de la mezcla se la realizó mediante el método de densidad óptima para una resistencia de 24 MPa, a la cual se le añadió 3% de fibra de coco y micro sílice para proteger a las fibras del deterioro. Para producir los cilindros se utilizó cilindros metálicos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, para las vigas se empleó moldes de madera de 8 cm de base, 8 cm de altura y 50 cm de largo.

Cemento	Agregado fino	Micro sílice	Agregado grueso	a/c
1	1,5	0,15	2,6	0,5

Las muestras se curaron por 7 días, luego se colocó el material compuesto para el cual se utilizó tejidos de cabuya recubiertos con resina de 1.70 x 25.5 cm para los cilindros y de 8 x 45 cm para las vigas. Se colocó mortero entre cada capa y humedeciendo la muestra se procedió a colocar el material compuesto dando ligeros golpes con el mazo de goma para eliminar el aire que pueda estar atrapado. Las muestras se dejaron almacenadas en un lugar cubierto.



Figura 152. Reforzamiento de los cilindros de concreto simple.

Fuente: Andrea Estrella Ch.



Figura 153. Reforzamiento de las vigas de concreto con fibra de coco.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

6.5.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se realizó el ensayo a compresión en muestras de concreto y concreto reforzado con FRCM-cabuya, además se determinó el Módulo de elasticidad y la Relación de Poisson de acuerdo a la norma ASTM-C-469. Obteniendo como resultado:

Tabla 107. Resultados del ensayo a compresión del concreto simple.

Carga Máxima [N]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Módulo de Elasticidad [MPa]	Relación de Poisson
438460	24,19	13167,46	0,22

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 108. Resultados del ensayo a compresión del concreto reforzado con FRCM-cabuya.

Carga Máxima [N]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Módulo de Elasticidad [MPa]	Relación de Poisson
459424,80	25,63	14107,63	0,19

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.



Figura 154. Comportamiento a compresión del concreto con y sin refuerzo.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Comparando los resultados de las tablas 107 y 108 se muestra que el concreto reforzado con FRCM-cabuya aumenta la resistencia en un 6%, también se aprecia el mejoramiento del módulo de Young en un 7%. Al tener las fibras de cabuya una gran ductilidad permiten que las muestras de cilindro reforzadas tengan una mayor deformación.

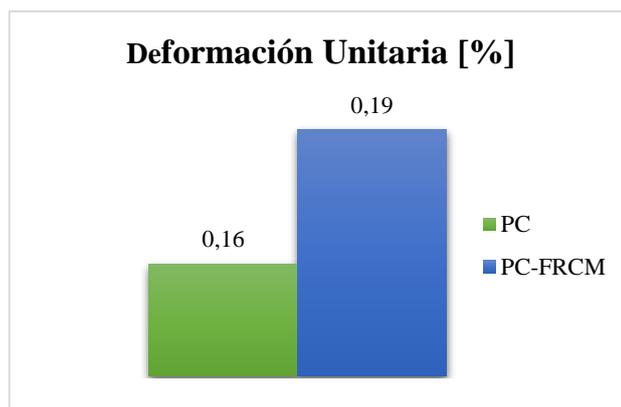


Figura 155. Comparación del resultado de la deformación unitaria a compresión.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.5 RESISTSTENCIA A LA FLEXIÓN

Para el ensayo de resistencia a flexión se utilizó la metodología indicada en el capítulo II. Las siguientes tablas presentan los resultados del ensayo realizado a vigas de concreto simple y vigas de concreto con fibras de coco reforzadas con material compuesto.

Tabla 109. Resultados del ensayo a flexión del concreto simple.

Carga Máxima [N]	Módulo de Rotura [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	Energía de Fractura [J/m ²]
2660,60	3,34	572,89	0,47	117,68

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 110. Resultados del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de coco y FRCM-cabuya.

Carga Máxima [N]	Módulo de Rotura [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Deflexión [mm]	Energía de Fractura [J/m ²]
5171,16	6,53	467,73	1,66	9791,08

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

El concreto con fibras de coco y reforzado con FRCM-cabuya muestra una mayor capacidad de carga a flexión, incrementada en el 93% con respecto a las vigas de concreto simple. La deflexión obtenida en las vigas con reforzamiento aumentó considerablemente al igual que la tenacidad, la tenacidad nos indica la cantidad de energía que el elemento absorbe antes de fallar, es decir que nos indica la capacidad que tiene el elemento para soportar una carga sin fracturarse. Durante el ensayo se observó que las vigas de concreto simple se dividieron en dos, mientras que en las vigas de concreto con fibras de coco se mantuvieron unidas. Una de las cualidades que presentó el material compuesto es que a pesar de que las vigas fallaron se conservó entero.



Figura 156. Comportamiento a flexión de las vigas de concreto con y sin refuerzo.

Fuente: Andrea Estrella Ch.

Las vigas de concreto con fibras de coco y reforzadas con material compuesto presentaron un comportamiento diferente que el de las vigas de concreto simple. En la curva carga vs deflexión se observa dos etapas bien diferenciadas, la

primera etapa representa el comportamiento de la viga y termina cuando se forma la grieta; en la segunda etapa el material compuesto de FRCM-cabuya es el que gobierna el comportamiento, la carga sube una vez más y la aportación de la viga es muy poca. Todo este comportamiento es gracias a la alta ductilidad que tienen los tejidos de fibra de cabuya.

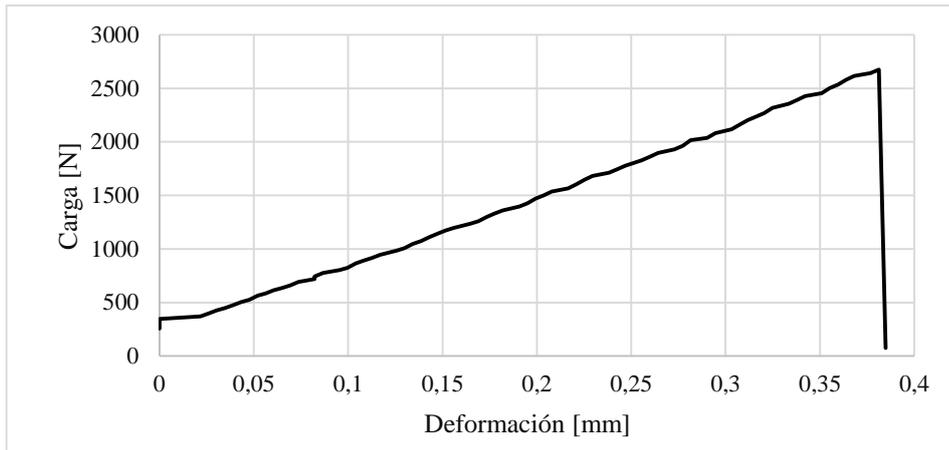


Figura 157. Comportamiento a flexión del concreto simple.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

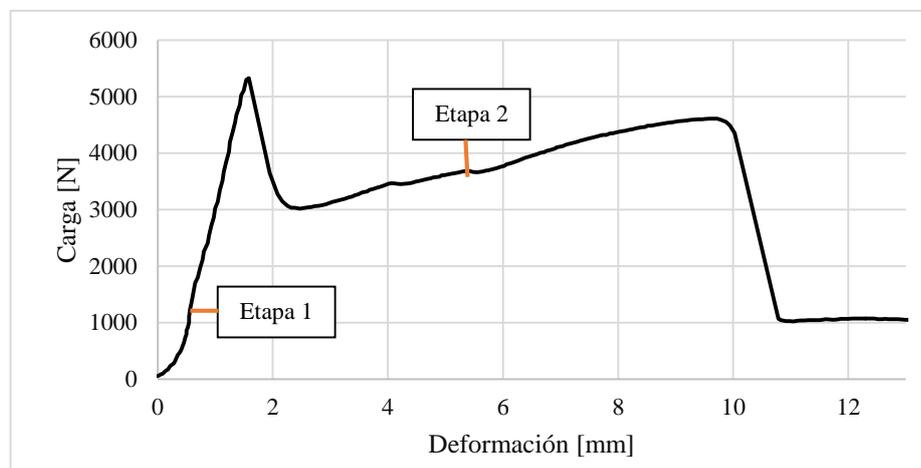


Figura 158. Comportamiento a flexión del concreto con fibras de coco reforzado.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

6.5.6 ANÁLISIS DE COSTO

6.5.6.1 MATERIAL COMPUESTO

En el mercado existe una gran variedad de materiales compuestos de matriz polimérica reforzado (FRP) con tejido de fibras de carbono. A continuación se presentan el análisis de precios unitario para reforzar un m² de un elemento de concreto con material compuesto de FRCM y FRP, utilizando tres capas de tejido.

Tabla 111. Análisis de precios unitario de FRP por m².

RESINA				
Materiales	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C = Ax B
Epóxico Sikadur 300	kg	3	3,71	11,12
SUBTOTAL (C)				11,12
TEJIDO				
Materiales	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo D = Ax B
Tejido de fibra de carbono	m ²	3	88,33	264,98
SUBTOTAL (D)				264,98
COSTO TOTAL (C+D)				276,10

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 112. Análisis de precios unitario de FRCM por m².

MORTERO				
Materiales	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C = Ax B
Cemento Chimborazo	kg	6,8	0,15	1,02
Agregado fino (arena)	kg	13,6	0,04	0,54
Plastificante	kg	0,068	1,75	0,12
Agua	kg	2,72	0,50	1,36
SUBTOTAL (C)				3,04
TEJIDO				
Materiales	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo D = Ax B
Tejido de fibra de cabuya	m ²	3	3,27	9,81
Resina Transparente	kg	0,2	3,20	0,64
Mecx peróxido	cm ³	0,3	0,013	0,004
SUBTOTAL (D)				10,45
TOTAL (C+D)				13,49

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Al reforzar un elemento estructural con material compuesto FRCM reforzado con tejidos de cabuya resulta muy económico, el material compuesto FRP reforzado con tejidos de carbono supera el precio en \$ 262.61 dólares americanos por metro cuadrado, esto se debe a que los tejidos de cabuya no requieren de procesos tecnológicos avanzados para su fabricación, a diferencia de los tejidos de fibra de carbono que para su elaboración se utiliza equipos de alta tecnología y de procesos complejos, aumentado así su costo de venta.

6.5.6.2 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO

El planteamiento del análisis de precios tiene como base el costo unitario por metro cúbico tanto del concreto convencional como el concreto reforzado con fibras de coco.

Tabla 113. Análisis de precios unitario del concreto convencional por m³.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Cemento Chimborazo	kg	361,92	0,15	52,48
Agregado fino (polvo de piedra)	m ³	0,25	8,00	1,98
Agregado grueso (pasante de 1 plg)	m ³	0,66	10,00	6,59
Agua	m ³	0,14	0,50	0,07
TOTAL				61,12

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

Tabla 114. Análisis de precios unitario del concreto reforzado con fibras de coco por m³.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Cemento Chimborazo	kg	361,92	0,15	52,48
Agregado fino (polvo de piedra)	m ³	0,25	8,00	1,98
Micro sílice	kg	54,29	2,81	152,55
Agregado grueso (pasante de 1 plg)	m ³	0,66	10,00	6,59
Agua	m ³	0,14	0,50	0,07
Fibra de coco	kg	34,24	0,65	22,26
TOTAL				235,93

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

La utilización de fibras de coco en la dosificación del concreto ayuda a mejorar sus propiedades mecánicas, sin embargo en precios no muestra una economía, esto se debe a que el micro sílice utilizado para evitar la degradación de las fibras naturales tiene un precio elevado, por lo que se recomienda utilizar otro tipo de puzolana como es el polvo de ladrillo.

6.6 DISEÑO ORGANIZACIONAL

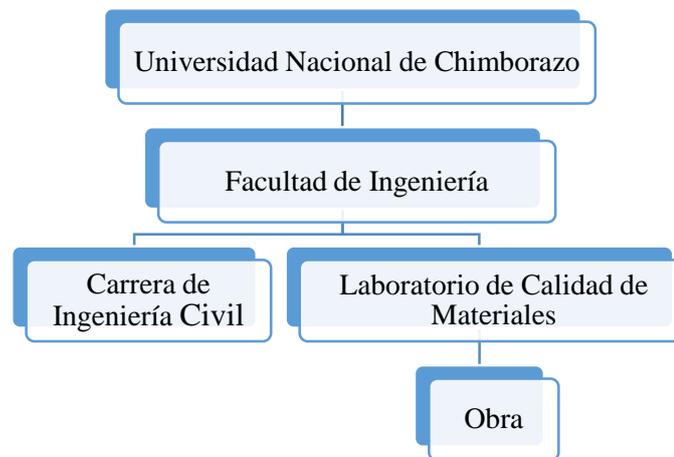


Figura 159. Diseño organizacional.

Elaborado por: Andrea Estrella Ch.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- ACI-549.4R-13. (2013). *Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures*. ACI.
- Alirio, H. (2008). *Instrumentos Infaltables en un Taller: El Deformímetro*. Obtenido de <http://www.sumincol.net/files/deformimetro.pdf>
- Arboleda, D. (2014). *Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composites for Infrastructure Strengthening and Rehabilitation: Characterization Methods*. Miami: University of Miami.
- Arequipa, E., Coba, W., Garzón, D., & Vargas, L. (2012). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple $f'_c=21\text{MPa}$ y 30MPa* . Quito: Tesis de Grado de la Universidad Central del Ecuador.
- ARQHYS. (Mayo de 2016). *Sujetador de horquilla*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/construcciones/sujetador-dehorquilla.html>
- ASTM-C1018. (1997). *Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C138. (2009). *Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C1403. (2000). *Standard Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C143. (2008). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. American Society for Testing Materials.

- ASTM-C192. (2007). *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C231. (2003). *Contenido de aire del hormigón fresco. Método de presión*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C293. (s.f.). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C39. (s.f.). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C469. (s.f.). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C617. (s.f.). *Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C78. (2009). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-D4262. (s.f.). *Standard Test Method for pH of Chemically Cleaned or Etched Concrete Surfaces*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-D792-08. (2008). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. American Society for Testing Materials.
- Avilés, P. (2013). *Sintetyc & Specialfibers*. Obtenido de <http://myfibers.blogspot.com>
- Barros, V., & Ramírez, H. (2012). *Diseño de Hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 Mpa con agregados de la cantera de Pifo*. Quito: Tesis de Grado de la Universidad Central del Ecuador.

- Beltrán, L. (2003). *Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio: Influencia del porcentaje de Fibra Adicionado*. Tesis de Grado de la Universidad de Chile.
- Cevallos, O. (2015). *Sustainable fabric-reinforced cementitious composites for the strengthening of masonry elements*. Calabria: PhD Thesis in Materials and Structures Engineering, University of Calabria.
- Checa, C., & Jurado, F. (2001). *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación*. Tesis de Grado de la Universidad Técnica del Norte.
- Construmática. (2008). *Construmática*. Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades
- Construye-Ecuador. (Marzo de 2011). *Plastocrete 161 HE*. Obtenido de <http://www.construyecuador.com/plastocrete-161-he-sika-10-kg.html>
- CYTI. (2010). *Calidad y Técnica Industrial*. Obtenido de <http://www.cyti.com.mx/sem.asp>
- Depositphotos. (Septiembre de 2014). *Extracción de la fibra de coco*. Obtenido de <http://sp.depositphotos.com/25859681/stock-video-manufacture-of-coconut-fiber-softening.html>
- Duarte, S. (Dirección). (2012). *Descascadores de coco* [Película].
- Espinoza, E. (Abril de 2014). *Mecánica de fluidos*. Obtenido de <http://fisiclick5.wix.com/hectorm-wqmecanicafl#!procesos/c1dya>
- Express, A. (2013). *Fibras*. Obtenido de <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-cars-carbon-fiber.html>
- FAO, O. d. (2009). *Fibras naturales*. Obtenido de <http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/>
- Forero, R. (Agosto de 2007). *Las fibras naturales en los materiales plásticos compuestos*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Las-fibras-naturales-en-los-materiales-plasticos-compuestos+3057872>
- FortaInG. (Viernes de Abril de 2015). *Forta Ingeniería*. Obtenido de <http://fortaingenieria.com/2015/04/23/reforzamiento-estructural-con-fibra-de-carbono/>

- Fuentes, M. T., & Muñiz, W. O. (2000). *Fibras vegetales en el hormigón y su protección*.
- García, E. (Agosto de 2012). *Ruta Artesanal de Fibras Naturales*. Obtenido de http://rutaartesanalimbabura.blogspot.com/p/blog-page_3.html
- González, G. (1965). *La cabuya cultivo e industrialización*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Hidalgo, E. (Jueves de Abril de 2011). *Notas de Hormigón Armado*. Obtenido de <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/propiedades-del-hormigon-fresco.html>
- Ideas-News. (Enero de 2014). *Bond Drap Blog*. Obtenido de www.tipos-de-tejido.aspxww.bondrap.com/ideas-y-ne
- IMCYC. (2007). El hormigón en la obra: problemas, causas y soluciones. *Revista Mensual del Instituto Mexicano del Cemento y el Hormigón*, 68.
- INEN:158. (2009). *Cemento hidráulico. Dterminación del tiempo de fraguado*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:195. (2009). *Cemento hidraúlico. Determinación del contenido de aire en morteros*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:198. (2009). *Cementos. Determinación de la resistencia a flexión y a la compresión de morteros*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:2502. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de flujos en morteros*. Instituto Ecuatorino de Normalización.
- INEN:488. (2009). *Cemento hidráulico. Dterminación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (grevedad específica) y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN:858. (2010). *Áridos. Deterinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización .

- Irias, A. (2013). *Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras o solo fibras*. Madrid: Tesis de Maestría de la Universidad Politécnica de Madrid.
- ISO:10618. (2004). *Determination of tensile properties of resin-impregnated yarn*. International Organization for Standardization.
- ISO:1889. (2009). *Detrminación de densidad lineal*. Organización Internacional de Normalización.
- ISO:2062. (2009). *extiles -- Yarns from packages -- Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension*. International Organization for Standardization.
- ISO:3374. (2000). *Dterminación de la masa por unidad de área*. Organización Internacional de Normalización.
- ISO:4606. (1995). *Textile glass -- Woven fabric -- Determination of tensile breaking force and elongation at break by the strip method*. International Organization for Standardization.
- ISO3344. (1997). *Reinforcement products - Determination of moisture content*. Organización Internacional de Normalización.
- La-Guía. (Abril de 2014). *Física La Guía 2000*. Obtenido de <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/fuerzas/tenacidad>
- La-Hora. (Agosto de 2015). *El deshile de la cabuya aún es un sustento económico*. Obtenido de <http://lahora.com.ec/index.php/noticias/fotoReportaje/1101855036#.V02P PfnhDIU>
- Llano, C. (2009). Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material revolucionario. *Revista Metal Actual*, 11.
- Londoño, M. (2013). *Materiales compuestos*. Obtenido de <http://marieli.blogspot.com/2013/08/materiales-compuestos.html>
- Macías, J., Artola, M. d., & Hernández, P. (2001). *Experiencia cubana con el empleo de fibrequén (cabuya)*. Obtenido de http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf
- Mariano. (Martes de Diciembre de 2011). *Tecnología de Plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

- Montañez, A., & Uzcátegui, I. (2009). Utilización de la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales. *Revista Ingeniería UC (Universidad Crabobo)*, 22.
- Muscio, E. (2013). *Shigras de la Sierra de Ecuador*. Obtenido de <http://eugeniamuscio.blogspot.com/2013/12/shigras-de-la-sierra-de-ecuador.html>
- Nielsen, L. (1998). *Mechanical Properties of Polymers and Composites*. Nueva York.
- Osorio, J. (Julio de 2013). *360° En Concreto*. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>
- Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Quito: Tesis de Grado de la Escuela Politécnica Nacional.
- Pérez, J. (1974). *EL fique, su taxonomía, cultivo y tecnología*. Colombia: Editorial Colina.
- Poveda, S. (2008). *Lecturas Complementarias-Materiales compuestos*. Obtenido de http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-paraproyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf
- Pujadas, P. (2009). *Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno*. Cataluña: Tesis de Grado de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- Quintero, L., & González, O. (2006). *Uso de fibra de estopa de coco para*. Universidad del Norte.
- Romo, M. (2000). *Temas de Hormigón Armado*. Quito.
- Rubiano, J. (2000). *Instalaciones agroforestales*. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303090/EXE_303090/INSTALACIONES2010/leccin_44.html
- SIKA. (Junio de 2012). *SikaFume PDS - Sika Ecuatoriana SA*. Obtenido de [file:///C:/Users/User/Downloads/SikaFume_PDS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/SikaFume_PDS%20(1).pdf)
- Simiatug, B. (Dirección). (2015). *Peinar, hilar, tejer, torcer la cabuya en Padrehuasi, Provincia Cotopaxi* [Película].

- Sopeña, F. (Julio de 2014). *Andando por Bogotá*. Obtenido de <http://andandoporbogota.blogspot.com/2014/07/el-fique-una-planta-industrial-de.html>
- Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas*. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>
- Suárez, J., & ong, L. (2011). *Exportación de manufacturas de fibra de coco*. Guayaquil: Tesis de Grado de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Tamayo, N. (2012). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzada con fibra de cabuya mediante estratificación*. . Quito: Tesis de Grado de la Universidad Politécnica Nacional.
- TEC. (Agosto de 2011). *Tecnológico de Costa Rica - Blog de Noticias*. Obtenido de <http://www.tec.ac.cr/comunicacion/blog/Lists/Fotos/Forms/DispForm.aspx?ID=228&RootFolder=/comunicacion/blog/Lists/Fotos/Noticias>
- Tejido, T. (Enero de 2012). *Tejido Texturizado*. Obtenido de <https://tejidotexturizado.wordpress.com/procesodelfique/desfibrar-fique/>
- UPMOFER. (2009). *Unión de Proyectos Mofer S.A.* Obtenido de <http://www.upmofer.com/familia.php?id=31&enlace1=HORQUILLAS%20CON%20PERNO>
- URIBE, S. V. (2013). *Análisis de elementos estructurales que trabajan a flexión con fibras de carbono*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Villegas, N., & Vélez, R. (2007). *Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo*. Guayaquil: Tesis de grado de la Universidad de Guayaquil.
- Wikipedia. (Diciembre de 2015). *Reloj comparador*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador