



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

Título del proyecto:

**SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE
CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y
VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

Autores:

Marcela Alejandra Pazmiño Cepeda

Jhonny Daniel Guamán Ortega

Director:

Oscar Cevallos V. Ph. D.

Riobamba - Ecuador

2016

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: "SISTEMAS COMPUESTOS FRCCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO", presentado por: Marcela Alejandra Pazmiño Cepeda y Johnny Daniel Guamán Ortega y dirigida por: Oscar Cevallos V, PhD.

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 UNACH.

Para constancia de lo expuesto firmen:

Ing. Víctor Velásquez
Presidente del Tribunal



FIRMA

Ing. Ángel Paredes
Miembro del Tribunal



FIRMA

Oscar Cevallos V, Ph. D.
Director del Proyecto



FIRMA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Proyecto de grado titulado: "Análisis de la calidad del agua en la zona de estudio de la Universidad Nacional de Chimborazo".

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Marcela Alejandra Pazmiño Cepeda, Jhonny Daniel Guamán Ortega y a Oscar Cevallos V, PhD; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo."

Marcela Alejandra Pazmiño Cepeda
Ci. 060443947-1



FIRMA

Jhonny Daniel Guamán Ortega
Ci. 060408928-4



FIRMA

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y siempre guiar mis pasos, A mis abuelitos paternos Jorge y Fanny que desde el cielo me cuidan y me dan esa fortaleza para seguir adelante, a mis abuelos maternos Camilo y Olga que siempre pendientes de mí y brindándome su ejemplo y amor. A mis Padres Marcelo y Yolanda por ser ese apoyo incondicional tanto espiritual y económico a lo largo de toda mi carrera, a mi ñaño por brindarme su amor y fortaleza a toda mi familia que de una u otra manera siempre estuvieron pendiente de mí y a todas las personas que me tendieron la mano cuando los necesite muchas gracias. A mi tutor Oscar Cevallos un agradecimiento muy especial por ser una guía en todo el proceso investigativo y brindarme su conocimiento, dedicación y tiempo para culminar una etapa importante en mi vida a mis miembros del tribunal, a la Universidad Nacional de Chimborazo la facultad de Ingeniería y la carrera de Ingeniería Civil representado en todos los docentes que me abrieron la puerta me inculcaron valores y me convirtieron en una profesional millón gracias los llevare en mi corazón y representare a la Unach con mucho orgullo.

Marcela A. Pazmiño C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza y sabiduría para nunca dejarme vencer por los obstáculos que él puso en mi camino y poder afrontarlos con mucha valentía, ya que ellos me hicieron más fuerte. A la Universidad Nacional de Chimborazo, ya que me dio la oportunidad de adquirir grandes conocimientos, de igual manera a cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Civil que me supieron compartir sus experiencias y formarme como profesional. A mi tutor Oscar Cevallos, PhD, agradezco de una manera muy especial por su paciencia, su ayuda y su conocimiento, fue un gran apoyo y guía para la elaboración del trabajo de investigación.

Jhonny D. Guamán O.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, A mis padres Marcelo y Yolanda, en especial a mi hermano Renato por ser mi fortaleza, mi aliento, mi luz, mi guía, mi compañía incondicional, mi inspiración mis ganas de vivir en fin mi vida entera, tú fuiste mi fortaleza en los momentos que me creí derrotada con cada abrazo con cada beso que me regalabas esa energía que solo tú la tienes, hoy te dedico todo mi esfuerzo de haber alcanzado uno de mis grandes sueños sabes que todo lo que hago es por tu porvenir te amo mi pequeño y nunca te dejare solo seré tu segunda madre por siempre a mis amigos y amigas por el tiempo y paciencia, y a todas las personas que me ayudaron a crecer y estuvieron a mi lado en todo el caminar de mi carrera.

Marcela A. Pazmiño C.

DEDICATORIA

A mis padres Luis Guamán y Margarita Ortega por su apoyo, sacrificio, confianza, cariño y ser un ejemplo de lucha y superación. A mis hermanas Jenny y María Belén que estuvieron junto a mí. A mis tíos, primos y abuelitos que siempre estuvieron pendientes de mí. A abuelita Melita quien hoy me mira y me da sus bendiciones desde el cielo, por todo el cariño que me brindo. A las personitas más especiales en mi vida, mi esposa Elsy y mi hijo Axel que son la razón de mi vida y por los que he luchado duro para hoy llegar a obtener este logro.

Jhonny D. Guamán O.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
GLOSARIO	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1.- MARCO TEÓRICO.	1
1.1.2.- Materiales Compuestos.....	1
1.1.3.- Concepto de Materiales Compuestos.....	2
1.1.4.- Descripción de la Fibra.	4
1.1.5.- Fibras de Vidrio.	5
1.1.6.- Método de Fabricación de las Fibras de Vidrio.....	6
1.1.6.1.- Composición y Fusión.	6
1.1.6.4.- Bobinado.....	9
1.1.6.5.- Secado.....	9
1.1.6.6.- Transformación final.....	9
1.1.6.7.- Malla.	11
1.1.7.- Fabricación de GRC.....	11
1.1.7.1.- Elementos constituyentes.....	11
1.1.7.2.- Proporciones de los materiales constituyentes.....	12
1.1.7.3.- Procesos de fabricación de un GRC.	14
1.1.8.- Las Fibras de Vidrio en el Hormigón.	14
1.1.8.1.- Fibras de Vidrio de Alta Integridad.	15
1.1.8.2.- Fibras de Vidrio Dispersables en Agua.	15
1.1.9.- Fibras Naturales.	16
1.1.10.- Fibra de Cabuya.	17
1.1.11.- Propiedades y Aplicaciones de la Fibra de Cabuya.	17
1.1.12.- Tejido de Cabuya.	19
1.1.13.- Fibra de Cabuya en Ecuador.	20
1.1.14.- Usos de la Cabuya.....	22
1.1.14.1.- Proceso de Tejeduría.....	23

1.1.14.2.- Urdido.	23
1.1.14.3.- Urdido artesanal.	23
1.1.15.4.- Urdido industrial.	24
1.1.15.5.- Canillado.	25
1.1.15.6.- Canillado artesanal.	25
1.1.15.7.- Canillado industrial.	26
1.1.15.8.- Tejido.	26
1.1.15.9.- Características de los hilos.	27
1.1.15.10.- Ligamento.	27
1.1.16.- Sistemas FRCM.	27
1.1.17.- Propiedades de los Materiales Compuestos FRCM.	29
1.1.17.1.- Propiedades Mecánicas.	29
1.1.17.2.- Propiedades físicas del sistema FRCM.	30
1.1.17.3.- Durabilidad del sistema FRCM.	31
1.1.18.- Aplicaciones en el Fortalecimiento Estructural.	31
1.1.18.1.- Ventajas FRCM.	32
1.1.18.2.- Desventajas FRCM.	33
1.19.- Concreto.	34
1.19.1.- Definición.	34
1.1.20.- Características de los Materiales.	36
1.1.20.1.- Cemento.	36
1.1.20.2.- Agregados.	37
1.1.20.3.- Agua.	38
1.1.20.4.- Aditivos.	38
1.1.21.- Acero Estructural en el Hormigón Armado.	38
1.1.22.- Definición de Viga.	39
1.1.23.- Análisis de vigas sometidas a flexión.	39
1.1.23.1.- Etapa del concreto no agrietado.	40
1.1.23.2.- Concreto agrietado: etapa de esfuerzos elásticos.	40
1.1.23.3.- Falla de la viga: etapa de resistencia última.	41
1.1.24.- Esfuerzo en vigas.	41
1.1.24.1.- Esfuerzo normal debido a flexión.	42
1.1.24.2.- Calculo de la carga aplicada sobre la viga.	44
1.1.25.- ENSAYO DE FLEXIÓN.	46
1.1.26.- Formas de Fortalecimiento de vigas con el sistema FRCM.	48
1.1.26.1.- Resultados del ensayo de flexión.	49

1.1.26.2.- Gráficos resultantes.....	50
1.1.27.- Columnas.	51
1.1.28.- Compresión pura en Especímenes de concreto armado.	51
1.1.29.- Comportamiento mecánico de elementos sometidos a cargas axiales. 51	
1.1.29.1.- Ensayo de compresión.	53
1.1.30.- Consideraciones Teóricas.	53
1.1.30.1.- Observaciones generales.....	53
1.1.30.2.- Requerimientos para probetas de compresión.	54
1.1.31.- Resultados del ensayo de compresión.	55
1.1.32.- Ductilidad.....	56
1.1.32.1.- La ductilidad es la capacidad que tienen algunos materiales de admitir grandes deformaciones sin perder su resistencia.....	59
1.1.33.- Reforzamiento de vigas con material compuesto.	60
1.1.33.1.- Resina Poliéster.....	60
1.1.33.2.- Como se refuerzan las vigas con material compuesto.	62
1.1.34.- Esquema típico de columnas sometidas a compresión pura usando FRP.	63
1.1.34.1.- Ensayos de Laboratorio en Columnas con FRP.	65
1.1.35.- Análisis Numérico.	67
1.1.35.1.- Fortalecimiento de la fuerza axial.....	67
1.1.35.2.- El mejoramiento de la capacidad de la carga axial.....	68
1.1.35.3.- Extensión del modelo básico.	69
1.1.35.4.- Resistencia a flexión.	71
CAPITULO II	73
METODOLOGÍA	73
2.1.- TIPO DE ESTUDIO.....	73
2.2.- POBLACIÓN DE MUESTRA	73
2.2.1.- Población.	73
2.2.3.- Muestra.	73
2.3.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.	76
2.3.1.- Variables independientes.	76
2.3.2.- Variable Dependientes.....	77
2.4.- PROCEDIMIENTOS.	78
2.5.- MATERIALES.....	81
2.6.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	82

2.6.1.- Procedimiento del ensayo de densidad de la fibra de cabuya y vidrio (ASTMD 792-08).....	82
2.6.2.- Procedimiento del ensayo de masa por unidad de área de la fibra de cabuya y vidrio (ISO: 3374, 2000).....	84
2.6.3.- Procedimiento del ensayo de la densidad lineal- tex de la fibra de cabuya y vidrio (ISO: 1889, 2009).....	85
2.6.4.- Procedimiento del ensayo de absorción del hilo de cabuya y vidrio (ISO 3344, 1997).	87
2.6.5.- Procedimiento del ensayo de tracción del tejido de cabuya y vidrio (ISO: 4606, 1995).	88
2.6.6.- Procedimiento del ensayo de tracción del hilo sin resina de cabuya y vidrio (ISO: 2062, 2009).	90
2.6.7.- Procedimiento del ensayo del hilo con resina de cabuya.....	93
2.6.8.- Procedimiento para la obtención de la dosificación de resina para la fibra de cabuya.....	95
2.7.- CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA MORTERO (MATRIZ CEMENTICIA).....	96
2.7.1.- Procedimiento de la granulometría de agregado fino – arena de río pasante n°20 (ASTM C136 – INEN 696,2011).	97
2.7.2.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la masa unitaria compacta del agregado fino (INEN 858, 2010).	99
2.7.3.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la masa unitaria suelta del agregado fino (INEN 858, 2010).....	101
2.7.4.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la densidad del agregado fino (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 –INEN 856).....	103
2.7.5.- Procedimiento del ensayo de determinación del porcentaje de absorción del agregado fino en estado saturado superficialmente seco.	105
2.8.- DOSIFICACIÓN DEL MORTERO.....	105
2.9.- PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE CUBOS DE MORTERO. 106	
2.10.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO (INEN 2502, 2009).....	107
2.11.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO (ASTM- C138, 2009).....	108
2.12.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN EN ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).	109
2.13.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO (METODO VICAT) (INEN 158, 2009).....	111
2.14.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM-C231, 2003).....	114

2.15.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL MORTERO (ASTM C1403).	116
2.16.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS CON 50mm DE ARISTA (INEN 488, 2009).	117
2.17.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTERO (INEN 198).	120
2.18.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.	123
2.19.- PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO.	124
2.20.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (ASTM-C1275, 2016).	125
2.21.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (ASTM-C1341, 2013).	127
2.22.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).	130
2.23.- CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO.	133
2.24.- PROCEDIMIENTO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO – ARENA DE RÍO (ASTM C136 – INEN 696,2011).	133
2.25.- PROCEDIMIENTO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO – RIPIO TRITURADO (ASTM C136).	136
2.26.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858,2010).	138
2.27.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858).	140
2.28.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 –INEN 856).	142
2.29.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C127 –INEN 857).	144
2.30.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.	146
2.31.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN (ASTM C 138).	147
2.32.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN (ASTM C231).	149
2.33.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL HORMIGÓN (ASTM C 1585).	151

2.34.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).....	153
2.35.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1572-1576).....	156
2.36.- PROCEDIMIENTO DE LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO EN HORMIGONES DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1578- ASTM C 143).....	158
2.37.- PROCEDIMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL MÉTODO BRASILEÑO (ASTM C 496M).....	160
2.38.- CARACTERIZACIÓN DEL ACERO PARA VIGAS Y COLUMNAS.	162
2.39.- ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (INEN 109).....	162
2.40.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	164
2.41.- MODELOS DE VIGAS Y COLUMNAS A ESCALA FINALES.	164
2.42.- DISEÑO DE ARMADURA PARA VIGAS Y COLUMNAS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EL REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO.....	165
2.42.1.- Diseño de columna con carga concéntrica.....	165
2.42.1.1.- Índices de ductilidad y energía en columnas sometidas a carga concéntrica.	170
2.42.2.- Diseño de la viga sometida a flexión pura.....	173
2.42.2.1.- Índices de ductilidad y energía en vigas sometidas a flexión.....	178
2.43.- PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACIÓN DE LAS VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO CON EL SISTEMA FRCM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO.	180
2.44.- PROCEDIMIENTO DE LA COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN VIGAS Y COLUMNAS.....	181
2.45.- ENSAYOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE VIGAS Y COLUMNAS CON SISTEMA FRCM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO.....	184
2.45.1.- Procedimiento del ensayo de flexión pura en vigas (4 PUNTOS) (ADAPTACIÓN, ASTM 78-02).....	185
2.45.2.- Procedimiento de ensayo de columnas con carga concéntrica.	189
CAPÍTULO III.....	193
RESULTADOS.....	193
3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA Y TEJIDO DE CABUYA.....	193
3.2.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.....	194

3.3.-ENSAYO DE TRACCIÓN FRCCM / ÁREA TEJIDO.....	194
3.4.- CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO (Matriz Cementicia).....	195
3.5.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	196
3.6.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PARA HORMIGÓN...	196
3.7.- CARACTERIZACIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS.....	197
3.8.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS SIN REFUERZO FRCCM.	197
3.8.1.- Viga sin Refuerzo N° 01.....	197
3.8.2.- Viga sin Refuerzo N° 02.....	199
3.8.3.- Viga sin Refuerzo N° 03.....	201
3.8.4.- Viga sin Refuerzo N° 04.....	203
3.9.- RESUMEN DE VIGAS SIN REFUERZO FRCCM.	205
3.9.1.- Carga vs Deflexión al centro de las Vigas sin Refuerzo FRCCM.	205
3.9.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas Sin Refuerzo FRCCM.	206
3.9.3.- Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión del Concreto y Tracción del Acero de las Vigas sin Refuerzo FRCCM.....	207
3.10.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS + FRCCM CABUYA.	208
3.10.1.- Viga + FRCCM Cabuya N° 01.....	208
3.10.2.- Viga + FRCCM Cabuya N° 02.....	210
3.10.3.- Viga + FRCCM Cabuya N° 03.....	212
3.10.4.- Viga + FRCCM Cabuya N° 04.....	214
3.11.- RESUMEN DE VIGAS + FRCCM DE CABUYA.	216
3.11.1.- Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCCM Cabuya.	216
3.11.2.- Esfuerzo vs Deformación unitaria de las Vigas + FRCCM Cabuya. ...	217
3.11.3.- Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión y Tracción de las Vigas + FRCCM Cabuya.....	218
3.12.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS + FRCCM VIDRIO.	219
3.12.1.- Viga + FRCCM Vidrio N° 01.	219
3.12.2.- Viga + FRCCM Vidrio N° 02.	221
3.12.3.- Viga + FRCCM Vidrio N° 03.	223
3.12.4.- Viga + FRCCM Vidrio N° 04.	225
3.13.- RESUMEN DE VIGAS + FRCCM DE VIDRIO.	227
3.13.1.- Carga vs Deflexión al centro e las Vigas + FRCCM Vidrio.	227
3.13.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de la Vigas + FRCCM Vidrio.....	228
3.13.3.- Carga vs Deformación en las zonas de Compresión, Tracción de las Vigas + FRCCM Vidrio.....	229
3.14.- RESUMEN DE RESULTADOS DE VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA.	230

3.14.1.- Ensayo a Flexión Pura en Vigas de Concreto Reforzado.	230
3.14.2.- Gráficas Resumen del Ensayo de Flexión Pura en Vigas.	231
3.14.2.1.- Resumen de Carga vs Deflexión al centro de las Vigas.	231
3.14.2.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas.	232
3.14.2.3.- Carga vs Deformación en las zonas de Compresión del concreto , Tracción FRCCM de las Vigas.	233
3.15.- DUCTILIDAD Y ENERGÍA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA.	234
3.16.- NOMALIZACIÓN DE DATOS EN BASE A LAS VIGAS SIN REFUERZO DE LOS INDICES DE DUCTIBILIDAD Y ENERGIAS EN VIGAS.	235
3.17.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS SIN REFUERZO FRCCM.	236
3.17.1.- Columnas sin Refuerzo FRCCM N° 01.	236
3.17.2.- Columna sin Refuerzo FRCCM N° 02.	238
3.17.3.- Columna sin Refuerzo FRCCM N° 03.	240
3.17.4.- Columna sin Refuerzo FRCCM N° 04.	242
3.18.- RESUMEN DE COLUMNA SIN REFUERZO FRCCM.	244
3.18.1.- Carga vs Deformación Longitudinal en columnas sin refuerzo FRCCM.	244
3.18.2.- Esfuerzo vs Deformación unitaria de las Columnas sin refuerzo FRCCM.	245
3.18.3.- Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas sin refuerzo FRCCM.	246
3.19.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS + FRCCM CABUYA. ...	247
3.19.1.- Columna + FRCCM Cabuya N° 01.	247
3.19.2.- Columna + FRCCM Cabuya N° 02.	249
3.19.3.- Columna + FRCCM Cabuya N° 03.	251
3.19.4.- Columna + FRCCM Cabuya N° 04.	253
3.20.-RESUMEN DE COLUMNAS + FRCCM CABUYA.	255
3.20.1.- Carga vs Deformación longitudinal en Columnas + FRCCM Cabuya.	255
3.20.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las columnas + FRCCM Cabuya.	256
3.20.3.- Carga vs Deformación de pandeo en las columnas + FRCCM Cabuya.	257
3.21.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS + FRCCM VIDRIO.	258
3.21.1.- Columna + FRCCM Vidrio N° 01.	258
3.21.2.- Columna + FRCCM Vidrio N° 02.	260

3.21.3.- Columna + FRCM Vidrio N° 03.	262
3.21.4.- Columna + FRCM Vidrio N°04.	264
3.22.- RESUMEN DE COLUMNAS + FRCM VIDRIO.	266
3.22.1.- Carga vs Deformación longitudinal en columnas + FRCM vidrio.	266
3.22.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las columnas + FRCM Vidrio.	267
3.22.3.- Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas + FRCM Vidrio.	268
3.23.- RESUMEN DE RESULTADOS DE COLUMNAS SOMETIDAS A UNA CARGA CONCÉNTRICA.	269
3.24.- RESUMEN DE GRÁFICAS DE ENSAYOS DE COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA.	269
3.24.1.- Resumen de Carga vs Deformación Longitudinal en columnas concéntricas.	269
3.24.2.- Resumen de Esfuerzo vs Deformación longitudinal en columnas concéntricas.	271
3.25.- DUCTILIDAD Y ENERGIA EN COLUMNAS SOMETIDAS A UNA CARGA.	272
3.26.- NORMALIZACIÓN DE DATOS EN BASE A LAS COLUMNAS SIN ESFUERZO DE LOS ÍNDICES DE DUCTIBILIDAD Y ENERGÍA EN COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA.	273
3.27.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS NUMÉRICO DE LAS COLUMNAS ENSAYADAS A CARGA AXIAL CONCENTRICA.	273
3.27.1.- Columnas con sistema FRCM a base de fibras de cabuya.	273
.....	274
3.27.2.- Columnas con sistema FRCM a base de fibras de vidrio.	276
3.28.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS NÚMÉRICO DE LAS VIGAS ENSAYADAS A FLEXIÓN EN 4 PUNTOS.	278
3.28.1.- Vigas con sistemas FRCM a base de cabuya.	278
3.28.2.- Vigas con sistema FRCM a base de fibra de vidrio.	280
.....	281
3.29.- COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	282
3.30.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE ESFUERZO COLUMNAS SOMETIDAS A CARGA AXIAL CONCÉNTRICA.	283
3.31.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE DEFORMACIÓN UNITARIACOLUMNAS SOMETIDAS A CARGA AXIAL CONCÉNTRICA	285
3.32.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE ESFUERZO EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA	287

3.33.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA	289
CAPÍTULO IV	291
DISCUSIÓN	291
4.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS.....	291
4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO (MATRIZ CEMENTICIA).....	292
4.3.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	292
4.4.- CARGA DE DISEÑO EXPERIMENTAL FRENTE A CARGA TEÓRICA EN VIGAS.	293
4.5.- COMPARACIÓN DE LA DUCTILIDAD EN VIGAS.....	294
4.6.- INDICES DE ENERGÍA EN VIGAS.	294
4.7.- CARGA DE DISEÑO EXPERIMENTAL FRENTE A CARGA TEÓRICA EN COLUMNAS.....	295
4.8.- COMPARACIÓN DE LA DUCTILIDAD.....	295
4.9.- INDICES DE ENERGÍA EN COLUMNAS.	296
4.10.- ANÁLISIS NUMÉRICO.....	296
CAPITULO V	298
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	298
5.1.- CONCLUSIONES.....	298
5.2.- RECOMENDACIONES.....	303
CAPITULO VI.....	305
PROPUESTA.....	305
6.1.- TITULO DE LA PROPUESTA.	305
6.2.- INTRODUCCIÓN.....	305
6.3.- OBJETIVOS.....	306
6.3.1.- GENERAL.....	306
6.3.2.- ESPECÍFICOS.....	306
6.4.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA.....	307
6.4.1.- Refuerzo Axial.....	307
6.4.2.- Esquema típico de refuerzo de columnas sometidas a compresión pura usando FRP.	307
6.4.3.- Ensayos de Vigas Sometidas a Esfuerzo de Flexión.	311
6.4.4.- Análisis de Precios Unitarios.....	314
6.5.- DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	315
6.5.1.- Vigas.....	315
6.5.2.- Columnas.	316
6.5.3.- Flexión en vigas.....	318

6.5.4.- Compresión en Columnas.....	318
6.6.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL USO DE SISTEMAS FRM A BASE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A COMPRESIÓN.	320
6.7.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL USO DE SISTEMAS FRM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA.....	322
6.8.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS POR m ² DE MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE CABUYA.....	324
6.9.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE VIDRIO.....	325
6.10.- ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO.	326
6.11.- DISEÑO ORGANIZACIONAL.....	331
6.12.- MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	332
6.12.1.- Cuales son los problemas.....	332
6.12.2.- Como se puede enfrentar.	332
6.12.3.- Cuales son los logros.	332
6.12.4.- Como se puede consolidar.	333
6.12.5.- Cual es el impacto de las actividades desarrolladas en la propuesta.	333
CAPITULO VII	334
BIBLIOGRAFÍA	334
WEBGRAFÍA	338
ANEXOS	339

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1 Material Compuesto (a.- compuestos reforzados con partículas; b.- compuestos reforzados con fibras).....	3
Figura 2 FRCM estrés diagrama de tensión.....	29
Figura 3 Esfuerzo en viga.....	42
Figura 4 Esfuerzo normal debido a flexión.....	42
Figura 5 Esfuerzo normal debido a flexión.....	43
Figura 6 Esfuerzo cortante en vigas e flexión.....	43
Figura 7 Secciones transversal circular y rectangular.....	44
Figura 8 Grafica ANSI/AFYPA/NDS.....	45
Figura 9 Esquema de carga para la flexión.....	45
Figura 10 Geometría de la probeta y distribución de momentos en el ensayo de flexión en cuatro puntos.....	47
Figura 11 Strengthening configuration.....	49
Figura 12 Crack patterns after failure of the doublé-T beams.....	49
Figura 13 Resultante I.....	50
Figura 14 Resultante II.....	50
Figura 15 Columnas sin refuerzo.....	52
Figura 16 Aplicación de una carga.....	53
Figura 17 Diagrama esfuerzo-deformación para compresión.....	53
Figura 18 Composite Structures 109.....	56
Figura 19 Índice de ductibilidad del Hormigón.....	57
Figura 20 Índice de ductibilidad por energía de deformación del hormigón.....	58
Figura 21 Ensayo a flexión pura a 4 puntos.....	59
Figura 22 Deformación en vigas.....	60
Figura 23 Comportamiento flexionales FRCM.....	63
Figura 24 Métodos de encamisados para columnas.....	64
Figura 25 Envoltura de FRP.....	64
Figura 26 Curvas esfuerzo-deformación con CFRP y GFPR.....	66
Figura 27 Ensayo a compresión de hormigón confinado con FRP.....	67
Figura 28 Fibra de cabuya y vidrio.....	81
Figura 29 SikaCem Plastificante.....	82
Figura 30 Ensayo de densidad de fibra de cabuya y fibra de vidrio.....	84
Figura 31 Ensayo por unidad de fibra cabuya y fibra de vidrio.....	85
Figura 32 Ensayo de densidad lineal, fibra de cabuya y fibra de vidrio.....	86
Figura 33 Ensayo de % de absorción del hilo de cabuya e hilo de vidrio.....	88
Figura 34 Ensayo de tracción de los tejidos de cabuya y vidrio.....	90
Figura 35 Ensayo de tracción de hilos sin resina de vidrio y cabuya.....	92
Figura 36 Ensayo de hilos con resina cabuya.....	95
Figura 37 Determinación de la dosificación de la resina para la fibra de Cabuya.....	96
Figura 38 Análisis granulométrico del agrado pasante el tamiz N° 20.....	99
Figura 39 Masa unitaria compactada del agregado fino pasante del tamiz N° 20.....	101
Figura 40 Masa unitaria suelta del agregado fino pasante del tamiz N° 20.....	102
Figura 41 Ensayo de densidad SSS del agregado fino pasante por el tamiz N° 20.....	104

Figura 42 Ensayo de % de absorción del agregado fino pasante por el tamiz N° 20	105
Figura 43 Elaboración de cubos de mortero.	106
Figura 44 Ensayo de fluidez del mortero.	107
Figura 45 Ensayo de densidad de estado fresco del mortero.	109
Figura 46 Ensayo de densidad en estado endurecido del mortero.	110
Figura 47 Ensayo de % de absorción en estado endurecido del mortero.	111
Figura 48 Aparato Vitac, Norma INEN 158, 2009.	112
Figura 49 Ensayo de tiempo de fraguado Método Vicat.	114
Figura 50 Ensayo de contenido de aire, Método de presión.	115
Figura 51 Ensayo de Absorción por capilaridad en función del tiempo.	117
Figura 52 Ensayo de compresión de cubos 50 mm de arista.	120
Figura 53 Ensayo de flexión de mortero.	123
Figura 54 Dimensiones del material compuesto.	123
Figura 55 Material compuesto de cabuya y vidrio.	124
Figura 56 Elaboración de probetas de material compuesto de Cabuya y Vidrio.	125
Figura 57 Ensayo de tracción del material compuesto con fibra de Cabuya y Vidrio.	127
Figura 58 Ensayo de flexión de material compuesto de fibra de Cabuya y Vidrio.	130
Figura 59 Ensayo de densidad en estado endurecido del hormigón.	132
Figura 60 Ensayo de % de Absorción en estado endurecido del hormigón.	133
Figura 61 Ensayo de Análisis Granulométrico de la Arena no tamizada.	135
Figura 62 Ensayo granulométrico del agregado grueso tamizado y no tamizado.	138
Figura 63 Ensayo de la determinación de la masa unitaria compactada del agregado fino y grueso.	140
Figura 64 Ensayo de masa unitaria suelta agregado fino y grueso.	142
Figura 65 Ensayo de Densidad en estado SSS del agregado fino.	144
Figura 66 Ensayo de densidad en estado SSS del agregado grueso.	146
Figura 67 Ensayo de % de absorción del agregado grueso y fino.	147
Figura 68 Ensayo de densidad en estado fresco del hormigón.	149
Figura 69 Ensayo de contenido de aire en el Hormigón.	150
Figura 70 Esquema de ensayo de absorción por capilaridad en función del tiempo del hormigón.	152
Figura 71 Ensayo de Absorción por capacidad del hormigón en función del tiempo.	153
Figura 72 Ensayo de densidad en estado endurecido del hormigón.	155
Figura 73 Ensayo de % de absorción en estado endurecido del hormigón.	156
Figura 74 Elaboración de cilindros de hormigón y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros.	157
Figura 75 Ensayo de determinación de asentamiento del hormigón.	159
Figura 76 Ensayo de resistencia a tracción por compresión.	161
Figura 77 Ensayo de tracción de acero de refuerzo.	164
Figura 78 Longitud de confinamiento Lo.	167
Figura 79 Diseño de columna en 3D.	169
Figura 80 Reserva de energía de deformación.	171
Figura 81 Separación de estribos.	177

Figura 82 Diseño de la viga en 3D.....	178
Figura 83 Elaboración de vigas y columnas de concreto reforzado.....	181
Figura 84 Representación del sistema FRCM en vigas.	182
Figura 85 Representación del sistema FRCM en columnas.	182
Figura 86 Colocación de material compuesto en las vigas.	183
Figura 87 Colocación del material compuesto en las columnas a escala.....	184
Figura 88 Diagramas de corte y momento de viga.	185
Figura 89 Ensayo a flexión pura de vigas.	188
Figura 90 Ensayo de columnas con carga concéntrica.....	192
Figura 92 Carga vs Deflexión al centro de la viga (V1 SR – FRCM)	197
Figura 93 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1 –SR-FRCM)	198
Figura 94 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión (V1 SR – FRCM).	198
Figura 95 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V1 SR – FRCM). .	199
Figura 96 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V2 SR – FRCM).	199
Figura 97 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 SR – FRCM).....	200
Figura 98 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V2 SR – FRCM).	200
Figura 99 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V2 SR – FRCM). .	201
Figura 100 Carga vs Deformación al Centro de la Viga (V3 SR – FRCM).	201
Figura 101 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 SR – FRCM).....	202
Figura 102 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V3 SR – FRCM).	202
Figura 103 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V3 SR – FRCM). 203	
Figura 104 Carga VS Deflexión al centro de la Viga (V4 SR – FRCM).....	203
Figura 105 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 SR – FRCM).....	204
Figura 106 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V4 SR – FRCM).	204
Figura 107 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V4 SR – FRCM). 205	
Figura 108 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas sin Refuerzo FRCM.	205
Figura 109 Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas sin SR FRCM.	206
Figura 110 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión (Vigas sin Refuerzo FRCM).	207
Figura 111 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V1 SR – FRCM).	208
Figura 112 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1 + FRCM Cabuya).	208
Figura 113 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del concreto y Tracción + FRCM cabuya V1.	209
Figura 114 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V1 + FRCM Cabuya).	209
Figura 115 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V2 + FRCM Cabuya).....	210
Figura 116 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 + FRCM Cabuya).	210
Figura 117 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y Tracción FRCM Cabuya V2.	211
Figura 118 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V2 + FRCM Cabuya).	211
Figura 119 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V3 + FRCM Cabuya).....	212
Figura 120 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 + FRCM Cabuya).	212

Figura 121 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción FRCM cabuya V3.	213
Figura 122 Carga vs Deformación para Calculo de Áreas (V3 + FRCM Cabuya).	213
Figura 123 Carga s Deflexión al centro de la Viga (V4 + FRCM Cabuya).....	214
Figura 124 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 + FRCM Cabuya).	214
Figura 125 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRCM Cabuya V4.....	215
Figura 126 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V4 + FRCM Cabuya).	215
Figura 127 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCM Cabuya.	216
Figura 128 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Vigas + FRCM Cabuya).....	217
Figura 129 Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión y Tracción de las Vigas + FRCM.....	218
Figura 130 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V1 + FRCM Vidrio).	219
Figura 131 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1+ FRCM Vidrio).	219
Figura 132 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRCM vidrio V1.	220
Figura 133 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V1 + FRCM Vidrio).	220
Figura 134 Carga vs Deflexión al Centro de la Viga (V2 + FRCM Vidrio).....	221
Figura 135 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 + FRCM Vidrio).	221
Figura 136 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRCM vidrio V2.	222
Figura 137 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V2 + FRCM Vidrio).	222
Figura 138 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V3 + FRCM Vidrio).	223
Figura 139 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 + FRCM Vidrio).	223
Figura 140 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción FRCM vidrio V3.	224
Figura 141 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V3 + FRCM Vidrio).	224
Figura 142 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V4 + FRCM Vidrio).	225
Figura 143 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 + FRCM Vidrio).	225
Figura 144 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del concreto y Tracción del FRCM vidrio V4.	226
Figura 145 Carga vs Deformación para cálculo de Áreas (V4 + FRCM Vidrio).	226
Figura 146 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCM Vidrio.	227
Figura 147 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Vigas + FRCM Vidrio).	228
Figura 148 Carga vs Deformación a Tracción y Compresión (Vigas + FRCM Vidrio).	229
Figura 149 Resumen de carga vs Deflexión al centro de las Vigas.	231
Figura 150 Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas.....	232
Figura 151 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión en las Vigas.	233
Figura 152 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 SR – FRCM).	236
Figura 153 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 SR – FRCM).	236

Figura 154 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C1 SR – FRCM).	237
.....	237
Figura 155 Carga vs Pandeo (C1 SR – FRCM).	237
Figura 156 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 SR – FRCM).	238
Figura 157 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 SR – FRCM).	238
Figura 158 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 SR – FRCM).	239
Figura 159 Carga vs Pandeo (C2 SR – FRCM).	239
Figura 160 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 SR – FRCM).	240
Figura 161 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 SR – FRCM).	240
Figura 162 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C3 SR – FRCM).	241
.....	241
Figura 163 Carga vs Pandeo (C3 SR – FRCM).	241
Figura 164 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 SR – FRCM).	242
Figura 165 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 SR – FRCM).	242
Figura 166 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C4 SR – FRCM).	243
.....	243
Figura 167 Carga vs Pandeo (C4 SR – FRCM).	243
Figura 168 Carga vs Deformación Unitaria de las columnas sin refuerzo FRCM.	244
.....	244
Figura 169 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (columnas sin refuerzo FRCM).	245
Figura 170 Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas sin refuerzo FRCM.	246
.....	246
Figura 171 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 + FRCM Cabuya).	247
Figura 172 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 + FRCM Cabuya).	247
Figura 173 Carga vs Deformación para cálculo de áreas (C1 + FRCM Cabuya).	248
.....	248
Figura 174 Carga vs Pandeo (C1 + FRCM Cabuya).	248
Figura 175 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 + FRCM Cabuya).	249
Figura 176 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 + FRCM Cabuya).	249
Figura 177 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C2 + FRCM Cabuya).	250
.....	250
Figura 178 Carga vs Pandeo (C2 + FRCM Cabuya).	250
Figura 179 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 + FRCM Cabuya).	251
Figura 180 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 + FRCM Cabuya).	251
Figura 181 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C3 + FRCM Cabuya).	252
.....	252
Figura 182 Carga vs Pandeo (C3 + FRCM Cabuya).	252
Figura 183 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 + FRCM Cabuya).	253
Figura 184 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 + FRCM Cabuya).	253
Figura 185 Carga vs Deformación para cálculos de áreas (C4 + FRCM Cabuya).	254
.....	254
Figura 186 Carga vs Pandeo (C4 + FRCM Cabuya).	254
Figura 187 Carga vs deformación Longitudinal (Columnas + FRCM Cabuya).	255
Figura 188 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Columnas + FRCM Cabuya)...	256
Figura 189 Carga vs Pandeo (Columnas + FRCM Cabuya).	257
Figura 190 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 + FRCM Vidrio).	258
Figura 191 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 + FRCM Vidrio).	258

Figura 192 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C1 + FRCM Vidrio).	259
.....	259
Figura 193 Carga vs Pandeo (C1 +FRCM Vidrio).	259
Figura 194 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 + FRCM Vidrio).	260
Figura 195 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 + FRCM Vidrio).	260
Figura 196 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C2 + FRCM Vidrio).	261
.....	261
Figura 197 Carga vs Pandeo (C2 + FRCM Vidrio).	261
Figura 198 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 + FRCM Vidrio).	262
Figura 199 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 + FRCM Vidrio).	262
Figura 200 Carga vs Deformación para caculo de áreas (C3 + FRCM Vidrio)..	263
Figura 201 Carga vs Pandeo (C3 + FRCM Vidrio).	263
Figura 202 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 + FRCM Vidrio).	264
Figura 203 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 + FRCM Vidrio).	264
Figura 204 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C4 + FRCM Vidrio).	265
.....	265
Figura 205 Carga vs Pandeo (C4 +FRCM Vidrio).	265
Figura 206 Carga vs Deformación Longitudinal (Columnas + FRCM Vidrio)..	266
Figura 207 Esfuerzo vs Deformación (Columnas + FRCM Vidrio).....	267
Figura 208 Carga vs Pandeo (Columnas + FRCM Vidrio).....	268
Figura 209 Carga vs Deformación longitudinal en columnas.....	270
Figura 210 Esfuerzo vs Deformación Unitaria en columnas.	271
Figura 213 Disposición FRCM Encamisado, columnas.	307
Figura 214 Métodos de encamisado para las columnas.	308
Figura 215 Traslape mínimo para tejidos FRP.	308
Figura 216 Capacidad axial probetas cilíndricas serie B.	310
Figura 217 Factor de forma para secciones cuadradas.....	311
Figura 218 Montaje experimental.	312
Figura 219 Disposición fibras.	312
Figura 220 Modo de falla a flexión.....	313
Figura 221 Carga vs deformación esquemática modos de falla.....	313
Figura 222 Carga – Deformación según disposición de refuerzo.....	314
Figura 223 Cargas máximas (N), ensayos de columnas concéntricas.	321
Figura 224 Cargas máximas (N), ensayos de vigas a flexión.	323
Figura 225 Columnas ensayadas a compresión bajo carga axial pura.	326
Figura 226 Vigas ensayadas a flexión bajo carga axial pura.	327
Figura 227 Viga con sistema FRCM cabuya vs viga con sistema FRCM vidrio.	328
.....	328
Figura 228 Ensayo de columnas sin refuerzo FRCM, columnas con FRCM Vidrio y cabuya.	329
Figura 229 Cabuya y su fibra.	329
Figura 230 Ductilidad determinada en el ensayo de flexión de vigas a cuatro puntos.	330
Figura 231 Ductilidad determinada en el ensayo de compresión.	330
Figura 232 Diseño Organizacional.....	331

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1 Proporciones en kg de los elementos.	13
Tabla 2 Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas.	18
Tabla 3 Composición química de las diferentes fibras naturales.	18
Tabla 4 Características físicas de la fibra de cabuya.	19
Tabla 5 Propiedades de filamentos típicos de telas disponibles en el mercado. ...	30
Tabla 6 Índice de ductibilidad del hormigón en base a la resistencia a compresión.	57
Tabla 7 Índice de ductibilidad por energía de deformación en base a la resistencia a compresión del hormigón.	58
Tabla 8 Resumen de ensayos de caracterización de fibras y materiales para el sistema FRCM.	74
Tabla 9 Operacionalización de las Variables.	77
Tabla 10 Muestra de vigas y columnas para ensayos finales.	165
Tabla 11 Escala 1: 3 para el diseño de columna.	165
Tabla 12 Límites de espaciamiento y confinamiento de estribos.	167
Tabla 13 Longitud de confinamiento L_o	167
Tabla 14 Espaciamiento en la zona de confinamiento.	168
Tabla 15 Espaciamiento en la zona no confinada.	168
Tabla 16 Escala de diseño de la viga sometida a flexión pura.	173
Tabla 17 Separación de acero de la norma NEC-SE-HM.	177
Tabla 18 Caracterización de la fibra y tejido de cabuya.	193
Tabla 19 Caracterización de la fibra de vidrio.	194
Tabla 20 Ensayo de tracción FRCM / Área tejido.	194
Tabla 21 Caracterización del mortero (Matriz Cementicia).	195
Tabla 22 Caracterización del material compuesto.	196
Tabla 23 Caracterización de materiales para hormigón.	196
Tabla 24 Caracterización de acero de refuerzo.	197
Tabla 25 Ensayo a Flexión pura en Vigas a escala.	230
Tabla 26 Índices de Ductilidad y Energía en Vigas.	234
Tabla 27 Normalización de resultados en base de las vigas sin refuerzo.	235
Tabla 28 Ensayo de columnas con carga Concéntrica.	269
Tabla 29 Índices de Ductilidad y Energía en Columnas.	272
Tabla 30 Normalización de resultados en base de las columnas sin refuerzo. ...	273
Tabla 31 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM cabuya (sin considerar el factor de resistencia).	274
Tabla 32 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM cabuya.	275
Tabla 33 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM vidrio (sin considerar el factor de resistencia).	276
Tabla 34 Primer método de columnas concéntricas con sistema FRCM vidrio.	277
Tabla 35 Cálculo para el reforzamiento de vigas con sistema FRCM con fibra de cabuya.	278
Tabla 36 Cálculo para el reforzamiento de vigas con sistema FRCM con fibra de vidrio.	280
Tabla 37 Esfuerzo vs Variable.	283

Tabla 38 Esfuerzos de las columnas	283
Tabla 39 Descripción, media, desviación típica.....	283
Tabla 40 Análisis de varianza.	283
Tabla 41 Esfuerzo en intervalos.....	284
Tabla 42 Resumen de ANOVAS esfuerzos de las columnas.....	284
Tabla 43 Deformación unitaria.	285
Tabla 44 Deformaciones unitarias de las columnas.....	285
Tabla 45 Descripción, media, desviación típica.....	285
Tabla 46 Análisis de varianza.	285
Tabla 47 Comparación por deformaciones unitarias.	285
Tabla 48 Tabla de resumen de Anovas de deformación unitaria de columnas...	286
Tabla 49 Esfuerzo vs Variable dependiente V.....	287
Tabla 50 Esfuerzos de vigas sometidas a flexión pura	287
Tabla 51 Descripción, media, desviación típica V.	287
Tabla 52 Análisis de varianza V.	287
Tabla 53 Comparación por esfuerzos V.....	288
Tabla 54 Tabla de resumen de ANOVAS de esfuerzos de vigas sometidas a flexión pura	288
Tabla 55 Deformación vs variable dependiente V.....	289
Tabla 56 Deformaciones unitarias de vigas sometidas a flexión pura.	289
Tabla 57 Descripción, media, desviación típica V.....	289
Tabla 58 Análisis de varianza V.	289
Tabla 59 Comparación por deformación unitarias V.....	290
Tabla 60 Tabla resumen de ANOVAS de Deformaciones de vigas sometidas a flexión pura.	290
Tabla 61 Resumen de ensayo a compresión de columnas con carga concéntrica.	320
Tabla 62 Normalización de resultados en base de las columnas ensayadas a compresión axial.	321
Tabla 63 Normalización de resultados en base de las vigas ensayadas a flexión pura.....	322
Tabla 64 Normalización de resultados en base de las vigas ensayadas a flexión pura.....	323
Tabla 65 Análisis de precio unitario del sistema FRCM cabuya.	324
Tabla 66 Análisis de precios unitarios sistema FRCM vidrio.	325

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Pág.
ANEXO 1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS. (ANTEPROYECTO)	340
ANEXO 2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.	347
ANEXO 3 RESULTADO DEL ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE AREA DE LA FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO.....	352
ANEXO 4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD LINEAL – TEX DE LA FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO (ISO: 1889, 2009).....	357
ANEXO 5 RESULTADO DEL ENSAYO DE ABSORCION DEL HILO DE CABUYA Y VIDRIO (ISO 3344, 1997).....	362
ANEXO 6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL TEJIDO DE CABUYA Y VIDRIO (ISO: 4606, 1995).....	365
ANEXO 7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO SIN RESINA DE CABUYA Y VIDRIO (ISO: 2062, 2009).....	370
ANEXO 8 RESULTADOS DEN ENSAYO DEL HILO CON RESINA DE CABUYA....	374
ANEXO 9 RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN DE RESINA PARA LA FIBRA DE CABUYA.....	376
ANEXO 10 RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO PASANTE N° 20.	378
ANEXO 11 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO (INEN 858, 2010).	381
ANEXO 12 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO (INEN 858, 2010).	383
ANEXO 13 RESULTADO DEL ENSAYO DE LA DEPERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 – INEN 856).	385
ANEXO 14 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.	387

ANEXO 15	
RESULTADO DEL ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO (INEN 2502, 2009).	389
ANEXO 16	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO (ASTM – C138, 2009).	391
ANEXO 17	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN EN ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).	393
ANEXO 18	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO (METODO VICAT) (INEN 158, 2009).	396
ANEXO 19	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM – C231, 2003).	398
ANEXO 20	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL MORTERO (ASTM C1403).	400
ANEXO 21	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS CON 50 mm DE ARISTA (INEN 488, 2009).	402
ANEXO 22	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTERO (INEN 198).	407
ANEXO 23	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.	409
ANEXO 24	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.	420
ANEXO 25	
RESULTADO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).	425
ANEXO 26	
RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO – ARENA DE RIO (ASTM C136 – INEN 696, 2011).	430
ANEXO 27	
RESULTADO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO – RIPIO TRITURADO (ASTM C136).	434
ANEXO 28	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858, 2010).	439
ANEXO 29	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858, 2010).	441

ANEXO 30	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 – INEN 856).	443
ANEXO 31	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C127 – INEN 857).	445
ANEXO 32	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EN ESTADO SUPERFICIALMENTE SECO.	447
ANEXO 33	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN (ASTM C138).	450
ANEXO 34	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN (ASTM C231).	452
ANEXO 35	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL HORMIGÓN (ASTM C 1585).	454
ANEXO 36	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).	456
ANEXO 37	
RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRAULICO (INEN 1572 – 1576).	459
ANEXO 38	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO EN HORMIGONES DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1578 – ASTM C143).....	465
ANEXO 39	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL METODO BRASILEÑO (ASTM C496M).	467
ANEXO 40	
RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.	469
ANEXO 41	
DISEÑO DE LA COLUMNA CONCÉNTRICA.....	471
ANEXO 42	
DISEÑO DE LA VIGA A FLEXIÓN PURA.....	478
ANEXO 43	
ARCHIVO FOTOGRÁFICO.	487

GLOSARIO

- δ = densidad de la fibra en g/cm^3
- a = masa de la muestra al aire en g
- w = masa de la canastilla sumergida en g
- b = masa de muestra sumergida + canastilla en g
- M_A = masa por unidad de área g/m^2
- Tex = densidad lineal g/km
- % **Absorción** = Porcentaje de absorción en %
- Peso seco** = Peso seco de la muestra en g
- δ_{fibra} = densidad de la fibra en g/cm^3
- ϵ_i = Deformación Unitaria en el punto i , en mm/mm
- ϵ_i = Deformación en el punto i en mm
- L_o = Distancia de calibración en mm
- E = Módulo de Elasticidad en MPa
- σ = Esfuerzo de la muestra en MPa
- σ_{max} = Esfuerzo máximo a la tracción en MPa
- P_{max} = Carga máxima antes de la rotura en N
- A = área de los hilos longitudinales de la probeta en mm^2
- % **Pasa** = porcentaje que pasa
- % **RA** = porcentaje retenido acumulado, %
- MUC** = masa unitaria compactada del agregado fino g/cm^3
- G = masa del agregado fino + molde en g
- T = masa del molde en g
- V = Volumen del molde en cm^3
- MUS** = masa unitaria compactada del agregado fino g/cm^3
- H = Tiempo en minutos de la primera penetración menor a $25mm$
- E = Tiempo en minutos de la primera penetración mayor a $25mm$
- C = lectura de penetración al tiempo E
- D = lectura de penetración al tiempo H
- A_T = Absorción del agua en g/cm^2
- W_T = Peso de la muestra en el tiempo t en g

W_0 = Peso de la muestra seca en g
 L_1 = Longitud media de la probeta de ensayo en mm
 L_2 = Ancho medio de la probeta de ensayo en mm
 Δ_{max} = deflexión máxima a flexión en mm
 I = inercia en mm^4
 Área_c = área bajo la curva en J
 E_T = energía de fractura en J/m^2
 $\%PASA$ = porcentaje de material que pasa, %
 $\%ERROR$ = porcentaje de error, %
 I = absorción del hormigón en mm
 m_t = el cambio de la muestra de la masa en g, en el tiempo t
 a = área expuesta al agua de la muestra en mm^2
 f_t = esfuerzo de tracción en MPa
 P = carga aplicada en N
 l = longitud promedio del cilindro en mm
 d = diámetro promedio del cilindro en mm
 P_u = resistencia última de diseño en N
 ϕ = factor de reducción de resistencia a la compresión, $\phi = 0.65$
 f'_c = resistencia a la compresión del hormigón en MPa
 A_g = área total de la sección transversal del concreto en mm^2
 F_y = resistencia especificada a la fluencia del refuerzo en MPa
 r = radio de giro en cm
 λ = esbeltez de una columna con carga concéntrica
 k = coeficiente de longitud efectiva
 μ_Δ = ductilidad de deformación
 Δ_u = desplazamiento último en mm
 C_E = capacidad de absorción de energía en J
 A_{peak} = área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el
 I_t = índice de tenacidad a compresión en J/J
 A_{total} = área total bajo la curva en (N) vs deformación en (m) en J
 G_f = energía de fractura de viga en J/m^2

W_f = área bajo la curva carga vs deformación en J

A = área de la sección transversal en m^2

H_0 = hipótesis nula

H_a = hipótesis verdadera

μ_c = variable de cabuya

μ_v = variable de vidrio

RESUMEN

Las estructuras de concreto armado deben poseer una vida útil adecuada, y se puede presumir que los requerimientos y consideraciones iniciales de diseño deben tomar en cuenta diversos factores tales como durabilidad y presencia de fenómenos naturales. Actualmente, la reparación y reforzamiento de estructuras es una actividad cotidiana en la ingeniería civil; esto con el propósito de no dejar abandonadas o llegar a demoler estructuras que presenten problemas estructurales. Por este motivo, los sistemas de reforzamiento son cada vez más estudiados, y entre estos sistemas, los sistemas FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites) producidos a base de tejidos de fibras sintéticas o naturales son una opción viable para reparar o reforzar diversos tipos de estructuras. En este estudio, se han diseñado sistemas FRCM producidos a base de tejidos de fibras de cabuya y de vidrio. En el caso de los tejidos de vidrio, estos tejidos se comercializan en el Ecuador y en Colombia para ser usado principalmente en la elaboración de tanques de gasolina y que no han sido usados en la industria de la construcción, más aún en la producción de materiales compuestos FRCM; una ventaja de estos tejidos de vidrio, frente a los tejidos de vidrio que tradicionalmente se usan en la industria de la construcción, es su economía. Se evaluaron las principales características físicas y mecánicas de cada uno de los materiales compuestos considerados en este estudio. Luego de llevar a cabo la caracterización y determinar cuántos estratos (layers) de tejido de refuerzo se van a usar, se procedió a construir modelos a escala de elementos estructurales de concreto armado del tipo vigas y columnas para poder ensayarlas a flexión a cuatro puntos y a compresión concéntrica, respectivamente. De esta manera, se estudiaron propiedades tales como capacidad resistente, capacidad de deformación y ductilidad. En el caso de vigas y columnas sin refuerzo FRCM, estas muestras evidentemente obtuvieron resistencias inferiores a aquellas de los elementos reforzados con los sistemas FRCM. Las vigas con refuerzo FRCM a base de tejidos de cabuya alcanzaron una resistencia a flexión de 14.591 MPa y las vigas con refuerzo FRCM a base de tejidos de vidrio alcanzaron una resistencia a flexión de 20.875 MPa, frente a los 11.310 MPa que obtuvieron las vigas sin refuerzo FRCM. Por otro lado, las columnas sin refuerzo FRCM alcanzaron una resistencia a la compresión de 17.281 MPa, valor muy inferior a los obtenidos en el

caso de las columnas reforzadas con sistemas FRCM a base de tejidos de cabuya (33.723 MPa) y de vidrio (34.456 MPa). Estos resultados alentadores demuestran el potencial de los sistemas FRCM diseñados en este estudio para el reforzamiento estructural de elementos de concreto armado. Adicionalmente, en esta investigación también se realizó un análisis numérico del comportamiento de elementos de concreto armado reforzados con materiales compuestos FRCM sometidos a flexión y a compresión, y estos resultados se compararon con aquellos obtenidos experimentalmente ensayando, en el laboratorio de Control de Calidad de Materiales de la UNACH, las muestras construidas y reforzadas con los sistemas FRCM considerados.

Palabras claves: sistema FRCM, ensayos experimentales, vigas y columnas

ABSTRACT

Abstract

Reinforced concrete structures must have an appropriate useful life, and could be assumed that the initial design requirements and considerations must take into account several factors such as durability and natural phenomena. Nowadays, the repair and reinforcement of structures is a daily activity in civil engineering. The purpose is not to abandon or demolish buildings with structural problems. For this reason, strengthening systems are increasingly being studied. Among these systems, the FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites) produced using synthetic or natural fiber fabrics are a viable option to repair or reinforce various types of structures. In this study, FRCM systems based on sisal and glass fiber fabrics were designed. For glass, these fabrics are commercialized in Ecuador and Colombia to be used primarily in the manufacture of gasoline tanks which have not been used neither in the construction industry, nor more in the production FRCM composites. An advantage of these glass fabrics, compared to the glass fabrics traditionally used in the construction industry, is their low price. The main physical and mechanical characteristics of the composites considered in this study were evaluated. After carrying out the characterization and determining how many layers of reinforcing fabrics are going to be used, it was proceeded to build scale models of structural elements of reinforced concrete beams and columns to perform four point flexural tests and concentric compression tests, respectively. In this way, properties such as strength capacity, deformability and ductility were studied. In the case of beams and columns without FRCM reinforcement, these samples evidently obtained lower strengths than those reinforced with FRCM systems. FRCM-reinforced beams based on woven sisal fabrics reached a flexural strength of 14,591 MPa and FRCM-reinforced beams based on glass fabrics reached a flexural strength of 20,875 MPa, compared to 11,310 MPa obtained by the beams without FRCM reinforcement. On the other hand, the columns without reinforcement of FRCM composites reached a compressive strength of 17,281 MPa, a result much lower than those obtained in the case of columns reinforced with FRCM systems based on sisal (33,723 MPa) and glass (34,456 MPa). These encouraging results demonstrate the potential of the FRCM systems designed in this study for the structural strengthening of reinforced concrete elements. Additionally, in this investigation, a numerical analysis of the behavior of the reinforced concrete elements strengthened with FRCM composite materials subjected to flexion and compression was performed, and the results were compared with those experimentally obtained from the samples built and reinforced with the considered FRCM systems in the Laboratory of Quality Control of Materials of the UNACH.

Keywords: FRCM system, experimental tests, beams, columns

Isabel Escudero

Reviewed by: Escudero, Isabel
LANGUAGE CENTER TEACHER



INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción mediante experiencia en obras de diferentes envergaduras informan de atrasos o sobrecostos que se incurren en la etapa de obra gris, debido a demoliciones de elementos estructurales, entre costo se ve reflejado directamente en el presupuesto e impactando en la utilidad de la empresa constructor al igual de los plazos de entrega. Las estructuras se diseñan de acuerdo a la normalización vigente en el Ecuador, para que cumplan con una serie de características y requisitos como lo son resistencia, factores de seguridad, calidad de los materiales, funcionalidad, capacidad, vida útil, los cuales deben ser tomados en cuenta y aplicados a la hora de la construcción para obtener un resultado de calidad; sin embargo en muchas ocasiones por falta de experiencia de la mano de obra, inspectores, fiscalizadores e ingenieros, un uso incorrecto del equipo técnico o herramientas, no se cumplen las directrices y conlleva a que el elemento estructural presente deficiencias.

En el concreto esta deficiencia se hace evidente en la resistencia del mismo por mala dosificación, tiempo erróneo de batido, o por añadir más agua a la mezcla, uso de materiales de baja calidad, concreto vertido de manera incorrecta, falta de capacitación de la mano de obra en la tarea de vibrado, entre otras. En el acero, la causa más común es la falta del mismo, por una indebida instalación de la armadura o porque el acero colocado es de un diámetro o grado estructural menor al indicado en planos.

Otra manera de determinar la falta de resistencia en el concreto es por medio de las pruebas de laboratorio, las mismas pueden ser tomadas antes de realizar el vertido del concreto a los encofrados, llevando estas muestras al laboratorio para determinar la capacidad y características del concreto. Si el concreto por el contrario ya fue fundido y cumplió con su tiempo de fraguado, la prueba más común que se pueden utilizar es la extracción de núcleos, que consiste en retirar del elemento una muestra para ser analizada y comprobar su resistencia.

Debido a estas situaciones de presencia de defectos en las estructuras de concreto fueron creados los sistemas de reforzamiento como el FRCM a base de una matriz cementicia, FRP, Chapas Metálicas, Sistemas contenedores entre otros. Para minimizar este problema se propone los sistemas compuestos FRCM a base de tejido de fibras de cabuya y vidrio para el fortalecimiento de columnas y vigas de concreto reforzado, que ayude a los ingenieros como una herramienta para resolver casos típicos en estructuras de concreto.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.- MARCO TEÓRICO.

1.1.2.- Materiales Compuestos.

En el presente, la industria de la construcción e ingeniería ha empezado a conocer las bondades y ventajas de nuevos materiales estructurales de naturaleza sintética, provenientes de procesos químicos sofisticados; hoy en día conocidos como materiales compuestos. Dichos materiales en un principio solo eran usados como materiales arquitectónicos o decorativos, pasando después a tener aplicaciones estructurales en construcción, en aeronáutica y posteriormente aplicaciones de reparación tanto estructural como estético, llegando a ser conocidos estos materiales como compuestos estructurales. Recuero (1997) afirma que:

Es cada vez más evidente la aplicación de materiales compuestos desde la última década, ya que tiempo atrás, su aplicación era prácticamente inexistente. Las ventajas de los materiales compuestos se hicieron cada vez más evidentes al empezar a utilizarlos en diversas construcciones sometidas a las acciones de ambientes agresivos, plataformas marinas, depósitos, anclajes al terreno, construcciones no conductivas y no magnéticas, refuerzos de estructuras, armaduras pasivas, armaduras activas, cables, recubrimiento de túneles y pasarelas. (Recuero, 1997, p. 07)

Para poder entender y predecir hasta cierto punto el comportamiento de los materiales compuestos, es necesario conocerlos un poco más, tanto en las características de los materiales como en el comportamiento de estos durante su proceso de aplicación, sin necesidad de entrar necesariamente en aspectos muy complejos de ingeniería química. (Recuero, 1997, p. 08)

1.1.3.- Concepto de Materiales Compuestos.

Un compuesto estructural es un sistema material consistente de dos o más fases en una escala microscópica, cuyo comportamiento mecánico y propiedades están diseñados para ser superiores a aquellos materiales que los constituyen cuando actúan independientemente. Una de las fases es usualmente discontinua, conocida como fibra, la cual es un material rígido y otra fase débil en continuo que es conocida como matriz. “Las propiedades del material compuesto dependen de las propiedades de los elementos, geometría y distribución de las fases. Uno de los parámetros más importantes es la fracción en volumen o en peso de fibras en el material compuesto. La distribución del refuerzo determina la homogeneidad o uniformidad del sistema del material. Lo más no uniforme es la distribución del refuerzo, lo más heterogéneo causara una alta probabilidad de falla en las áreas débiles. La geometría y orientación del refuerzo afecta la anisotropía del sistema” (Recuero, 1997, p. 11).

Las fases del sistema compuesto tienen diferentes funciones que dependen del tipo y aplicación del material compuesto. En el caso de un material compuesto de bajo o medio comportamiento, el refuerzo es usualmente en forma de fibras cortas o partículas, proporcionando alguna rigidez, pero solo frente a esfuerzos locales del material. La matriz en cierta forma es el principal elemento que soporta cargas gobernando las propiedades mecánicas del material. En el caso de compuestos estructurales de alto comportamiento, son usualmente reforzados con fibra continua, la cual es la columna vertebral del material que determina la rigidez y refuerzo en la dirección de la fibra y los esfuerzos locales se transfieren de una fibra a otra. La interface a pesar de su corto tamaño, puede jugar un importante rol en controlar el mecanismo de fractura y en conjunto el comportamiento, esfuerzo – deformación del material.

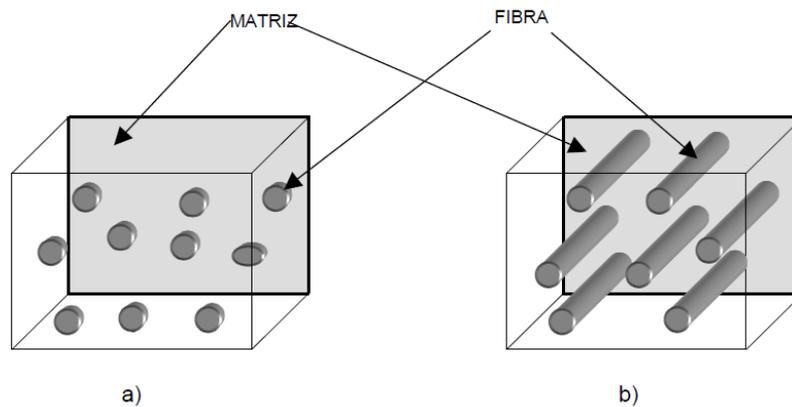


Figura 1 Material Compuesto (a.- compuestos reforzados con partículas; b.- compuestos reforzados con fibras).
Fuente: Recuero 1997.

Una de las ventajas más importantes de los materiales compuestos es, que el alto coste materias primas se compensa con el bajo coste de equipamiento y mano de obra en el proceso de preparación, ensamblado y aplicación de los materiales compuestos directamente en los elementos de hormigón que se pretenda reforzar o reparar según el caso.

Los materiales compuestos son el resultado de la combinación de materiales básicos en nueva materia, sistemas que tienen propiedades mejoradas sobre los materiales constituyentes. Por esta razón la investigación de resultados novedosos, materiales compuestos en los avances en la capacidad del ingeniero entregar diseños mejorados de productos. En Ingeniería Civil, el avance de la alternativa, materiales y métodos para la rehabilitación estructural es de importancia crítica para la seguridad y conservación del patrimonio habitable del mundo. (Recuero, 1997, pp. 12-13)

Matriz de cemento reforzado con tela (FRCM) sistemas compuestos se diferencian a sí mismos por polímero reforzado con fibra (FRP) sistemas compuestos en que la matriz es frágil, exhibiendo así un comportamiento mecánico más complejo. FRCM es un nuevo sistema, el desarrollo de materiales compuestos de cemento diseñados específicamente para la reparación estructural y la industria de la rehabilitación. La definición y la realización de la prueba mecánica necesaria para determinar los

parámetros de los materiales que se utilizarán para el diseño es de primordial importancia para la aceptación de nuevos materiales por los códigos de construcción, por otra parte experimental, basan pruebas de aceptación, reunir criterios de requisitos es necesaria para el lanzamiento innovador, materiales comercialmente, por tanto, se identificó la necesidad de la investigación para cerrar la brecha entre modelos teóricos y los parámetros de los materiales necesarios para la aceptación y el diseño de código métodos para la adaptación al terreno.

El objetivo es dar a sistemas compuestos FRCM un contexto de qué pruebas experimentales y los resultados pueden ser mejor entendidos y dirigidos, basados en estudios experimentales relacionados entre sí. (Arboleda, 2014)

1.1.4.- Descripción de la Fibra.

Se pretende dar una breve descripción de las fibras como material de refuerzo con la finalidad de valorar las bondades y limitaciones de las fibras en las que nos ocuparemos en este trabajo. Recuero (1997) afirma que:

Existen otro tipo que son las fibras metálicas, aunque su aplicación está más enfocada al refuerzo del hormigón formando parte del mismo en forma homogénea. Respecto a los otros tipos de fibra se puede comentar que el vidrio es una de las fibras más extendidas para el refuerzo plástico, siendo la de más bajo precio, y por otra parte, las fibras de carbono y fibras orgánicas son muy consistentes y de baja densidad, por lo que tienen múltiples aplicaciones. (Recuero, 1997, p. 09)

1.1.5.- Fibras de Vidrio.

Las fibras de vidrio se usan para reforzar matrices plásticas y así formar compuestos estructurados y productos moldeados. El vidrio es con mucho, la fibra más utilizada, siendo a la vez la de menor costo. Los materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio tienen las siguientes características favorables: buena relación resistencia/peso, buena estabilidad dimensional, buena resistencia al calor, al frío, a la humedad y a la corrosión y buenas propiedades aislantes eléctricas. Las dos clases más importantes de vidrios usados para fabricar fibras para materiales compuestos son los vidrios E (eléctricos) y vidrios S (de alta resistencia).

Los vidrios E son los más utilizados en la fabricación de fibras continuas. Básicamente el vidrio E es un vidrio de boro silicato de calcio o aluminio con muy bajo o nulo contenido de potasio y sodio. El vidrio E no modificado tiene una resistencia a la tracción de 3.44 GPa y módulo de elasticidad de 72.3 GPa.

El vidrio S tiene una relación resistencia/peso más alta y son más caros que los vidrios E. Estos vidrios se utilizan principalmente en aplicaciones militares y aeroespaciales. Su resistencia a la tracción está sobre los 4.48 GPa, y posee un módulo de elasticidad sobre los 85.4 GPa. El diámetro de las fibras comerciales de vidrio E está entre 8 y 15 μm , siendo con frecuencia de 11 μm . (Recuero, 1997, pp. 18-19)

La resistencia y el módulo elástico del vidrio están determinados en un principio por la estructura tridimensional de los óxidos constituyentes, a diferencia de las fibras de carbono y kevlar 49, las propiedades de la fibra de vidrio son isotrópicas, de forma que, por ejemplo, el módulo de Young a lo largo del eje de la fibra es el mismo que transversalmente al eje. Esto es consecuencia directa de la estructura tridimensional de la red del vidrio.

El factor más importante que determina la resistencia a la rotura del vidrio es el daño que las fibras experimentan cuando rozan entre sí durante las operaciones del proceso. El deterioro mecánico se produce en forma de pequeñas grietas superficiales. Los efectos de las grietas pueden minimizarse o eliminarse por un ataque corrosivo de la superficie. (Smith, 1998)

1.1.6.- Método de Fabricación de las Fibras de Vidrio.

En el Vidrio el componente que otorga a la fibra de vidrio su poder de Alkali-Resistencia es el Circonio (Zr). (Follis, 2002)

Los principales componentes de este vidrio son:

- a. Oxido de Circonio $ZrO_2 \geq 15\%$
- b. Sílice SiO_2
- c. Alúmina Al_2O_3
- d. Oxido de Sodio Na_2O
- e. Oxido de Titanio TiO_2
- f. Oxido de Calcio CaO

El proceso de fabricación de la fibra sigue las siguientes etapas:

1.1.6.1.- Composición y Fusión.

Las materias primas, finamente molidas, se dosifican con precisión y se mezclan de forma homogénea. A continuación la mezcla, llamada vitrificable, es introducida en un horno de fusión directa y calentada a una temperatura determinada. Las temperaturas de fusión rondan los $1550\text{ }^\circ\text{C}$ y estas dependerán de los elementos constituyentes del vidrio (fundentes, formadores de red, etc...).

Estas condiciones imponen a la hora de la construcción del horno la utilización de refractarios de características específicas a base de óxidos de circonio y cromo, de costo muy elevado. (Recuero, 1997, p. 37)

1.1.6.2.- Fibrado.

El vidrio en estado fundido, al salir del horno, es conducido por unos canales alimentando las Hileras de Fabricación de fibras. Estas hileras son elementos fabricados con aleaciones de Platino, de forma prismática y con una base trabajada con un número determinado de agujeros de dimensiones controladas. La distribución y diseño de los agujeros es tal que permiten y facilitan el fibrado del vidrio.

El vidrio fundido se mantiene en la hilera a unos 1250°C, temperatura que permite su colada por gravedad, dando origen a barras de vidrio de algunas décimas de milímetro de diámetro. El calentamiento de las hileras para este proceso se realiza por efecto Joule, con una corriente de seguridad (bajo voltaje y gran amperaje). A la salida de la hilera, el vidrio se estira a gran velocidad, entre 10 y 60m/s según el diámetro a obtener. (Recuero, 1997, p. 38)

El enfriamiento se realiza en una primera fase por radiación y en una segunda por pulverización de agua fría. De esta forma se logra la no orientación de las partículas en el espacio y por lo tanto la formación de este sólido amorfo que es el vidrio.

El vidrio obtenido tras este proceso tiene forma de filamento de varias micras de diámetro. Los diámetros normales de filamentos oscilan entre las 14 y las 20 μ según el producto y la aplicación a la que se dirija.

1.1.6.3.- Ensimado.

El conjunto de filamentos desnudos, tal y como salen de la hilera, son inutilizables directamente, ya que no hay cohesión entre ellos, no resisten la abrasión, carecen de flexibilidad y trabajabilidad, etc.

Para corregir estos efectos y dar nuevas propiedades a la fibra es necesario revestir los filamentos con una fina película (ensimaje) que está constituida en general por una dispersión acuosa de diversos compuestos químicos que presentan una función bien definida. El ensimaje se deposita sobre los filamentos a la salida de la hilera cuando la temperatura del vidrio está todavía comprendida entre los 60 y 120 °C, según las condiciones de fibrado. (Recuero, 1997, p. 39)

La cantidad de ensimaje que se deposita sobre el vidrio es relativamente baja (entre el 0,5 y el 5 %).

Luego de la ensimación se procede a la unión de los filamentos para formar los hilos o conjunto de filamentos dispuestos en formato comercial. La unión de los filamentos se realiza mediante unos “peines” con gargantas especiales en los cuales se produce la unión facilitada por el ensimaje.

Es este proceso el que otorgará al filamento y al hilo las características especiales que:

1. Le hará apto ante una aplicación específica.
2. Dará cohesión entre filamentos.
3. Dará resistencia frente a la abrasión que el filamento pueda sufrir consigo mismo, con otros filamentos o con otras superficies.
4. Elimina cargas electrostáticas en los filamentos o unión de los mismos.
5. Facilita la trabajabilidad del filamento y su transformación.
6. Rigidiza en mayor o menor medida la unión de los filamentos o hilos.

Existen ensimajes especiales para:

1. Resistir la abrasión que supone el amasado de la fibra en un medio extremadamente agresivo como es el de la mezcla con arena, cemento, agua y aditivos químicos.
2. Facilitar su corte y proyección en una pistola especialmente diseñada para estos procesos de transformación de la fibra.
3. Facilitar la dispersión de los filamentos, esto es, facilitar la desunión entre filamentos.

1.1.6.4.- Bobinado.

Los hilos obtenidos de la unión de los filamentos son bobinados para dar lugar a productos finales o productos intermedios, que se bobinan según diferentes formas y geometrías. En este proceso se controlará la velocidad del estirado de las fibras (Recuero, 1997).

1.1.6.5.- Secado.

Los productos procedentes del bobinado se pasan por diferentes dispositivos de secado con objeto de eliminar el exceso de agua en el que había disuelto el ensimaje y otorgar al ensimaje un tratamiento térmico necesario para consolidar sus propiedades frente a las aplicaciones a las que será sometido (Recuero, 1997).

1.1.6.6.- Transformación final.

Aquí se realizarán las operaciones necesarias para conferir al hilo el formato adecuado para la correcta utilización por parte de los fabricantes de GRC. De esta forma las presentaciones comerciales actuales del vidrio son:

- **Roving Ensamblado:** Este se obtiene de la unión de un número determinado de hilos, procedentes de ovillos, formando una “mecha”. La medida física de un hilo, y por extensión de una mecha, viene reflejada por el llamado “título” con unidades denominadas TEX. Así $TEX = \text{gr/km}$ que presenta un hilo o una mecha.

Para los Rovings Ensamblados la unidad en TEX habitual de la mecha es de 2450 Tex. Estando formada, en algunos productos u a modo de ejemplo, por 32 hilos de 76,5 tex/hilo o por 64 hilos de 38 tex/hilo (Recuero, 1997).

Todos los rovings tendrán en común el mismo vidrio y se diferencian por el ensimaje. Los rovings van destinados a aplicaciones de proyección simultánea y a procesos de refuerzo con hilos continuos y/o cortados (Recuero, 1997).

- **Hilos cortados:** Los hilos procedentes de los ovillos son, en este caso, cortados en longitudes determinadas, según lo exija la aplicación a la que vayan destinados. Estos se utilizan en procesos de amasado y aplicación por medio del colado-vibrado tradicional o por el de proyección de la mezcla realizada (Recuero, 1997).

Dentro de la gama de los hilos cortados tenemos dos grandes familias:

1. *Los hilos cortados íntegros:* Hilos que son capaces de aguantar grandes abrasiones durante el amasado con aglomerantes hidráulicos, arenas, gravas, agua y aditivos químicos, manteniéndose en forma íntegra durante y tras el amasado realizado.
2. *Los hilos cortados dispersables en agua:* Hilos que son capaces de dispersarse o dividirse en filamentos individuales que lo forman, durante el proceso de amasado o en contacto con agua o disolución acuosa.

Estos se utilizan en mercados de sustitución del amianto y en mercados en que por su gran resistencia frente al ataque químico, los emplean en la realización de diferentes elementos sin adición de aglomerantes hidráulicos.

1.1.6.7.- Malla.

Es un tipo de tejido fabricado a partir de mechas de roving directo de igual o diferentes títulos (tex) en trama y urdimbre, tejidos de manera simple o tejidos y tratados con ensimajes de diferentes características según se quieran conseguir unos tipos u otros de protecciones en la transformación de la malla o para la mejora de su trabajabilidad (Follis, 2002).

De esta forma podemos encontrarnos con distintas mallas, las que se diferencian por sus armaduras:

- **Mallas Unidireccionales:** en las que el número de hilos es netamente más elevado en un sentido que en otro. En este apartado dispondríamos de mallas. Unidireccionales en sentido trama y en sentido Urdimbre. Normalmente los hilos vendrán colocados en paralelo y unidos entre ellos.
- **Mallas Bidireccionales:** equilibradas o compensadas en las que el refuerzo tanto en número de hilos como en disposición dentro de la malla está compensada y es idéntico en trama y en urdimbre.

1.1.7.- Fabricación de GRC.

1.1.7.1.- Elementos constituyentes.

La matriz del GRC es, normalmente mortero de Cemento Portland y arena silícica, amasado con una proporción controlada de agua y aditivos. La fibra de vidrio se

agrega en proporciones controladas, determinadas por la aplicación y la resistencia a otorgar a las piezas de GRC (Recuero, 1997).

A continuación tenemos una lista de los componentes más usuales de un GRC:

- a. Cemento
- b. Arena
- c. Agua
- d. Fibra de Vidrio A.R.
- e. Aditivos: Plastificantes, Fluidificantes, Superplastificantes, Pigmentos, Impermeabilizantes, Hidrófugos, Polímeros, elementos puzolánicos especiales, etc.

1.1.7.2.- Proporciones de los materiales constituyentes.

La dosificación estándar es la siguiente:

- a. Relación Arena/Cemento → 1:1
- b. Relación Agua/Cemento → entre 0.3 y 0.35
- c. Superplastificante o fluidificante → Aprox. 1% del peso del cemento.

La cantidad de fibra de vidrio dependerá:

Del proceso de fabricación del GRC: Dependiendo del proceso de fabricación del GRC tendremos variaciones en la cantidad de fibra añadida. Esto es, si nuestro proceso es el de Proyección Simultánea (uso de la fibra en forma de roving) la cantidad de Fibra será del 5% en peso total de la mezcla realizada para la fabricación del GRC (Follis, 2002).

Por el contrario, si en nuestro proceso de fabricación hemos de incorporar la fibra de vidrio durante el proceso de amasado del mortero (premezcla o premix) la proporción será del 3% del total de la mezcla realizada.

De la aplicación: Las Fibras de Vidrio pueden ser incorporadas entre el 0.1% y el 5% en peso. Cuando la proporción es baja, las fibras minimizan la segregación de materiales y evitan las microfisuraciones de las piezas fabricadas con cemento, aumentando la dureza y la resistencia a los choques.

Cuando las proporciones se presentan entre el 1% y el 2%, las fibras son ideales para mezclas armadas, reduciendo la densidad de productos de hormigón. Cuando la proporción está entre el 2% y el 3,5% las fibras sirven de refuerzo primario en productos realizados por moldeo y vibración de bajo costo. Cuando la proporción es de un 5% se utilizan las fibras para las aplicaciones que exigen una gran resistencia, tales como los paneles de fachada arquitectónicos.

La resistencia a otorgar al GRC: La cantidad de Vidrio en forma de fibras es muy importante desde el punto de vista de la resistencia que presenta el elemento compuesto GRC, pero también es importante tener en cuenta la longitud de las fibras para la consecución de unos adecuados niveles de resistencia.

La longitud de la fibra dependerá en gran medida del proceso de fabricación, ya que por ejemplo en procesos de pre mezcla una fibra muy larga puede darnos problemas de amasado y de destrucción de la fibra por abrasión en su superficie, para estos procesos las longitudes ideales oscilan entre los 6 y 24mm, presentando sus mayores prestaciones a los 12 mm. Para procesos de proyección simultánea (utilización de roving) las longitudes ideales oscilan entre los 30 y los 45 mm. Veamos en una tabla las dosificaciones más comunes para la realización de un GRC:

Tabla 1 Proporciones en kg de los elementos.

Elemento	Proyección	Premezclada
	GRC	GRC
Cemento Portland	100	100
Arena	100	100
Agua	35	35
Superplastificante	1	1
Fibras	12,5	12,5

Fuente: Recuero 1997.

1.1.7.3.- Procesos de fabricación de un GRC.

Procesos de proyección simultánea: Es un proceso de fabricación mediante el cual obtendremos piezas de GRC reforzadas de forma bidireccional (en el plano). La fabricación consistirá en la proyección de capas que posteriormente se irán compactando entre sí hasta formar el espesor total de la lámina o panel de GRC (normalmente entre 10 y 15mm).

1.1.8.- Las Fibras de Vidrio en el Hormigón.

El empleo de las fibras, resistentes a los álcalis, en morteros de cemento ha aumentado firme y progresivamente desde hace ya más de 30 años pero, por el contrario, se ha presentado relativamente poca atención a su uso en mezclas de hormigón convencionales y a los grandes beneficios que a estas pueden aportar.

Las fibras de vidrio presentan un módulo elástico muy superior al de la mayoría de las fibras orgánicas, como las de polipropileno, pero menor que el del acero. Todas estas fibras (inorgánicas, orgánicas y metálicas) han sido estudiadas con profundidad, pero en el caso de las fibras de vidrio las publicaciones editadas han sido muy escasas lo que ha conllevado un menor conocimiento de su empleo, hasta de su existencia, entre los diseñadores, prescriptores, especificadores y fabricantes tanto de hormigón preparado como de hormigón para piezas prefabricadas en general. (Recuero, 1997, p. 44)

Una de las propiedades fundamentales de las fibras utilizadas para reforzarlos cementos, morteros y concretos es el modulo elástico. A 72 GN/m^2 , el modulo del vidrio se encuentra entre el del acero y el del polipropileno, productos ambos utilizados en el hormigón. Dada la extensa gama de productos de fibra de vidrio aplicado en el refuerzo del hormigón se eligen 2 tipos de la misma:

1.1.8.1.- Fibras de Vidrio de Alta Integridad.

Fibras de vidrio en forma de hilos cortados de alta integridad.

Hilos cortados de 150 filamentos aprox. De 14 micras de diámetro.

Longitud más eficiente de este hilo: 12mm

Dosificación mínima de 0,9 a 10 kg/m³ (según diseño del concreto)

1.1.8.2.- Fibras de Vidrio Dispersables en Agua.

Fibras de vidrio en forma de hilos cortados dispersables en agua.

Filamentos de 14 micras de diámetro.

Longitud más eficiente de este hilo: 12mm

Dosificación mínima de 0,6 kg/m³.

Cada una de las fibras de vidrio se presenta comercialmente en forma de hilo cortado. Estos hilos están compuestos por un número determinado de filamentos unidos entre sí por un ligante (ensimaje) que conforma un haz llamado comercialmente hilo cortado. Recuero (1997) afirma que:

Tanto el número de filamentos del que se compone cada hilo así como el diámetro de los mismos y el ligante utilizado van a otorgar diferentes propiedades al producto y, por lo tanto, al hormigón al que sean incorporadas. Además de estas características propias o intrínsecas de las fibras de vidrio, otros parámetros como son la dosificación (cant. de fibras por m²) y la longitud de los hilos cortados van a intervenir de forma notable en el refuerzo del hormigón y en las prestaciones del mismo. (Recuero, 1997, p. 75)

1.1.9.- Fibras Naturales.

Un composite (material compuesto), es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

Los biocomposites son materiales compuestos en los que una o más fases pueden ser de origen biológico. Los refuerzos pueden ser fibras naturales como el algodón, el lino, el cáñamo o fibras procedentes del reciclado de la madera o del papel o incluso subproductos procedentes de cultivos agrícolas. Las matrices pueden ser polímeros de origen renovable como los aceites vegetales o almidones (Turmero, 2008).

Estos componentes pueden ser de dos tipos: los de cohesión y los de refuerzo. Los componentes de cohesión envuelven y unen los componentes de refuerzo (o simplemente refuerzos) manteniendo la rigidez y la posición de éstos. Los refuerzos confieren unas propiedades físicas al conjunto tal que mejoran las propiedades de cohesión y rigidez. Así, esta combinación de materiales le da al compuesto unas propiedades mecánicas notablemente superiores a las materias primas del que procede (Turmero, 2008).

Las fibras naturales cuentan con una serie de propiedades que las convierten en una excelente alternativa para ser utilizadas como refuerzo en materiales compuestos con matriz polimérica (Turmero, 2008).

Estas fibras se caracterizan por:

- a. Ser un recurso renovable y biodegradable, por lo tanto su impacto ambiental es bajo.
- b. Tener un costo considerablemente bajo comparado con otras fibras de ingeniería como el Kevlar o la fibra de vidrio.
- c. Tener bajo peso.

- d. Tienen buen desempeño como aislante térmico y acústico.
- e. Presentar alta resistencia a la tensión.

1.1.10.- Fibra de Cabuya.

La cabuya es una planta nativa del Ecuador que se encuentra a lo largo del callejón interandino generalmente formando linderos. Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*). Simbaña (2006) afirma que:

Es una planta que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los Andes, la misma que pertenece a la familia de las Agaváceas. Está ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador. Se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra, así como también se la siembra como cerca viva. Se trata de una planta arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros (Simbaña, 2006).

1.1.11.- Propiedades y Aplicaciones de la Fibra de Cabuya.

Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, en especial la cabuya que además es liviana y tiene una densidad de 1.3 g/cm³. Esto las hace atractiva para diferentes industrias, ya que se puede obtener un interesante ahorro de energía debido a su contextura liviana y combinada con la resistencia a la tracción (Simbaña, 2006).

La gran resistencia de la fibra de cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas que se observa en la tabla:

Tabla 2 Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas.

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Cabuya	1,3	305,15	7,5	4,96	---
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 - 1,8	12
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 - 22,0	2,0 - 2,5	---
Algodón	1,5	393 - 773	27,6	7 - 8	8 - 25
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Vidrio – S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	---
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 - 67	3,3 - 3,7	---
Carbono	1,4	4000	230 - 240	1,4 - 1,8	---

Fuente: Simbaña 2006.

Tabla 3 Composición química de las diferentes fibras naturales.

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)	Pentosas (% peso)
Cabuya	62,7	---	15,5	17,7
Yute	61 - 71	13 - 20	8,1 - 13	---
Coco	32 - 43	0,15 - 0,25	40 - 45	---
Abacá	63 - 70	20 - 21	5 - 6	---
Sisal	67 - 78	10 - 14	18 - 14	---
Banana	63 - 64	10	5	---
Algodón	82 - 93	3 - 6	---	---
Bambú	35 - 61	15	27 - 32	---
Kenaf	45 - 57	21	8 - 13	---
Ramio	68 - 76	13 - 16	0,6 - 0,7	---
Formio	71,3	---	---	---
Lino	71,2	18 - 20	2,2	---
Cáñamo	70 - 75	17 - 22	3,7 - 5,7	---

Fuente: Simbaña 2006.

La fibra de cabuya no es solo comercializada por sus buenas propiedades mecánicas, sino también por el aspecto agradable que ofrece a la vista del ser humano. Su color, textura natural y otra serie de características físicas son de gran interés en el mercado local (Simbaña, 2006).

Tabla 4 Características físicas de la fibra de cabuya.

Característica	Valor
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción color	Superficial
Absorción humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efecto ante los álcalis	Resistente
Efectos ante los ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efecto de los oxidantes	Variable

Fuente: Simbaña 2006.

La fibra de cabuya sería entonces una buena opción para la fabricación de materiales compuestos, debido a sus buenas propiedades mecánicas y su alto porcentaje de celulosa contribuiría a mejorar la resistencia mecánica del poliéster que es la matriz termoestable más utilizada en el Ecuador (Simbaña, 2006).

Desde hace cientos de años se aprovechado sus hojas para obtener de ellas la fibra textil, debido a su resistencia, durabilidad y consistencia áspera.

1.1.12.- Tejido de Cabuya.

La artesanía en telar manual es el oficio en el cual, mediante el manejo de hilos flexibles de diferentes calibres se obtiene una gran variedad de tejidos.

Los hilos usados para tejer deben ser procesados, para a través del entrecruzamiento ordenado, sencillo o combinado, con trama y urdimbre, desarrollar toda la gama de tejidos existentes en el mercado. Una vez que el tejido ha sido desarrollado es enrollado para continuar con los procesos de empaquetamiento y comercialización.

Existe una amplia gama de tejidos, siendo el más sencillo el tejido plano. 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 pasará 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 pasarán 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. (Simbaña, 2006)

1.1.13.- Fibra de Cabuya en Ecuador.

El plástico ganó la batalla a las fibras naturales, pero ahora estas últimas le han declarado la guerra, porque sus cualidades empiezan a romper fronteras.

En Ibarra que es una zona rica en vegetación en donde la producción de cabuya es una de las más grandes del país. En ese lugar 50 manos, 25 mentes y una sola meta trabajan a diario para transformar a la planta en artesanías y tejidos (Simbaña, 2006).

El proceso inicia con el corte de la fibra cuando su hoja alcanzó un metro de longitud, después pasa a la máquina desfibradora en donde se separa la fibra del resto de componentes (Simbaña, 2006).

Pero años antes, cuando la tecnología no llegaba a Ibarra, la forma de extraer la cabuya era a través de la maceración. Colocaban las hojas en grandes tanques de agua y gracias a la descomposición de la sabia la fibra salía a flote después de 15 días. Sin embargo, los procesos de extracción de cabuya aún no son muy

sistematizados y allí es donde aparece la misión de la Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra (Simbaña, 2006).

Ahora, gracias a la capacitación y nuevas formas de trabajo la fibra en Ibarra ya no es la misma porque hoy los agricultores buscan el valor agregado.

Andrés Simbaña (2006) afirma que:

Coordinador del proyecto, los procesos de extracción de la cabuya todavía son complicados y por lo tanto su precio aún no es económico es ahí donde los detalles complementarios logran mejorar la producción porque las artesanías en cabuya pueden alcanzar y superar el precio de un kilo del material. “Todo es cuestión de creatividad e imaginación”, dijo Andrés. Sin embargo, la habilidad debe ir mejorando a diario en los campesinos que estaban acostumbrados sólo a extraer la fibra y no a trabajar en ella. Por eso aún el tejido de la fibra no alcanza los parámetros establecidos pero con el tiempo lo están logrando. Nuevos proyectos. (Simbaña, 2006, p.78)

La fibra tiene que pasar por un proceso de lavado y los campesinos suelen hacerlo en el río, pero la cabuya tiene componentes químicos altamente contaminantes por lo que las aguas del río son seriamente afectadas.

Pero estos componentes pueden ser útiles si son tratados de forma adecuada porque a pesar de que de las hojas de la planta sólo se extrae la fibra, todos los elementos de ella son útiles.

Con los componentes químicos de la cabuya se puede realizar detergente o medicamentos antiinflamatorios. Hacia allá apunta la Universidad porque quieren invertir en procesos para extraer al máximo las utilidades de la fibra a través de estudios que logren hacerlo.

Pero el financiamiento es un factor limitante, porque hasta el momento el dinero que debieron recibir del Gobierno como parte del apoyo del Estado a las nuevas tecnologías y avances científicos no llega. Sin embargo, esto no desmotiva a los miembros de la Universidad porque continúan el trabajo en Ibarra, pues quieren que la asociación de trabajadores se convierta en una empresa constituida.

Por ello, capacitan en los procesos de extracción y también las propuestas económicas para expandir las expectativas de los campesinos porque, según Andrés Simbaña, las fibras naturales están de moda porque si bien desaparecieron con la llegada del plástico ahora regresan por su durabilidad pero sobre todo, porque no son agresivas con el ambiente como otros materiales.

La cabuya tiene su origen en la América Tropical, sobretodo, en las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, donde prevalecen condiciones tropicales durante casi todo el año.

En sus orígenes, la cabuya crecía casi de manera espontánea y los habitantes de estas regiones la desfibaban para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas para sus labores domésticas, igualmente sus subproductos eran utilizados con fines medicinales.

La cabuya está posesionándose en el mercado después de que fue desplazada hace 30 años por el plástico.

1.1.14.- Usos de la Cabuya.

La cabuya no sólo sirve para hacer empaques, pues también se la usa como protección y nutriente de cultivos, refuerzo de materiales para construcción y como cuerdas para cercar sembríos. Es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono. Además, no contamina el agua y permite hacer

producción limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como económicas. (Simbaña, 2006, p. 47)

1.1.14.1.- Proceso de Tejeduría.

En la actualidad se ha podido observar que las fibras naturales ocupan mercados importantes a nivel mundial, esto gracias a la diversificación de productos realizados en telares, por tal razón ponemos a manifiesto a todas las personas que puedan hacer uso de los procesos técnicos, que a continuación detallamos, como también de los diversos diseños de productos elaborados en forma artesanal tanto en telares como en agujetas, agujones y con la técnica de macramé. (Simbaña, 2006)

1.1.14.2.- Urdido.

El objetivo del urdido es el de reunir, una gran cantidad de hilos individuales en un plegador o enjullo adecuado al telar y tejido a realizar. (González, 1965)

1.1.14.3.- Urdido artesanal.

El urdido artesanal es muy rudimentario y trabajoso, ya que el artesano encargado de esta operación inicia colocando de 20 a 30 carretos en una fileta ubicada en el suelo, de donde se toma las puntas de hilos de cada carrito y se las amarra en la urdidora de fajas, procediendo así a hacer girar con la mano, esta operación se realiza cuantas veces sea necesaria dependiendo la cantidad de hilo que conformaran el tejido, que por lo general es de 120 a 150 hilos delgados y de un solo cabo. (González, 1965)

Los hilos que ocupan la urdidora serán pasados en forma ordenada por un peine de clavos, que cumple la función de orientar los hilos que van a ser enrollados en el plegador, el enrollado se efectúa en sentido horario y en forma manual por medio de una manivela.

El ancho del plegador por lo general es de 1 metro debido a que su utilización es para la elaboración de costales. (González, 1965)

1.1.15.4.- Urdido industrial.

El urdido industrial tiene el mismo objetivo que el artesanal con la gran diferencia que este proceso no es manual y se controla los siguientes parámetros que detallaremos a continuación. (González, 1965)

En las fábricas que tienen el área de tejeduría tienen máquinas donde se produce propiamente el urdido de sistema directo que es similar al que se utiliza en el sistema algodonero.

Las partes principales de una urdidora son:

- a. filetas o bastidores de alimentación
- b. varillas niveladoras
- c. rastrillo
- d. peine
- e. varillas separadoras
- f. tambor
- g. plegador
- h. cuenta metros

Las filetas denominadas también bastidores son soportes donde se colocan las bobinas que alimentaran los hilos al urdidor, estos hilos se estiran y reúnen sobre

una varilla pasando por los clavos del peine y finalmente amarrados en el plegador, para proceder a enrollar el hilo. El ancho del plegador determinará el ancho del tejido y si el urdido es más ancho que el plegador dará lugar a orillos caídos o enterrados cuyos hilos se romperán y si el urdido es muy angosto los hilos de los extremos tenderán a romperse por su excesiva tensión. (González, 1965)

Los cilindros niveladores son de acero o de cristal colocados antes del rastrillo, tienen por objetivo colocar los hilos en un mismo nivel. El rastrillo es un peine con cuantos claros sean las bobinas, los hilos pasan en el orden que vienen desde las filetas.

Peine de cruce es más pequeño que el rastrillo y su objetivo es separar los hilos y facilitar el cruzamiento individual, como también determinar el ancho de la tela. (González, 1965)

Tambor puede ser de madera, hierro, fibra, aleaciones de cromo con níquel o zinc como también de cartón prensado; este ejerce una presión constante en todo el ancho del plegador.

En este tipo de urdidoras, la tensión, presión y velocidad es controlada por el movimiento sincronizado del mecanismo de enrollamiento.

1.1.15.5.- Canillado.

El canillado tiene como función principal el de enrollar en forma regular el hilo de trama en una bobina. (González, 1965)

1.1.15.6.- Canillado artesanal.

El canillado artesanal se realiza en una máquina muy sencilla, donde el artesano hace mover un mecanismo que gira y enrolla el hilo en una canilla de madera. (González, 1965)

1.1.15.7.- Canillado industrial.

Este tipo canillado persigue el mismo objetivo que el canillado artesanal, con la diferencia que trabaja con un motor, tensores automáticos y paros eléctricos que regulan la cantidad de hilo a enrollarse. (González, 1965)

En la actualidad los telares de lanzadera han sido sustituidos por los telares de pinzas lo mismos que no necesitan canillar, sino preparar el carrete que irá en el pre alimentador, este consta de un regulador electrónico encargado de alimentar una longitud determinada de hilo y con tensión constante, también dispone de un sistema de freno automático exacto que permite parar al momento de que se produzca una rotura y evitar fallas en el tejido. (González, 1965)

1.1.15.8.- Tejido.

El tejido es el género obtenido en forma de láminas más o menos resistente, elástica y flexible mediante el cruzamiento de una serie de hilos ya sea uno horizontal con otro vertical. (González, 1965)

El tejido plano es el entrelazamiento o cruzamiento de dos series de hilos; unos verticales que llamaremos URDIMBRE y otros horizontales que llamaremos TRAMA. (González, 1965)

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. (González, 1965)

1.1.15.9.- Características de los hilos.

Los hilos de urdimbre resisten elevadas tensiones originadas por la apertura de la calada por lo tanto los hilos de urdimbre son más fuertes, de mejor calidad y tienen mayor torsión. Mientras los hilos de trama pueden ser más decorativo o con alguna función especial. (González, 1965)

Para poder reconocer de un tejido los hilos de urdimbre y de trama debemos de basarnos en las siguientes características:

1. El orillo siempre corre a lo largo de la tela (dirección de la urdimbre).
2. La mayoría de las telas se estiran menos en la dirección de la urdimbre.
3. Los hilos de urdimbre son más rectos en la tela debido a que están sujetos a la tensión del telar; Presentan menos ondulaciones.
4. En un tejido normal la urdimbre tiene mayor densidad que la trama.

1.1.15.10.- Ligamento.

Se llama ligamento a la forma de entrelazarse los hilos con las pasadas. El ligamento se repite a todo lo largo y ancho del tejido. (González, 1965)

1.1.16.- Sistemas FRCM.

Sistemas FRCM consisten en fibras embebidas en una matriz cementosa. La función de las fibras es llevar a esfuerzos de tracción. En sistemas compuestos FRCM, las láminas de fibras o telas que se usan típicamente en FRP se reemplazan con mallas de tela abiertas en las que las mechas se ensamblan en al menos dos direcciones ortogonales (generalmente) por medio de tejido, tricotado, de formación de nudos, o trenzado. "Closed" tejidos de fibras no son adecuados porque

la matriz de cemento no puede penetrar e impregnar los filamentos de fibra. Sin embargo, la estructura abierta de las mallas de la tela proporciona una mayor área de interfaz de matriz de refuerzo que se necesita para lograr la acción compuesta entre la matriz y el sistema de refuerzo. Típicamente, las aberturas de la malla no excedan de 1.91cm. Las mechas son típicamente revestidas con resina para mejorar la unión a la matriz de mortero, mejorar la durabilidad a largo plazo y mejorar la transferencia de carga entre los filamentos de mecha. Las mallas de tela se hacen típicamente de carbono, vidrio resistente a los álcalis, basalto, fibras poliméricas (tales como poliparafenileno benzobisoxazol, PBO), o sistemas híbridos. (Tumialan, 2015)

La función de la matriz es para encapsular y proteger las fibras, y la transferencia de tensiones desde el sustrato de hormigón o mampostería a las fibras. Transferencia de estrés se lleva a cabo a través de la unión entre el sustrato y la matriz, y el enclavamiento mecánico entre el tejido y la matriz. La composición de la matriz cementosa es muy importante y crucial para el rendimiento del sistema de FRCM. El mortero debe ser no retráctil y viable, para ser aplicado fácilmente con una paleta y de penetrar en las aberturas de la malla de tela, y viscoso para aplicar sobre superficies verticales. Además, la tasa de pérdida de trabajabilidad del mortero debe ser baja para permitir múltiples capas de refuerzo. (Tumialan, 2015, pp. 45-46)

Ambos cementos hidráulicos y no hidráulicos pueden ser utilizados. Arenas finamente graduadas (tamaño de grano menor que 0,05cm) ayudar a mejorar la trabajabilidad de la mezcla fresca y la impregnación de la malla de tela. La relación de agua a cemento en peso varía típicamente entre 15% y 25%. La mezcla de mortero puede incluir fibras picadas para reducir el agrietamiento por contracción plástica. Los compuestos orgánicos también se pueden utilizar para controlar la velocidad de endurecimiento y la trabajabilidad de la mezcla fresca, para mejorar la unión a la malla de la tela, y para mejorar las propiedades mecánicas. Su contenido está generalmente limitado a ser inferior a 5% en peso de cemento para obtener una matriz a prueba de fuego. (Tumialan, 2015)

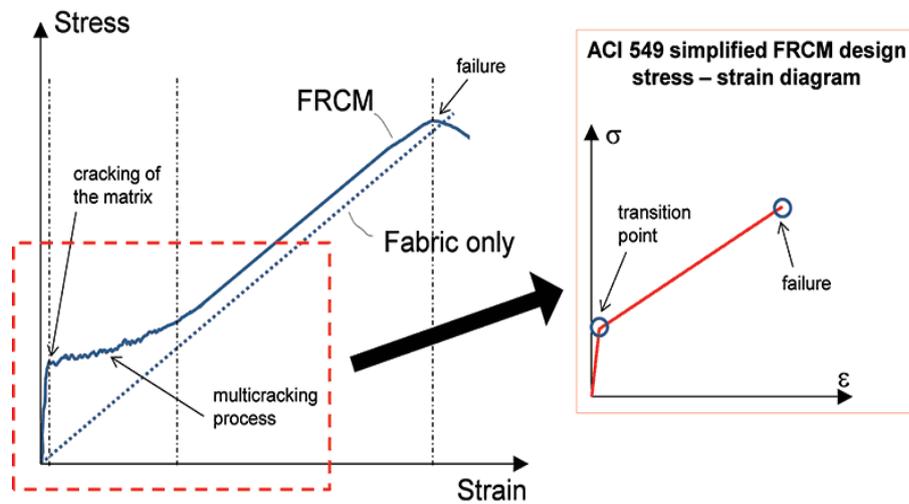


Figura 2 FRCM estrés diagrama de tensión.
Fuente: Tumialan 2015.

1.1.17.- Propiedades de los Materiales Compuestos FRCM.

1.1.17.1.- Propiedades Mecánicas.

El rendimiento de los sistemas FRCM es altamente dependiente de su resistencia a la tracción y la resistencia de la unión. El comportamiento a la tracción FRCM se puede diferenciar en tres fases (Figura 2). En la primera fase, la carga se realiza principalmente por la matriz cementosa hasta agrietamiento. En la segunda fase, la matriz se somete a un proceso de multicracking que resulta en la transferencia de tensiones de la tela de refuerzo a la matriz, con alguna pérdida de adherencia en la interface tejido-matriz. En la tercera fase, el sistema compuesto se comporta casi linealmente hasta el fallo se produce debido a la ruptura progresiva de los filamentos de fibras itinerantes y desunión de la tela de la matriz. En esta fase, la carga se realiza casi exclusivamente por el tejido. El módulo de elasticidad se ve influida por el contenido en volumen de fibras. (Tumialan, 2015)

Como comparación, FRP tiene una sola fase a la tracción comportamiento elástico lineal hasta el fallo. La mejor deformación por tracción en FRP está

limitada por la deformación última de las fibras. Las propiedades de tracción de FRCM no pueden generalizarse, y cada sistema debe ser evaluado individualmente. Sin embargo, el fallo de tracción generalmente se produce a un nivel de deformación de aproximadamente 50% de la máxima tensión de tracción del filamento de fibra. (Tumialan, 2015, pp. 49-50)

Tabla 5 Propiedades de filamentos típicos de telas disponibles en el mercado.

Fiber filament properties	Fiber types			
	AR-Glass	Basalt	Carbon	PBO
Ultimate tensile strength, ksi	180	380	550	852
Modulus of elasticity, ksi	10,500	12,500	33,800	39,600
Ultimate tensile strain	0.018	0.030	0.016	0.025

Fuente: ACI 549-4R, 2013.

La resistencia de la unión de FRCM para el material de sustrato es difícil de cuantificar, ya que depende del tipo de fibras, la fibra de tamaño, diseño de malla, composición de la matriz, las propiedades del sustrato, y la calidad de la preparación de la superficie. A diferencia de FRP, las fibras FRCM no están impregnadas; Por lo tanto, las pruebas de desprendimiento sobre sustratos de hormigón típicamente muestran el fracaso de la fractura en el refuerzo de tela o en la interfaz de la tela de matriz. (Arboleda, 2014)

1.1.17.2.- Propiedades físicas del sistema FRCM.

Sistemas FRCM ofrecen un mejor rendimiento a temperaturas elevadas, la humedad y la radiación ultravioleta que los sistemas de FRP. En contraste con FRP, FRCM es inherentemente no combustible y se puede utilizar sin protección. Combinado con su incombustibilidad y características no tóxicas, sistemas FRCM son una buena opción para el fortalecimiento de cuando se requiere resistencia a las altas temperaturas. (Arboleda, 2014)

1.1.17.3.- Durabilidad del sistema FRCM.

FRCM para aplicaciones de refuerzo estructural es un material relativamente nuevo. Los resultados de las pruebas de durabilidad aún está limitada. Sin embargo, basado en las pruebas disponibles, se espera que FRCM para superar algunos de los problemas que se encuentran típicamente en FRP porque la matriz cementosa se comporta mejor que la matriz polimérica en ambientes húmedos y químicamente agresivos. Por otra parte, los estudios de investigación han demostrado la longevidad de álcali-resistente de fibra (AR) de vidrio dentro de la matriz de cemento. (Arboleda, 2014)

1.1.18.- Aplicaciones en el Fortalecimiento Estructural.

Sistemas FRCM son una opción viable para el fortalecimiento a la flexión y al corte de elementos de hormigón y mampostería. En general, la fuerza aumenta en vigas de hormigón armado o losas y muros de mampostería no reforzadas con sistemas FRCM son comparables a los de los elementos similares reforzadas con FRP. Sin embargo, su comportamiento general es ligeramente diferente. En el caso de elementos reforzados-FRP, el fracaso es típicamente debido a la desunión desde el sustrato de hormigón o mampostería. Este tipo de rotura frágil por lo general no ocurre con elementos FRCM-reforzado, donde normalmente se producen fallos menos frágiles "descomprimir" debido a un deslizamiento progresivo de las fibras dentro de la matriz de cemento o delaminación en la interfase fibra-matriz. El deslizamiento de la fibra a través de una grieta de flexión o de cizalladura es causada por la pérdida gradual de unión entre las fibras y la matriz y/ o por la ruptura gradual de las fibras. Delaminación de fibra generalmente se produce cuando se utilizan múltiples capas de FRCM refuerzo y está precedida por gran resbalamiento de la fibra.

“Sistemas FRCM también se pueden utilizar para proporcionar confinamiento al hormigón columnas para aumentar su fuerza axial. La eficacia de FRCM es altamente dependiente del número de capas de confinamiento y de la resistencia a la tracción de la matriz cementosa, que determina si el comportamiento es controlado por des laminación de la tela dentro de la matriz o de fibra de ruptura. En este momento, la investigación limitada está disponible para evaluar la viabilidad de los sistemas FRCM para reforzamiento sísmico de columnas” (Arboleda, 2014, p. 68)

En el caso de refuerzo de mampostería, sistemas FRCM se pueden utilizar en paredes de mampostería de hormigón y arcilla. Matrices de cemento de FRCM son más compatibles con sustratos de albañilería. Elementos de mampostería son muchas veces sujetos a la exposición continua a la humedad migra a través del espesor de la pared. Matrices poliméricas de FRP pueden actuar como barreras termo higrométricas que pueden causar la humedad permanezca atrapada dentro de la fábrica y conducir a la pérdida de adherencia del material de refuerzo. La porosidad y la permeabilidad de vapor de matrices cementosas de FRCMs son similares al sustrato de mampostería y la humedad no quede atrapada dentro del sustrato de mampostería. (Arboleda, 2014)

1.1.18.1.- Ventajas FRCM.

1. Arenas finamente graduadas (tamaño de grano menor que 0,05cm) ayudan a mejorar la trabajabilidad de la mezcla fresca y la impregnación de la malla de tela. (Arboleda, 2014)
2. Los compuestos orgánicos también se pueden utilizar para controlar la velocidad de endurecimiento y la trabajabilidad de la mezcla fresca, para mejorar la unión a la malla de la tela, y para mejorar las propiedades mecánicas. (Arboleda, 2014)
3. Su contenido está generalmente limitado a ser inferior a 5% en peso de cemento para obtener una matriz a prueba de fuego.

4. Sistemas FRCM ofrecen un mejor rendimiento a temperaturas elevadas, la humedad y la radiación ultravioleta que los sistemas de FRP.
5. FRCM-reforzado, donde normalmente se producen fallos menos frágiles que por el sistema FRP.
6. Sistemas FRCM también se pueden utilizar para proporcionar confinamiento al hormigón columnas para aumentar su fuerza axial.
7. Los sistemas FRCM pueden ser aplicados en superficies húmedas.
8. Los sistemas FRCM permiten la evaporación y transpiración de agua.
9. Los sistemas FRCM son de fácil instalación.

1.1.18.2.- Desventajas FRCM.

- La resistencia de la unión de FRCM para el material de sustrato es difícil de cuantificar, ya que depende del tipo de fibras, la fibra de tamaño, diseño de malla, composición de la matriz, las propiedades del sustrato, y la calidad de la preparación de la superficie. (Arboleda, 2014)
- FRCM para aplicaciones de refuerzo estructural es un material relativamente nuevo. Los resultados de las pruebas de durabilidad aún está limitada. (Arboleda, 2014)
- Las fibras minerales para realizar el sistema FCRM tiene una limitada comercialización en el país.
- El sistema FRCM tiene dificultad para impregnar cada una de las fibras a diferencia de una resina polimérica usada en el sistema FRP.
- El sistema FRCM posee escasa documentación y códigos de diseño.

1.19.- Concreto.

1.19.1.- Definición.

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado, y agua después esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado grueso y conformar una masa sólida. Es necesario agregar agua, además de aquella que se requiere para la reacción química, con el fin de darle a la mezcla la trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido, antes de que inicie el endurecimiento. Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango aún más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporados de aire, micro sílice o cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor). (Romo, 2008)

Estas propiedades depende en gran medida de las proporciones de las mezcla, del cuidado con el cual se mezclan los diferentes materiales constitutivos, y de las condiciones de humedad y temperatura bajo las cuales se mantenga la mezcla desde el momento en que se coloca en la formaleta hasta que se encuentra totalmente endurecida. El proceso de control de estas condiciones se conoce como curado. Para evitar la producción de concretos de bajos estándares se requiere un alto grado de supervisión y control por parte de personas con experiencia durante todo el proceso, desde el proporcionamiento en peso de los componentes, pasando por el mezclado y el vaciado, hasta la terminación del curado. (Romo, 2008)

“Los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son tan evidentes que ha sido utilizado de diversas maneras por miles de años;

probablemente se comenzó a utilizar en el antiguo Egipto. Uno de estos factores consiste en la facilidad con la cual, mientras se encuentra en el estado plástico, puede depositarse y llenar las formaletas y moldes de cualquier forma, su alta resistencia al fuego y al clima son ventajas evidente. La mayor parte de los materiales constitutivos, con la excepción del cemento y los aditivos, están disponibles a bajo costo, localmente o muy cerca del sitio de construcción. Su resistencia a la compresión, similar a la de las piedras naturales, es alta lo que le hace apropiado para elementos sometidos principalmente a compresión, tales como columnas o arcos. Así mismo, de nuevo como en las piedras naturales, el concreto es un material relativamente frágil, con una baja resistencia a la tensión comparada con la resistencia a la compresión” (Romo, 2008, p. 89). Esto impide su utilización económica en elementos estructurales sometidos tensión ya sea en toda su sección como el caso de elementos de amarre o sobre parte de sus secciones transversales como en vigas u otros elementos sometidos a flexión. (Romo, 2008)

Para contrarrestar esta limitación, en la segunda mitad del siglo XIX se consideró factible utilizar acero para reforzar el concreto debido a su alta resistencia a la tensión, principalmente en aquellos sitios donde la baja resistencia a la tensión del concreto limitara la capacidad portante del elemento. El refuerzo, conformado usualmente por barras circulares de acero con deformaciones superficiales apropiadas para proporcionar adherencia, se coloca en las formaletas antes de vaciar el concreto. Una vez las barras estén completamente rodeadas por la masa de concreto endurecido, comienza a formar parte integral del elemento. La combinación resultante de los dos materiales, conocida como concreto reforzado, combina muchas de las ventajas de cada uno: el costo relativamente bajo, la buena resistencia al clima y al fuego, la buena resistencia a la compresión y la excelente capacidad de moldeo del concreto con la alta resistencia a la tensión y la aun mayor ductilidad y tenacidad del acero, Es precisamente esta combinación la que permite el casi ilimitado rango de usos y posibilidades del concreto reforzado en la construcción de edificios, puentes, presas, tanques, depósitos y muchas otras estructuras. (Romo, 2008)

1.1.20.- Características de los Materiales.

1.1.20.1.- Cemento.

El cemento es el material ligante de los diferentes componentes del hormigón. El cemento para concretos estructurales debe ser Portland. (Romo, 2008)

Existen varios tipos de cemento Portland; entre los más importantes se pueden mencionar:

- Tipo I: De fraguado normal
- Tipo II: De propiedades modificadas
- Tipo III: De fraguado rápido
- Tipo IV: De fraguado lento
- Tipo V: Resistente a los sulfatos

En nuestro medio se dispone permanentemente de cemento Portland tipo I y ocasionalmente (cuando se ejecutan proyectos de uso masivo de hormigón como presas) de tipo IV. Otros tipos de cemento siempre requieren de importación. (Romo, 2008)

El cemento utilizado en la fabricación de hormigón debe estar totalmente seco y suelto, y no debe presentar grumos de fraguado anticipado.

Para asegurar buenas condiciones en el cemento, debe ser almacenado en un sitio cubierto, seco, con ventilación apropiada que se puede conseguir mediante vigas de madera colocadas sobre el piso y un entablado superior que evite el contacto con el piso de los sacos de cemento colocados encima. (Romo, 2008)

1.1.20.2.- Agregados.

Más del 75% del volumen del concreto está ocupado por los agregados, por lo que las propiedades de los mismos tienen influencia definitiva sobre el comportamiento del hormigón. (Romo, 2008)

De acuerdo al tamaño de las partículas, los agregados se clasifican en agregados gruesos (tamaño mayor a 5 mm) y agregados finos (tamaño entre 0.07 mm y 5 mm).

Una buena graduación de los agregados da lugar a concretos de mejores características y más económicos (el agregado grueso deberá tener partículas grandes, medianas y pequeñas como se observa en el gráfico previo; y el agregado fino también deberá presentar partículas grandes, medianas y pequeñas, a otra escala). Para conseguir una granulometría apropiada se mezclan en proporciones adecuadas a los menos dos tipos de agregados. (Romo, 2008)

Los agregados pueden ser utilizados en su estado natural o pueden provenir de un proceso de trituración. El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, por lo que sus concretos pueden alcanzar mayor resistencia.

En el caso del agregado fino triturado (también conocido como polvo de piedra), su empleo exclusivo, sin combinarse con arena, no es el más apropiado desde el punto de vista económico pues a pesar de que presenta una resistencia de los granos apropiada, su granulometría tiende a ser demasiado homogénea lo que implica que se requiera una mayor cantidad de cemento para alcanzar la resistencia especificada del hormigón, y por consiguiente genera un mayor costo. (Romo, 2008)

Los agregados deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que puedan afectar las reacciones químicas de fraguado o produzcan porosidades indeseables.

Dependiendo del tipo de hormigón que se desee fabricar, se pueden emplear agregados ligeros, agregados normales o agregados pesados. También pueden utilizarse agregados artificiales. (Romo, 2008)

1.1.20.3.- Agua.

El agua utilizada en el hormigón debe ser potable en lo posible o al menos debe estar libre de impurezas. Nunca debe usarse agua de mar, pues su salinidad afecta al acero en el hormigón armado y en el hormigón pre esforzado. (Romo, 2008)

1.1.20.4.- Aditivos.

Son compuestos químicos que, añadidos en pequeñas cantidades, modifican las propiedades del hormigón. Entre los de uso más frecuente están los acelerantes, retardantes y plastificantes. Los aditivos siempre deben ser probados previamente a su utilización en obra, por la gran variabilidad de la calidad del cemento que disponemos en el país, y muy especialmente cuando se combinan aditivos. (Romo, 2008)

1.1.21.- Acero Estructural en el Hormigón Armado.

El acero es una aleación basada en hierro, que contiene carbono y pequeñas cantidades de otros elementos químicos metálicos. Generalmente el carbono representa entre el 0.5% y el 1.5% de la aleación. (Romo, 2008)

El acero utilizado en estructuras (barras y cables) es un material apto para resistir sollicitaciones traccionantes, lo que lo convierte en el componente ideal para

combinarse técnicamente con el hormigón simple, con el que conforma el hormigón armado y el hormigón pre esforzado. (Romo, 2008)

Además, el acero en barras está en capacidad de resistir eficientemente solicitaciones de cortante y de torsión, aunque por su costo mucho más elevado que el del hormigón simple, el porcentaje volumétrico del acero dentro del hormigón armado y del hormigón pre esforzado es relativamente pequeño (generalmente entre 0.5% y 3%, dependiendo del elemento estructural). Cuando está adecuadamente confinado o arriostrado, el acero en barras también es capaz de resistir adecuadamente las solicitaciones de compresión, aunque económicamente no sea la solución más apropiada. (Romo, 2008, p. 125)

El acero empleado en el hormigón armado normalmente debe presentar corrugaciones (varillas corrugadas) [ACI 3.5.1, 2008], con excepción del acero empleado en zunchos espirales, en cuyo caso puede ser liso. Comercialmente es distribuido en varillas con distintos diámetros nominales.

1.1.22.- Definición de Viga.

Elemento resistente horizontal que recibe cargas de los forjados y las transmite a los pilares. Trabajan principalmente a esfuerzos de flexión y corte, los materiales más utilizados para su construcción es el acero, madera y el concreto armado, es decir materiales capaces de resistir esfuerzos a tracción. (McCormac, 2011)

1.1.23.- Análisis de vigas sometidas a flexión.

En esta sección se supone que se coloca una pequeña carga transversal sobre una viga de concreto con refuerzo de tensión y que esta carga se incrementa

gradualmente en magnitud hasta que la viga falla. Cuando esto ocurre, encontraremos que la viga pasa por tres etapas distintas antes de que ocurra el colapso. (McCormac, 2011)

Estas son: 1) etapa del concreto no agrietado, 2) etapa con esfuerzos elásticos y concretos agrietados y 3) etapa de resistencia última. Se considera una viga relativamente larga, de manera que los efectos cortantes no tienen un gran efecto en su comportamiento.

1.1.23.1.- Etapa del concreto no agrietado.

Bajo cargas pequeñas, cuando los esfuerzos de tensión son menores que el módulo de ruptura (esfuerzo de tensión por flexión bajo el cual el concreto comienza a agrietarse), la sección transversal total de la viga resiste la flexión, con compresión en un lado y tensión en el otro. (McCormac, 2011)

1.1.23.2.- Concreto agrietado: etapa de esfuerzos elásticos.

Una vez que el lado inferior de la viga se ha agrietado, empieza Al incrementarse la carga después de que el módulo de ruptura del concreto se ha excedido, comienzan a desarrollarse grietas en la parte inferior de la viga. El momento cuando comienzan a formarse las grietas, es decir, cuando los esfuerzos de tensión en la parte inferior de la viga son iguales al módulo de ruptura, se denomina momento de agrietamiento, M_{cr} . Al aumentar la carga, estas grietas se extienden rápidamente hacia la vecindad del eje neutro, el cual comienza a desplazarse hacia arriba. Las grietas se presentan en aquellos lugares a lo largo de la viga, donde el momento real es mayor que el momento de agrietamiento. (McCormac, 2011)

Una nueva etapa, porque obviamente el concreto en la zona agrietada no puede resistir esfuerzos de tensión-el acero debe resistirlos. Esta etapa continuará mientras los esfuerzos de compresión en las fibras superiores sean menores a aproximadamente la mitad de la resistencia a compresión f'_c del concreto y mientras el esfuerzo en el acero sea menor que su límite elástico. (McCormac, 2011)

La variación lineal de los esfuerzos y de las deformaciones se presenta normalmente en las vigas de concreto reforzado bajo condiciones normales de carga de servicio, ya que debido a esas cargas los esfuerzos del concreto generalmente son inferiores a $0.50 f'_c$. (McCormac, 2011)

1.1.23.3.- Falla de la viga: etapa de resistencia última.

Conforme la carga crece todavía más, de modo que los esfuerzos de compresión resultan mayores que la mitad de f'_c , las grietas de tensión se desplazan aún más hacia arriba, igual que lo hace el eje neutro, y los esfuerzos de compresión en el concreto comienzan a dejar de ser lineales. En este análisis inicial se supondrá que las varillas de refuerzo han cedido. (McCormac, 2011)

Las vigas son elementos estructurales muy usados en las construcciones para soportar cargas o darle estabilidad a las mismas.

Para diseñar una viga es necesario conocer las fuerzas perpendiculares que va a soportar, su sección transversal y, en casos más especializados, las características del material que se utilizará en su construcción. (McCormac, 2011)

1.1.24.- Esfuerzo en vigas.

Cuando se aplica una carga transversal, que genera fuerzas internas axiales, se produce un esfuerzo normal en el elemento debido a flexión. (Tapia, 2007)

También se produce un correspondiente esfuerzo cortante, debido a la fuerza cortante.

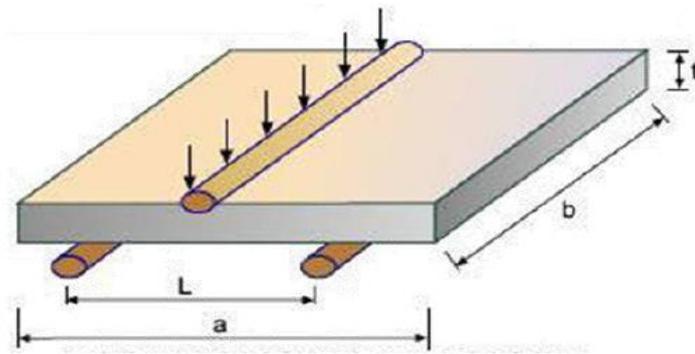


Figura 3 Esfuerzo en viga.
Fuente: Tapia González, 2010.

1.1.24.1.- Esfuerzo normal debido a flexión.

El esfuerzo normal en la sección transversal de la viga, sometida a flexión, comprime en una zona y tensiona en otra como muestra la distribución (Tapia, 2007)

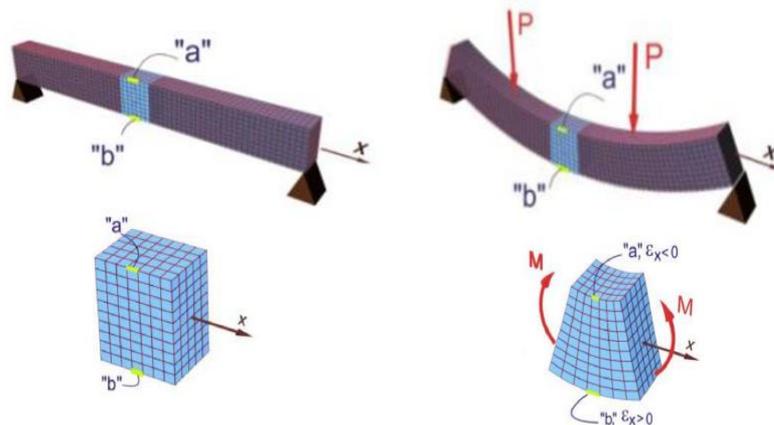


Figura 4 Esfuerzo normal debido a flexión.
Fuente: Tapia González, 2010.

Involucra el momento en el punto analizado, el momento de inercia de área y la distancia desde el centroide de la sección transversal al punto analizado. (Tapia, 2007)

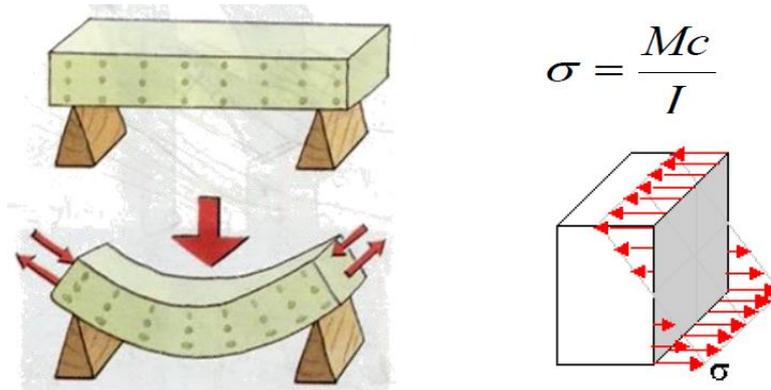


Figura 5 Esfuerzo normal debido a flexión.
Fuente: Tapia González, 2010.

Particularizando la ecuación para secciones transversales circular y rectangular.

Ecuación 01

$$\sigma_{circ} = \frac{Mc}{I} = \frac{M \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{64} d^4} = \frac{64Md}{2\pi d^4} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{rect} = \frac{Mc}{I} = \frac{M \frac{h}{2}}{\frac{b}{12} h^3} = \frac{12Mh}{2bh^3} = \frac{6M}{bh^2}$$

El esfuerzo cortante en la sección transversal de la viga, sometida a flexión, se debe a la fuerza cortante y se distribuye como se muestra:

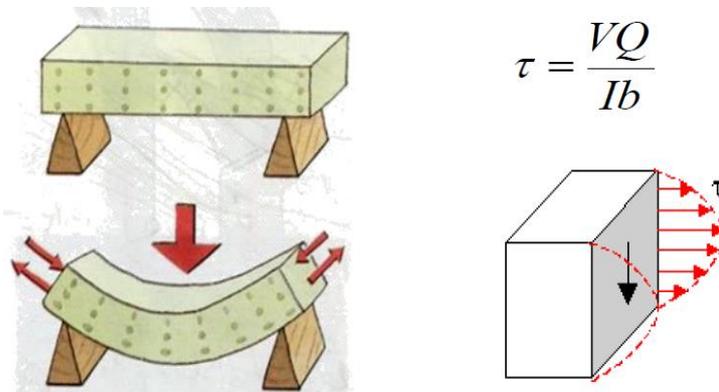


Figura 6 Esfuerzo cortante en vigas e flexión.
Fuente: Tapia González, 2010.

Particularizando la ecuación para secciones transversales circular y rectangular.

Ecuación 02

$$\sigma_{circ} = \frac{VQ}{Ib} = \frac{V \frac{\pi}{8} d^2 \frac{4}{6\pi} d}{\frac{\pi}{64} d^4 d} = \frac{V \frac{4}{48}}{\frac{1}{16} \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{4V}{3A}$$

$$\sigma_{rect} = \frac{VQ}{Ib} = \frac{Vb \frac{h}{2} \frac{h}{4}}{\frac{b}{12} h^3 b} = \frac{12Vbh^2}{8b^2h^3} = \frac{3V}{2A}$$

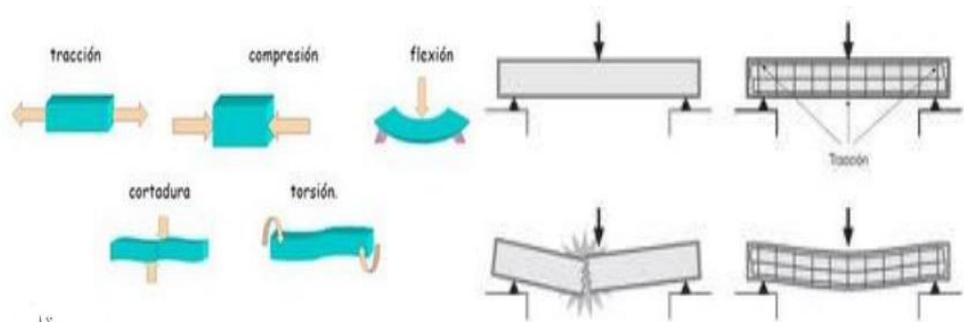


Figura 7 Secciones transversal circular y rectangular.
Fuente: Tapia González, 2010.

1.1.24.2.- Calculo de la carga aplicada sobre la viga.

Para determinar la carga aplicada sobre la viga, lo determinaremos partiendo de la ecuación del esfuerzo normal debido a la flexión.

Ecuación 03

$$\sigma_{rect} = \frac{Mc}{I} = \frac{M \frac{h}{2}}{\frac{b}{12} h^3} = \frac{12Mh}{2bh^3} = \frac{6M}{bh^2}$$

Luego buscamos la fórmula del momento máximo, según la forma como se va aplicar la carga en el ensayo:

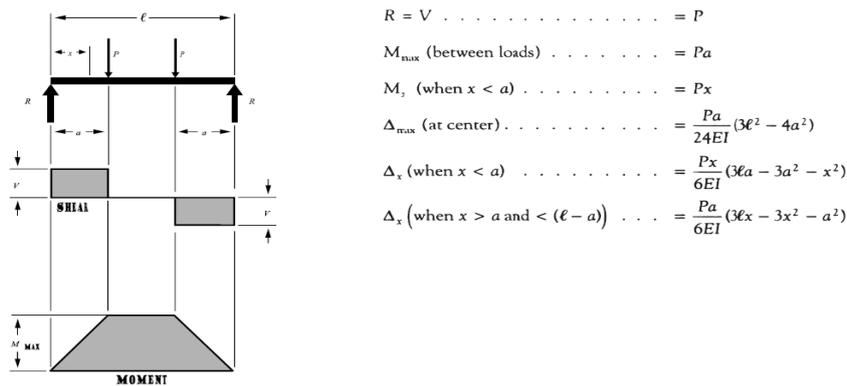


Figura 8 Grafica ANSI/AFYPA/NDS.

Se realizan pruebas de flexión debido a la amplia difusión de este esquema de carga en las condiciones reales de explotación, las probetas que se ensayan son más simples, sin embargo el caso de sollicitación es más complejo. Veamos.

En las pruebas de flexión se emplean dos esquemas de carga de la muestra entre apoyos fijos:

- La carga se aplica como una fuerza concentrada en el medio de la distancia entre los puntos de apoyo (Fig. 9).
- La carga se aplica en dos puntos que se encuentran a una misma distancia de los puntos de apoyo (Fig. 9)

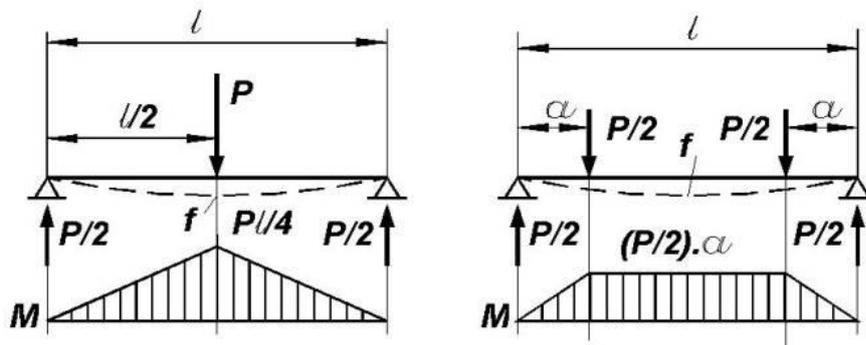


Figura 9 Esquema de carga para la flexión.
Fuente: ANSI/AFYPA/NDS.

Aun cuando el segundo esquema de carga proporciona resultados más exactos al obtenerse una flexión pura, el primer esquema es más sencillo y por esto logró mayor propagación.

En la probeta sometida a flexión se crea un estado de esfuerzos heterogéneo. La parte inferior se encuentra traccionada y la superior comprimida. Además debido a la variación del momento a lo largo de la muestra, los esfuerzos relacionados con el momento también varían.

Los esfuerzos en la etapa de deformación elástica son calculados por las fórmulas corrientes de Resistencia de Materiales para la determinación de los esfuerzos normales en flexión.

1.1.25.- ENSAYO DE FLEXIÓN.

Un ensayo de flexión nos sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Estos ensayos se llevan a cabo cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión.

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. (Rodas, 2012)

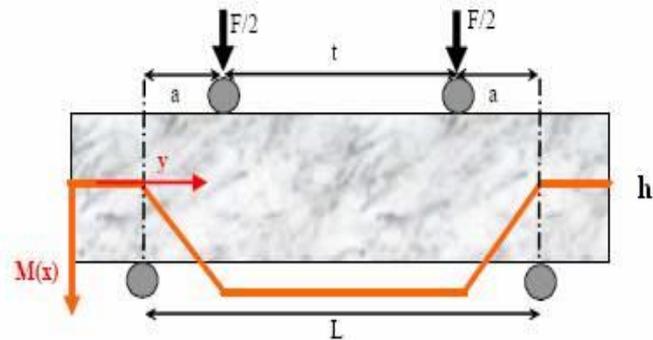


Figura 10 Geometría de la probeta y distribución de momentos en el ensayo de flexión en cuatro puntos.
Fuente: Rodas 2012.

A diferencia de lo que sucedería en un ensayo de tres puntos, en un ensayo de cuatro puntos, la zona central de la probeta está sometida a una tensión uniforme y el momento flector en la parte central es constante. Aplicando los conceptos de mecánica de resistencia de materiales, la tensión máxima de tracción, que se obtiene en la superficie inferior de la muestra se calcula según la expresión (para un ensayo de flexión en cuatro puntos):

Ecuación 04

$$\sigma_{max} = \frac{3P(L - t)}{w * h^2}$$

Dónde:

P= es la carga aplicada

w= es el ancho

h= el espesor, para una probeta rectangular.

Los resultados del ensayo de flexión son similares a las curvas tensión - deformación, sin embargo, la tensión se expresa en función de deflexiones, en lugar de en función de deformaciones. Para un ensayo de flexión en cuatro puntos y una probeta rectangular la deflexión del punto central medida respecto a los puntos de soporte viene dada por:

Ecuación 05

$$\delta_c = \frac{P (L - t) * (3L^2 - 4) * (L - t)^2}{48EI}$$

Siendo I el momento de inercia, que en el caso de una probeta rectangular toma el valor $I = \frac{h^3 * w}{12}$ y E el módulo de Young.

Por otro lado, es posible conocer el tamaño del defecto c que origina la fractura, conociendo el factor de tensión crítica KIC (estos valores están tabulados), a través de la expresión:

Ecuación 06

$$KIC = \frac{Y * \left(\frac{3P_c}{h^2 * d} \right) * c^1}{2}$$

Donde Y es un factor geométrico.

1.1.26.- Formas de Fortalecimiento de vigas con el sistema FRCM.

Las secciones transversales de la fortalecidos y reforzados vigas en la zona correspondiente a la parte inferior de la se muestran bandas (donde se aplicaron los sistemas de refuerzo) (Pellegrino, 2013).

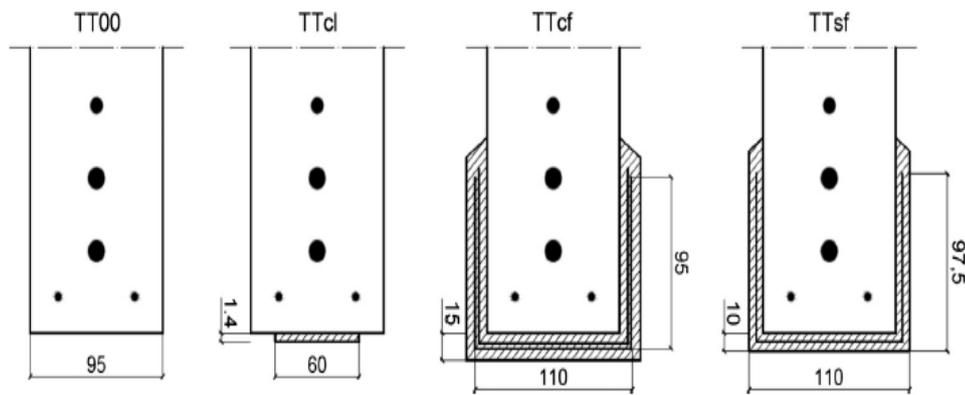


Figura 11 Strengthening configuration.
Fuente: Pellegrino 2013.

1.1.26.1.- Resultados del ensayo de flexión.

Prueba de puesta a punto y la instrumentación

Las vigas fueron probadas utilizando una configuración de flexión de cuatro puntos la aplicación de las fuerzas concentradas a lo largo de los ejes web. los soportes. (Pellegrino, 2013).

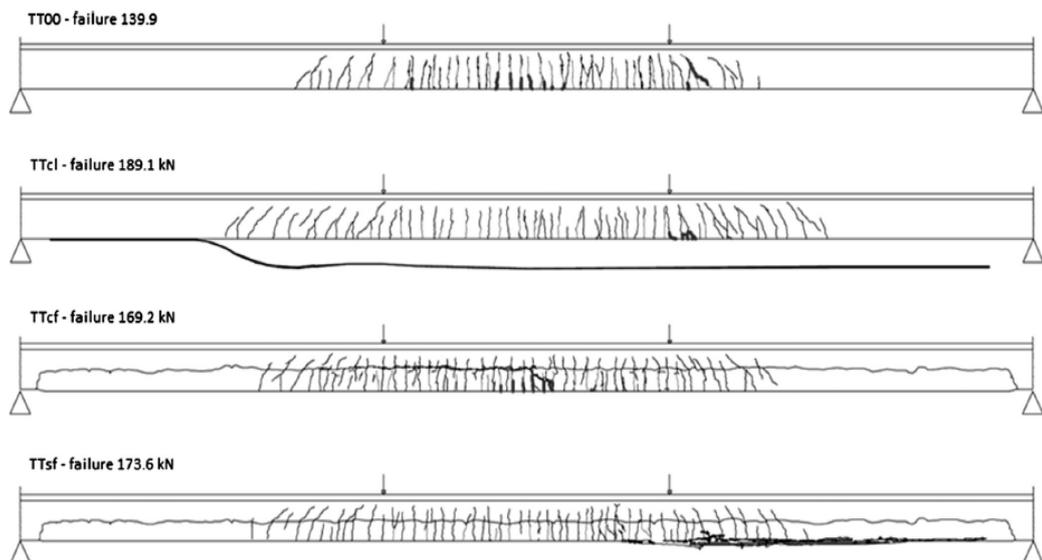


Figura 12 Crack patterns after failure of the double-T beams.
Fuente: Pellegrino 2013.

1.1.26.2.- Gráficos resultantes.

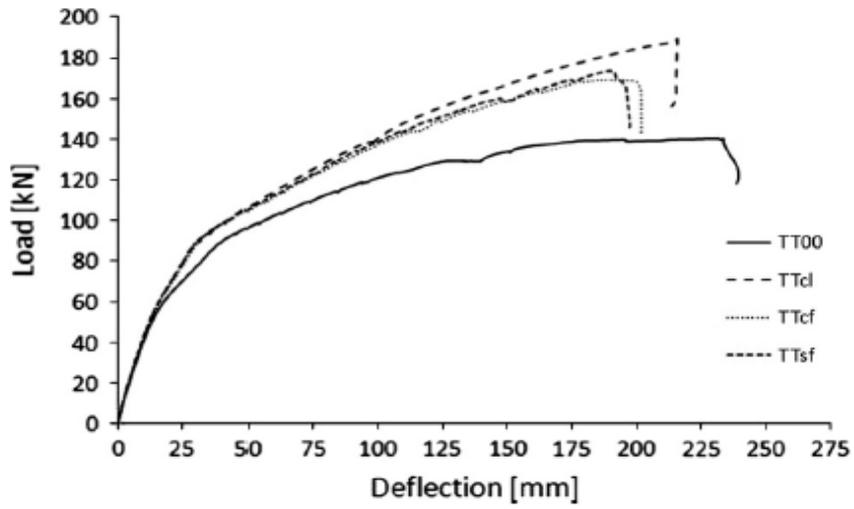


Figura 13 Resultante I.
Fuente: Pellegrino 2013.

C. Pellegrino, T. D'Antino / Composites: Part B 55 (2013) 31–40

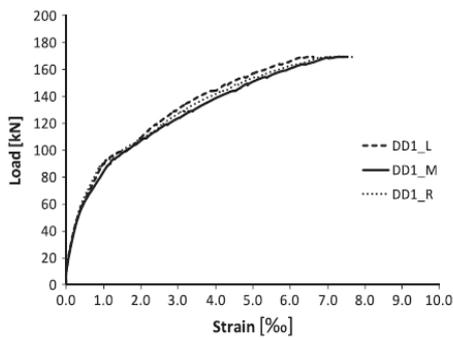


Fig. 20. Load vs. strain curves for TTcf beam.

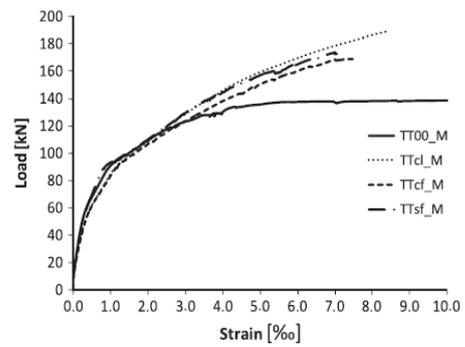


Fig. 22. Comparison between load vs. average midspan strain responses for the double-T beams.

Figura 14 Resultante II.
Fuente: Pellegrino 2013.

1.1.27.- Columnas.

Elemento arquitectónico de soporte, rígido, más alto que ancho y normalmente de sección cilíndrica o poligonal, que sirve para soportar la estructura horizontal de un edificio, un arco u otra construcción; también puede constituir por sí solo un elemento decorativo, una señal, etc.

“Las columnas de concreto tienen como tarea fundamental transmitir las cargas de las losas y vigas hacia los cimientos. La principal carga que reciben es la de compresión. Sin embargo, al considerar el comportamiento de toda la estructura, la columna puede soportar esfuerzos flexionantes y de corte. Por este motivo, las columnas de concreto deberán contar con un refuerzo de acero adecuado tanto en la dirección longitudinal y transversal” (McCormac, 2011, p. 74)

1.1.28.- Compresión pura en Especímenes de concreto armado.

Desde el año de 1900, vienen siendo realizados ensayos en elementos de concreto armado sometidos a compresión. A lo largo de estos años, se ha llegado a la conclusión que es imposible establecer exactamente cómo se distribuye la compresión entre acero y concreto bajo condiciones de servicio. Los esfuerzos calculados a través de la teoría elástica no corresponden a los verificados experimentalmente, aun siendo las cargas aplicadas lo suficientemente pequeñas para que tanto el acero como el concreto se comporten dentro del rango elástico. (McCormac, 2011)

Se ha comprobado que los efectos de creep, la contracción y la historia de carga del elemento juegan un papel muy importante en la distribución de los esfuerzos.

1.1.29.- Comportamiento mecánico de elementos sometidos a cargas axiales.

Columnas sin refuerzo: debido a la forma de vaciar las columnas la parte inferior tiende a ser más resistente que la parte superior. Dividiendo la columna en tres

tramos se ha encontrado que las resistencias de los concretos a diferentes alturas corresponden a la gráfica indicada. (McCormac, 2011)

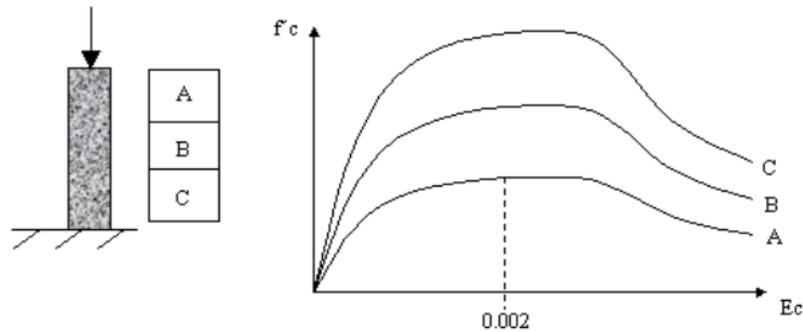


Figura 15 Columnas sin refuerzo.
Fuente: Sánchez Carrillo, 2016

A: zona de concreto que controla la resistencia de la columna. Por esta y otras razones se sugiere tomar como resistencia base de diseño un valor de: $f_c \text{ max} = 0.85 \times f'_c$

Columnas con Refuerzo: Ensayos han mostrado que hasta la fluencia del acero, ambas columnas trabajan igual pero una vez alcanzada esta, la columna con estribos falla en una forma inmediata y frágil tal cual si fuera un cilindro de ensayo de resistencia a compresión, como si no tuviera refuerzo. Esta falla se produce por el pandeo de las barras longitudinales entre estribos, mientras que, en la de espirales, en el punto de fluencia, se desprende el recubrimiento y se empieza a deformar antes de fallar. (McCormac, 2008)

1.1.29.1.- Ensayo de compresión.

EL ENSAYO DE COMPRESIÓN CONSISTE EN

Consiste en aplicar una carga axial de compresión gradualmente creciente a una probeta de tamaño estándar hasta que ocurra la fractura. Durante el ensayo se tomara nota de la carga y el acortamiento

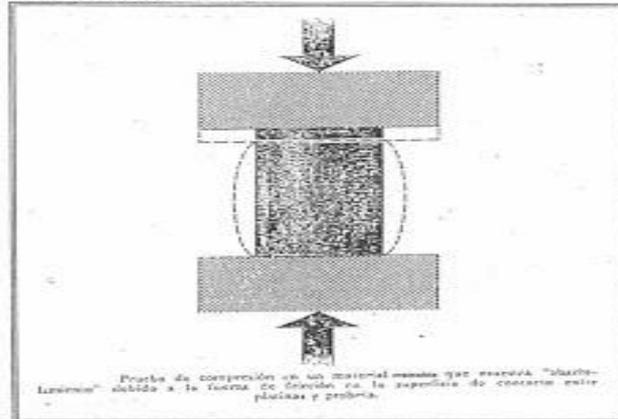


Figura 16 Aplicación de una carga.
Fuente: Sánchez Carrillo 2016.

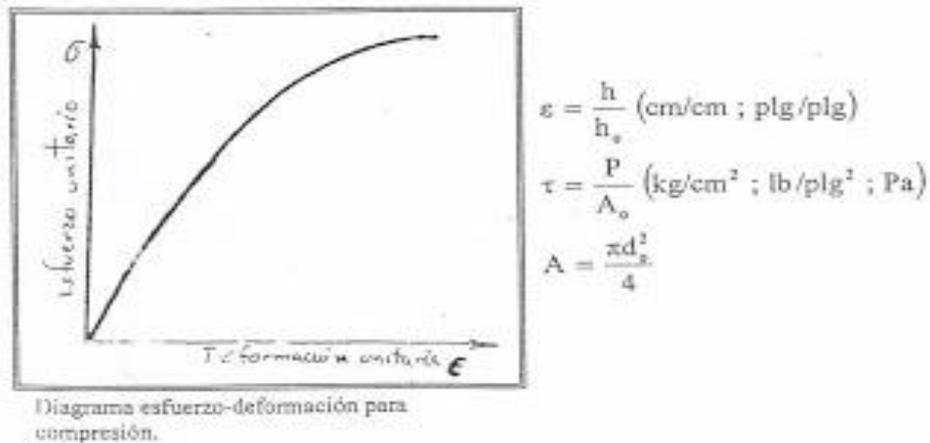


Figura 17 Diagrama esfuerzo-deformación para compresión.
Fuente: Sánchez Carrillo 2016.

1.1.30.- Consideraciones Teóricas.

1.1.30.1.- Observaciones generales.

Existen varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a las cuales se debe dirigir la atención:

- La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.

- El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga tensiva. Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue. (Sánchez Carrillo, 2016)
- La fricción entre los puentes de la máquina de ensaye o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de ésta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente. (Sánchez Carrillo, 2016)
- Las áreas seccionales relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensaye de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y, por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada. (Sánchez Carrillo, 2016)

Se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la atención se limita aquí al bloque de compresión corto. (Sánchez Carrillo, 2016)

1.1.30.2.- Requerimientos para probetas de compresión.

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente y para piezas manufacturadas, tales como el azulejo, ordinariamente no resulta posible cortar probetas que se ajusten a ninguna forma en particular.

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de compresión parece ser más o menos un compromiso entre varias condiciones indeseables. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre una sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10 como un límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de la restricción friccional en los extremos se torna sumamente importante; asimismo, para longitudes menores de aproximadamente 1.5 veces el diámetro, los planos diagonales a 10 largo de los cuales la falla se verificaría en una probeta más larga intersectan la base, con el resultado de que la resistencia aparente se aumenta. Comúnmente se emplea una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes. (Sánchez Carrillo, 2016)

El tamaño real depende del tipo de material, del tipo de mediciones a realizar, y del aparato de ensayo disponible. Para materiales homogéneos para los cuales se requiera solamente la resistencia última, pueden usarse probetas pequeñas. El tamaño de las probetas de materiales heterogéneos debe ajustarse al tamaño de las partículas componentes o agregados.

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta o, de hecho, convertidos así mediante el uso de cabeceo y dispositivos de montaje.

1.1.31.- Resultados del ensayo de compresión.

El fracaso fue gradual para todas las muestras analizadas; se caracterizó de una combinación de rotura de hoja de PBO y desunión en la fibra de interfaz / matriz. En particular, para los especímenes de la Serie I de la ruptura fue predominantemente de hoja mientras que la desunión entre mallas de fibra de PBO

y el mortero de cemento en correspondencia de la zona de solapamiento caracterizado el fracaso de la Series II especímenes. Además, en casi toda la envuelta Cilindros se observó un modo cónico de fallo de hormigón. Las muestras con 45° y $h \frac{1}{4} 30^\circ$.

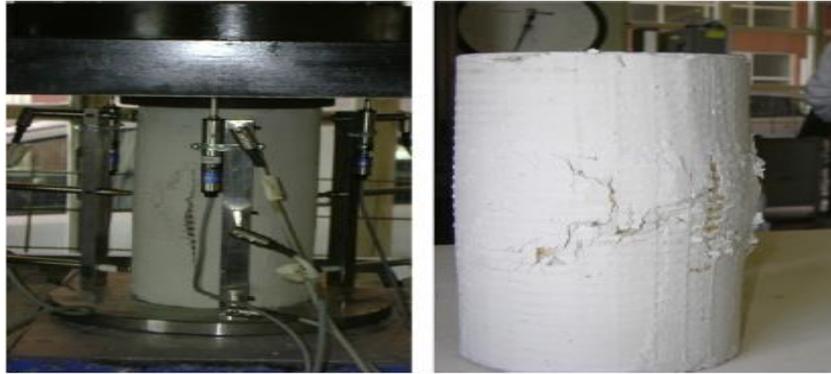


Figura 18 Composite Structures 109.
Fuente: Rodriguez 2014.

1.1.32.- Ductilidad.

“Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente a pesar de los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga, una medida cuantitativa de esa ductilidad seria el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima en el rango lineal elástico” (Romo, 2008, p. 45).

Evidentemente los índices de ductilidad por deformación del hormigón simple decrecen considerablemente cuando aumenta su resistencia a la rotura, como se observa. A continuación se presenta con valores aproximados de ductilidad por deformación del concreto en función a su resistencia a la compresión.

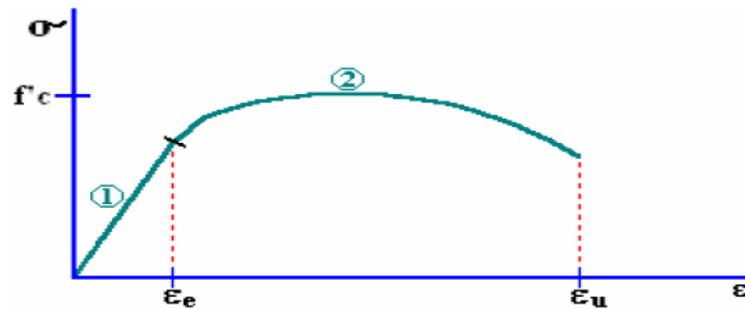


Figura 19 Índice de ductilidad del Hormigón.
Fuente: Romo, M. 2008.

Ecuación 07

$$Dd = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_e}$$

Dónde:

Dd: Índice de Ductilidad por Deformación.

εu: Deformación de Rotura.

εe: Deformación Elástica Máxima.

Tabla 6 Índice de ductilidad del hormigón en base a la resistencia a compresión.

Resistencia a la Compresión [Kg/cm ²]	Índice de Ductilidad por Deformación
210	4.5 – 6.0
280	3.5 – 4.5
350	3.0 – 3.5
420	2.5 – 3.0
630	2.0 – 2.5
840	1.5 – 2.0

Fuente: Romo, M. 2008.

El índice de ductilidad por deformación es un excelente referente de la capacidad del hormigón para deformarse por encima de su límite de fluencia. Otra manera de medir la ductilidad del concreto consiste en encontrar el cociente entre la energía que se requiere para romper al material y la energía necesaria para llevarle hasta la carga máxima de comportamiento elástico, para cuyo cálculo, en lugar de dividir directamente las deformaciones, se dividen las áreas bajo la curva Esfuerzo-Deformación.

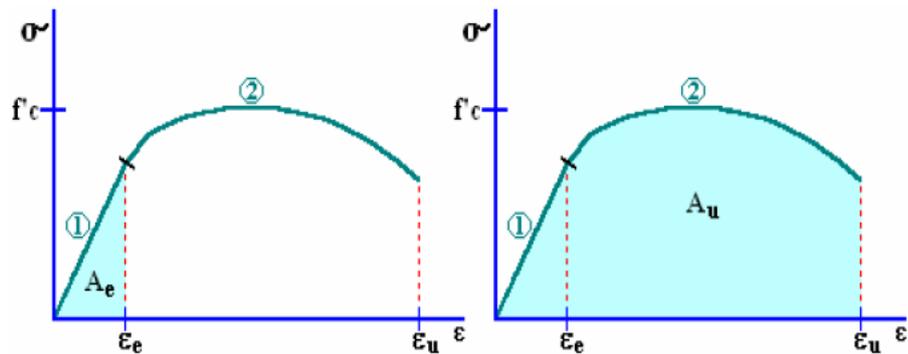


Figura 20 Índice de ductilidad por energía de deformación del hormigón.
Fuente: Romo, M. 2008

Ecuación 08

$$Ded = \frac{A_u}{A_e}$$

Dónde:

Ded: Índice de Ductilidad por Energía de Deformación

Au: Energía de Deformación de Ruptura.

Ae: Energía de Deformación Elástica Máxima.

Los índices de ductilidad por energía de deformación son mayores a los índices de ductilidad por deformación, y en muchos casos pueden superar valores de ocho.

Tabla 7 Índice de ductilidad por energía de deformación en base a la resistencia a compresión del hormigón.

Resistencia a la Compresión [Kg/cm ²]	Índice de Ductilidad por Deformación
210	8.0 – 10.0
280	6.0 – 8.0
350	5.0 – 6.0
420	4.0 – 5.0
630	3.0 – 4.0
840	2.0 – 3.0

Fuente: Romo, M. 2008.

El índice de ductilidad por energía de deformación se emplea como referente de la capacidad del concreto para disipar la energía cuando incursiona dentro del rango de comportamiento inelástico. “Uno de los requisitos más importantes que debe reunir un hormigón en zonas sísmicas es su ductilidad, lo que en nuestro medio limita la utilización de concretos de resistencia media superior a 500 kg/cm², por ser sumamente frágiles (tienen una rotura muy rápida y explosiva)” (Romo, 2008, p. 47).

1.1.32.1.- La ductilidad es la capacidad que tienen algunos materiales de admitir grandes deformaciones sin perder su resistencia

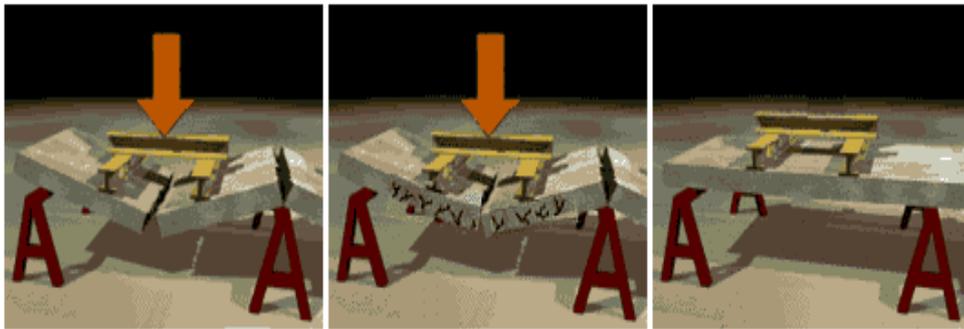


Figura 21 Ensayo a flexión pura a 4 puntos.
Fuente: Celsa, 2013.

- Una estructura dúctil cuando esta próxima al colapso advierte de su situación experimentando grandes deformaciones e importante fisuración.
- Si la estructura es frágil el colapso se alcanza sin previo aviso, con pequeñas deformaciones y fisuración reducida.

Todo elemento de hormigón armado, por ejemplo, una está formado por dos materiales: hormigón y armaduras de acero.

Si la viga la hacemos de hormigón y sin armaduras (sin barras), ponemos apoyos en los extremos y la parte central, y la cargamos sucesivamente mediante pesos en ambos lados, puede ocurrir que:

- Al colocar el primer peso, la viga se deforme un poco.
- Al colocar el segundo peso, la viga se rompe súbitamente.

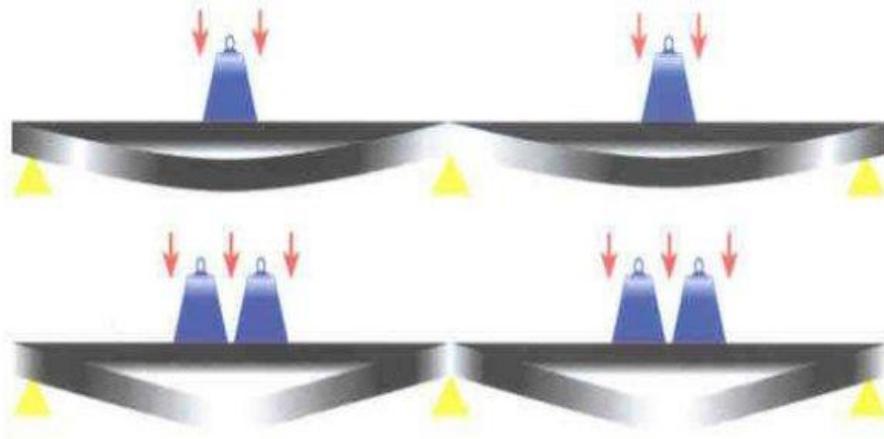


Figura 22 Deformación en vigas.
Fuente: Celsa. 2013.

En cambio, si a la viga de hormigón le incorporamos barras de acero (hormigón + barras de acero), procedemos de la misma manera que en el caso anterior el resultado sería el siguiente:

- Al colocar el primer peso, la viga se deforma un poco.
- Al colocar el segundo peso, la viga continúa deformándose.
- Al colocar el tercer peso, la viga se deforma un poco más y aparecen pequeñas grietas.
- Al colocar el cuarto peso, la viga se deforma más y surgen grietas mayores.

1.1.33.- Reforzamiento de vigas con material compuesto.

1.1.33.1.- Resina Poliéster.

La resina de poliéster es el termoestable más utilizado para la formulación de materiales compuestos en el Ecuador. Esta resina es muy versátil, de fácil manipulación tiene una amplia disponibilidad en el mercado por su bajo costo y

ofrece una excelente resistencia a la corrosión. Las resinas son sustancias líquidas que mediante una reacción química inducida por un agente externo pueden pasar al estado sólido. A este proceso se le denomina curado se necesita la presencia de un catalizador y un secante. La reacción es exotérmica, comenzando la elevación de la temperatura en el instante en que se produce la mezcla de los diferentes elementos, siendo capaz de subir la temperatura de la resina hasta los 160 °C, el curado de la resina empieza cuando se coloca el iniciador llamado Cobalto, la velocidad de reacción depende de la temperatura y la reactividad de la resina y el catalizador, es esencial disponer de cantidades suficientes de iniciador y acelerador para asegurar el adecuado proceso de curado. Así, Los acelerantes, en el presente caso MEKP (peróxido de metil-etil cetona), son compuestos químicos que al reaccionar con el catalizador permiten que demore un tiempo hasta que se produzca el endurecimiento para que la resina pueda ser trabajada (Napoleón, 2012).

El proceso de curado consta de tres fases:

1. La gelificación: en la que se produce el paso de la resina de un estado inicial viscoso, pero con facilidad de fluir, a un gel blando.
2. El endurecimiento: la resina pasa de un gel blando a sólido.
3. La maduración: durante la cual la resina adquiere todas unas características mecánicas y químicas.

Las dos primeras etapas son relativamente cortas, comparadas con el tiempo de maduración, dependen de la cantidad de catalizador y acelerantes utilizados. Por lo contrario, la última etapa puede tardar varias horas, en muchas aplicaciones se utilizan resinas curadas en frío, aun cuando estas no alcancen las mejores propiedades. Sin embargo, es necesario indicar que precisamente la posibilidad que tienen las resinas poliéster de ser curadas en frío es lo que las hace mucho más adecuadas que cualquier otro sistema de resina para la manufactura de estructuras de gran tamaño (Napoleón, 2012, p. 75)

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- a. El tipo de resina empleada.
- b. La temperatura ambiente, la mayoría de resinas no curan a temperaturas inferiores a 10°C.
- c. La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador.
- d. La humedad relativa.
- e. El exceso de insolación, los rayos ultravioletas son perjudiciales.
- f. Incremento en la temperatura del proceso.

Se pueden controlar los tiempos de curado actuando sobre los parámetros de temperatura, cantidad de catalizador y acelerador. Sin embargo, esta circunstancia pierde interés en la manufactura individual ya que la importancia de este hecho viene acompañada de la capacidad de incrementar la tasa de producción en serie.

1.1.33.2.- Como se refuerzan las vigas con material compuesto.

Se toma como referencia de este artículo como se reforzaron vigas con fibras de carbono para adaptar a nuestra investigación.

- a. Eficacia de la armadura a la flexión de una viga de hormigón reforzado hecho con una red de carbono sumergido en una matriz de cemento (FRCM).
- b. Mejora del rendimiento de flexión especímenes de referencia sin reforzar (aumento de la carga de Se encontró colapso un rango de entre 9% y 18%, dependiendo de la configuración de refuerzo).
- c. El aumento de la carga de ruptura obtenido con la malla y el mortero cemento (FRCM) es menor que la obtenida con la hoja de fibras de carbono unidireccionales y resina Epoxi (CFRP), que era 29%. Esto es para el mayor sección de fibra de carbono presente (alrededor de 30%

en más), tanto para un límite más alto de adhesión (la diferencia es Pasó a la expansión del 12 ‰).

- d. La crisis de las muestras con resina epoxi era más frágil como el corsé se desconecta instante de la manga por de pronto perder sus contribuciones, mientras que en el caso de que el mortero cemento, la crisis ha sido más flexible ya que el contribución de refuerzo no gradualmente debido al deslizamiento de las fibras dentro de la matriz

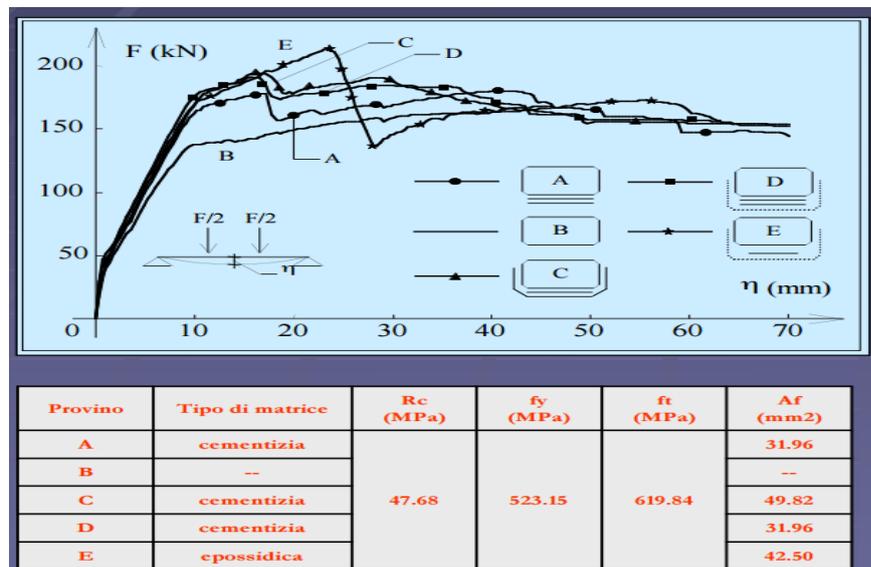


Figura 23 Comportamiento flexionales FRCM.
Fuente: Napoleón, A. 2012.

1.1.34.- Esquema típico de columnas sometidas a compresión pura usando FRP.

Diferentes esquemas de refuerzo con tejidos FRP se investigan y desarrollan con base en el tipo de material, forma y proceso de aplicación, pero pueden ser clasificados dentro de cinco categorías (Rosero, 2013, p. 75).

- Telas saturadas en obra.
- Pre-impregnados en forma de tiras o tejido.
- Cables o tiras prefabricadas.
- Cascarones prefabricados.

e. Procesos de infusión de resina.

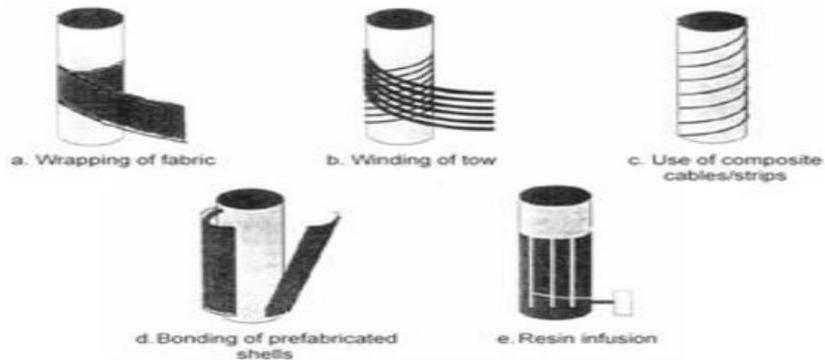


Figura 24 Métodos de encamisados para columnas.
Fuente: Rosero, L. 2013.

En la primera técnica la columna es envuelta por una o varias capas de FRP en forma de espiral o anillos, esto se utiliza mucho en columnas de edificios y pilas de puentes. Cuando se aplican dos o más capas de FRP a una columna, las juntas de traslape se disponen de tal forma que se localicen en las caras opuestas como se muestra. El traslape mínimo para tejidos FRP no debe ser menor de 20cm.

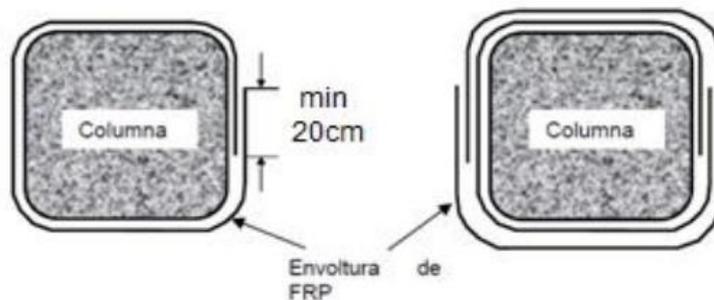


Figura 25 Envoltura de FRP.
Fuente: Rosero, L. 2013.

En el caso de tiras pre-impregnadas se utiliza sprays de resina para impregnar los tejidos, se envuelven en espiral o anillos, por lo que el sistema es muy parecido al primero con tejidos saturados en obra.

El método de envolver cables o tiras prefabricadas no se encuentra desarrollado completamente por lo que no se recomienda su uso.

La técnica de pegar cascarones prefabricados alrededor de la columna es un sistema muy simple, mucho más fácil cuando son columnas circulares, pues en las rectangulares es menos eficiente; pero estos deben ser fabricados bajo una estricta tolerancia con respecto a las dimensiones de la columna y se usan como refuerzo transversal e incluso como encofrado.

Finalmente en el caso de la infusión de resina, la tela seca se aplica manualmente y la resina se inyecta posteriormente.

Todos estos dispositivos de confinamiento ofrecen una restricción transversal a las barras longitudinales lo cual evita que se deformen, y también que se desprenda el recubrimiento de hormigón. Estas técnicas también se utilizan para prevenir el deslizamiento y giro de las barras de refuerzo en las zonas de traslape.

1.1.34.1.- Ensayos de Laboratorio en Columnas con FRP.

En las últimas tres décadas el comportamiento del hormigón confinado se estudia a fondo en innumerables investigaciones, cuyos resultados son bien conocidos y establecidos. Pero todos estos estudios se refieren a hormigón confinado por el acero, el cual, después de ceder, ejerce una presión de confinamiento constante.

Esto permite que todos los investigadores relación en las propiedades del concreto confinado como si estuviera bajo presión hidrostática, para evitar así hacer frente al problema complejo de dilatación de hormigón y de su interacción con el dispositivo de confinamiento en sí. Rosero (2013) afirma que:

Este punto de vista tenía que cambiar con la introducción de dispositivos de FRP ya que es un material elástico, como consecuencia, ejerce una acción de confinamiento continuamente creciente en el concreto. La respuesta del

hormigón confinado con FRP es completamente diferente a la del confinado con acero, y esto abre el camino a una notable investigación que en los últimos años produce una serie de valiosos estudios, con el objetivo común de aclarar todos los nuevos aspectos de este material. (Rosero, 2013, p. 87)

Lo que se pretende confirmar es que: la resistencia a la compresión y las deformaciones del hormigón confinado con acero o materiales compuestos, son mayores que las del hormigón sin confinar, además se incrementa la capacidad al corte y la ductilidad todo esto debido al incremento de la resistencia del hormigón por el confinamiento.

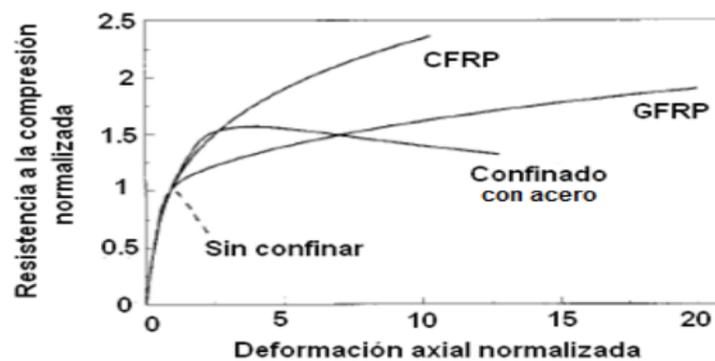


Figura 26 Curvas esfuerzo-deformación con CFRP y GFRP.
Fuente: Rosero, L. 2013.

Se presentan los resultados normalizados de 4 cilindros hormigón, el primero de ellos es hormigón sin confinar, el mismo que alcanzó una resistencia máxima y una deformación, con respecto a estos valores se normalizan los restantes ensayos, realizados con: hormigón confinado con acero; hormigón confinado con fibra de carbono CFRP y hormigón confinado con fibra de vidrio GFRP.

Como se puede observar los niveles de deformación alcanza el hormigón confinado con acero y el confinado con FRP son muy cercanos entre sí, mientras que el hormigón reforzado con fibra de vidrio alcanza el doble de deformación, esto nos indica una mayor ductilidad aunque menor resistencia máxima a compresión.

Para el confinamiento con CFRP y GFRP se tiene un comportamiento representado con un modelo bilineal, porque a diferencia del hormigón sin confinar y confinado con acero, no tienen la rama descendente, luego de alcanzar la resistencia máxima.



Figura 27 Ensayo a compresión de hormigón confinado con FRP.

Fuente: Rosero, L. 2013.

Los estudios experimentales muestran que la falla habitual en ensayos de probetas reforzadas, tanto de sección circular como rectangular, se produce como consecuencia de la ruptura de la camisa, la ruptura se presenta para valores menores a los teóricos, razón por la cual las guías de diseño limitan el valor de la deformación efectiva.

1.1.35.- Análisis Numérico.

1.1.35.1.- Fortalecimiento de la fuerza axial.

El confinamiento de columnas RC, se lo puede efectuar mediante recubrimiento del sistema FRCM, que puede ser utilizado para mejorar la resistencia de la columna y ductilidad existentes. El aumento en la capacidad es un resultado inmediato típicamente expresado en términos de resistencia de carga máxima mejorada. Una mejora en ductilidad generalmente requiere cálculos más complejos para determinar la habilidad de un miembro de sostener la rotación y la deriva sin una pérdida substancial en la fuerza. Por esto, esta sección solo aplica al mejoramiento de la ductilidad a flexión, resultando del aumento del último esfuerzo de compresión (Martínez M, 2016, p. 89).

1.1.35.2.- El mejoramiento de la capacidad de la carga axial.

El material compuesto FRCM puede ser aplicado en superficies externas de miembros de compresión RC circulares y rectangulares para mejorar la capacidad de carga axial. (ACI 549-4R.2013).

La máxima resistencia a la compresión de hormigón confinado, f_{cc}' , se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 09

$$f_{cc}' = f_c' + 3.1 k_a f_l$$

Dónde:

$$f_l = \frac{2nA_f E_f \varepsilon_{fe}}{D} \text{ para secciones circulares}$$
$$f_l = \frac{2nA_f E_f \varepsilon_{fe}}{\sqrt{b^2 + h^2}} \text{ para secciones rectangulares}$$

Secciones circulares.- Para sección circular transversal, los factores de forma K_a y K_b deberían ser tomados como 1.0.

Secciones rectangulares.- Secciones rectangulares donde la relación del lado/dimensión más largo al lado/dimensión más corto no es mayor a 2.0 puede tener una capacidad de compresión axial mejorada a través del efecto de confinación de material FRCM colocado con hilos de fibra corriendo esencialmente perpendicular al eje de la barra. Para secciones rectangulares, los factores de forma K_a y K_b se los puede obtener mediante las siguientes ecuaciones:

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2$$
$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b}\right)^2$$

Dónde:

Ecuación 10

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h}\right)(h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b - 2r_c)^2\right]}{3A_g}}{1 - \rho_g}$$

Límites de diseño.- El aumento en fuerza axial proporcionado por el reforzamiento FRCM no debería exceder el 20% de la capacidad existente de la columna sin fortalecimiento. Este aumento no puede exceder el límite de fortalecimiento establecido en ACI 562.

Cuando el intento del diseño es restaurar la fuerza de compresión existente (por ejemplo, un miembro confinado ligeramente), E_{cc} debería ser limitado al valor correspondiente a $0.85f_{cc}'$, a menos que sea confirmado a través de evidencia experimental.

1.1.35.3.- Extensión del modelo básico.

Sobre la base de las pruebas de muestras de tamaño pequeño y los supuestos básicos del modelo en discusión, posteriormente se desarrolló un modelo refinado para explicar un efecto a gran escala. La resistencia del hormigón utilizada se determinó a partir de ensayos de muestras de cubo de 150 mm. En realidad, considerando las geometrías reales de las columnas, el efecto de tamaño debe tenerse en cuenta en las fórmulas. Para más información sobre el efecto del tamaño en el hormigón armado, Lömer y otros. (1986). Por lo tanto, para el diseño del refuerzo, en el cabezal de la columna, las ecuaciones anteriormente mostradas son modificadas por un factor k_m para tener en cuenta el efecto del tamaño en la sección transversal de hormigón sin reforzar en la parte superior de la columna (Martínez M, 2016, p. 95).

Ecuación 11

$$N_{u1} = N_c + N_{fc} = k_m * f_{cm} * A_c + 0.27 * f_{fcm} * A_{fc, eff}$$

$$N_{u2} = k_m * f_{cm} * A_c * f_{cm} * \left[1 + 0.27 * \frac{\sigma_{lu}}{k_m * f_{cm}} + 5.55 * \left(\frac{\sigma_{lu}}{k_m * f_{cm}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{lu}}{k_m * f_{cm}} \right)^2 \right]$$

Del mismo modo, para el diseño en el centro de la columna, la ecuación anterior de $Nu1$ puede ser modificada y mostrada con la siguiente ecuación:

Ecuación 12

$$Nu1 = N_c + N_{fc} = k_m * f_{cm} * A_c + 0.45 * f_{fcm} * A_{fc}, eff$$

La capacidad de carga es mayor, ya que puede omitirse la reducción anterior por el factor 0,6, que se tuvo en cuenta debido al desprendimiento de la capa de refuerzo textil.

Si se refuerza la sección transversal del hormigón viejo, la contribución del refuerzo de acero longitudinal a la capacidad axial $Nu1$ se añade a la sección. Esto considera el nivel de deformación final de la sección transversal del hormigón antiguo ϵ_{cu} :

Ecuación 13

$$Nu1 = N_c + N_{fc} = k_m * f_{cm} * A_c + 0.45 * f_{fcm} * A_{fc}, eff + \sigma_s(\epsilon_{cu}) * A_s$$

Por lo tanto, la ecuación para el diseño del cabezal de columna es la siguiente:

Ecuación 14

$$Nu1 = N_c + N_{fc} = k_m * f_{cm} * A_c + 0.27 * f_{fcm} * A_{fc}, eff + \sigma_s(\epsilon_{cu}) * A_s$$

En comparación, la contribución a la capacidad axial de la columna, resultante del confinamiento debido a los estribos de acero, es menor que la proporcionada por el efecto de confinamiento debido a la capa externa de TRC. Por lo tanto, no se toma en consideración en las ecuaciones. No obstante, no debe subestimarse la contribución del refuerzo longitudinal de acero de las secciones armadas.

Ecuación 15

$$N_{u2} = k_m \cdot f_{cm} \cdot A_c \cdot f_{cm} \cdot \left[1 + 0.27 \cdot \frac{\sigma_{lu}}{k_m \cdot f_{cm}} + 5.55 \cdot \left(\frac{\sigma_{lu}}{k_m \cdot f_{cm}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{lu}}{k_m \cdot f_{cm}} \right)^3 \right] + \sigma_s(\varepsilon_{cu}) \cdot A_s$$

En ensayos a gran escala, el modelo presentado aquí fue validado. Debe observarse que hasta ahora el modelo sólo se ha verificado en columnas circulares con resultados satisfactorios. La validación del modelo para columnas con secciones cuadradas está pendiente.

1.1.35.4.- Resistencia a flexión.

El material FRCM adherido a superficies de hormigón armado, puede ser utilizado para mejorar el comportamiento de la resistencia a flexión de elementos estructurales, actuando como refuerzo de tensión externo.

La resistencia a la flexión de una sección de RC depende del modo de fallo. Los modos de fallo para una sección fortificada FRCM incluyen:

- Se presenta una trituración del hormigón, antes de que actué el acero de refuerzo.
- Desprendimiento del sistema de refuerzo FRCM del elemento estructural.
- Desprendimiento entre los tejidos.
- Deslizamiento de la malla dentro de la matriz cementicia.

El nivel de deformación de tracción efectiva en el reforzamiento del sistema FRCM alcanzado en la falla, debería estar limitado para diseñar esfuerzo de tensión del FRCM del material compuesto, lo cual se puede mostrar en la siguiente ecuación:

Ecuación 16

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd} \leq 0.012$$

El esfuerzo de tracción efectivo en el reforzamiento FRCM adquirido después de la falla se lo puede obtener con la siguiente ecuación:

Ecuación 17

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_f \text{ donde } \varepsilon_{fe} \leq \varepsilon_{fd}$$

El diseño de la resistencia a la flexión, es calculado de acuerdo a la ecuación:

Ecuación 18

$$\phi m M_n = \phi m (M_s + M_f)$$

Limitaciones de diseño.- Para limitar la fuerza total por unidad de ancho transferido al hormigón, el incremento en resistencia a flexión proveído por el refuerzo FRCM no debería exceder 50% de la capacidad de flexión existente de la estructura sin flexionar. Este aumento debería ser controlado antes de aplicar el factor de la reducción de resistencia y no puede exceder el límite de fortalecimiento establecido en ACI 562.

Para predecir la capacidad flexural se ha tomado en cuenta las directrices sacadas de ACI 440.2R (2008) y ACI 549.4R (2013), que fueron utilizadas por Vanessa Pino, University of Miami para elaborar el cálculo numérico del sistema de reforzamiento FRCM.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1.- TIPO DE ESTUDIO.

El presente trabajo de investigación es de Tipo Exploratorio, por tratarse de un tema innovador. También es de Tipo correlacional por la relación entre variables, dependiente e independiente. Por su enfoque se utilizara el Método Experimental en Laboratorio, ya que la investigación se basara en la manipulación de una variable experimental no comprobada, para comprender el comportamiento a flexión y compresión de vigas y columnas elaboradas con concreto reforzado con sistemas FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio, en condiciones creadas en laboratorio y sometidas a un control.

2.2.- POBLACIÓN DE MUESTRA

2.2.1.- Población.

La población que se utilizara en la investigación son los materiales compuestos usados en la construcción para el fortalecimiento de estructuras de concreto reforzado.

2.2.3.- Muestra.

En la presente investigación se tomó como muestra los materiales compuestos FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio para el fortalecimiento de columnas y vigas de concreto reforzado; para eso se realizó los siguientes ensayos:

Tabla 8 Resumen de ensayos de caracterización de fibras y materiales para el sistema FRCM.

DESCRIPCIÓN	N° ENSAYOS
CARACTERIZACIÓN DE TEJIDO Y FIBRA DE VIDRIO	
Densidad específica	20
Masa por unidad de área	20
Densidad lineal - Tex	20
Porcentaje de absorción del hilo	10
Resistencia a la tracción hilo	10
Resistencia a la tracción tejido	40
CARACTERIZACIÓN DE TEJIDO Y FIBRA DE CABUYA	
Densidad específica (Tejido rollos, sacos)	20
Masa por unidad de área (Tejido rollos y sacos)	20
Densidad lineal - Tex (Tejido rollos y sacos)	20
Porcentaje de absorción del hilo (Tejido sacos)	10
Resistencia a la tracción hilo sin resina (tejido sacos y rollo)	20
Resistencia a la tracción hilo con resina (tejido sacos y rollo)	20
CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO	
Tracción Material compuesto + fibra de cabuya (3 Layers)	12
Flexión Material compuesto + fibra de cabuya (3 Layers)	12
Tracción Material compuesto + fibra de vidrio (2 Layers)	12
Flexión Material compuesto + fibra de vidrio (2 Layers)	12
Densidad y % de absorción Material compuesto + fibra de cabuya (3 Layers)	8
Densidad y % absorción Material compuesto + fibra de vidrio (2 Layers)	8
CARACTERIZACIÓN DE MORTERO (MATRÍZ CEMENTICIA)	
Granulometría Arena tamizada pasante del N° 20	2
Masa unitaria suelta	
Masa unitaria compactada	
Densidad SSS y % de absorción	
Elaboración de cubos de control de mortero >35 MPa (Diferentes dosificaciones)	9
Ensayo de compresión de cubos de control de mortero > 35 MPa (diferentes dosificaciones)	9
Elaboración de cubos (Dosificación para la matriz)	
Ensayo de compresión 7 días	4
Ensayo de compresión 14 días	4

Ensayo de compresión 21 días	4
Ensayo de compresión 28 días	4
Elaboración de viguetas	10
Ensayo a flexión a los 7 días	3
Ensayo a flexión a los 14 días	2
Ensayo a flexión a los 21 días	2
Ensayo a flexión a los 28 días	3
Absorción por capilaridad en función del tiempo 7 días	4
Absorción por capilaridad en función del tiempo 14 días	2
Absorción por capilaridad en función del tiempo 21 días	2
Absorción por capilaridad en función del tiempo 28 días	4
Contenido de aire	5
Tiempo de Fraguado del mortero (Método Vicat)	1
Fluidez del mortero	2
Densidad en estado fresco del mortero	3
Densidad y % de absorción en estado endurecido del mortero 7 días (Principio de Arquímedes)	2
Densidad y % de absorción en estado endurecido del mortero 14 días (Principio de Arquímedes)	2
Densidad y % de absorción en estado endurecido del mortero 21 días (Principio de Arquímedes)	2
Densidad y % de absorción en estado endurecido del mortero 28 días (Principio de Arquímedes)	2
CARACTERIZACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS Y COLUMNAS	
Granulometría Agredo grueso (Ripio Triturado)	2
Granulometría Agredo fino (Arena)	2
Granulometría Agredo grueso (Ripio Triturado Tamizado pasante 3/8")	2
Masa unitaria suelta Ripio triturado tamizado pasante 3/8"	3
Masa unitaria compactada Ripio triturado tamizado pasante 3/8"	3
Densidad SSS y % de absorción del Ripio Triturado tamizado pasante 3/8"	3
Masa unitaria suelta Arena	3
Masa unitaria compactada Arena	3
Densidad SSS y % de absorción de la Arena	3
Elaboración de cilindros de control de hormigón < 21 MPa (Diferentes Dosificaciones)	30
Ensayo de compresión de cilindros de control de hormigón < 21 MPa (diferentes dosificaciones)	30

Densidad en estado fresco del hormigón	3
Contenido de aire	5
Absorción por capilaridad en función del tiempo	8
Densidad y % absorción en estado endurecido	6
Ensayo de tracción acero corrugado 8 mm	5
Ensayo de tracción acero corrugado 6 mm	5
Ensayo de tracción acero corrugado 4.2 mm	5
Ensayo de tracción de alambre galvanizado 3.4 mm	5
Ensayo de tracción indirecta Método brasileño	5
Ensayo de Cono de Abrams	3
Ensayo de compresión de cilindros Primer día de fundición	18
Ensayo de compresión de cilindros Segundo día de fundición	13
ENSAYOS DEFINITIVOS	
ENSAYO DE COMPRESIÓN CONCÉNTRICA EN COLUMNAS	
Columnas sin refuerzo FRCM	4
Columnas + FRCM vidrio	4
Columnas +FRCM Cabuya	4
ENSAYO DE FLEXIÓN PURA EN VIGAS	
Vigas sin refuerzo FRCM	4
Vigas + FRCM vidrio	4
Vigas + FRCM Cabuya	4

2.3.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

2.3.1.- Variables independientes.

- a. Dimensiones y características físicas y mecánicas de la fibra de vidrio y fibra de cabuya.
- b. Propiedades de los materiales usados para preparar el concreto armado.
- c. Propiedades de los materiales usados para preparar el mismo compuesto FRCM.

2.3.2.- Variable Dependientes.

- a. Comportamiento a flexión y compresión de vigas y columnas reforzadas con sistemas FRCCM.

Tabla 9 Operacionalización de las Variables.

DIMENSIONES	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTES				
Dimensiones y características físicas y mecánicas de la fibra de vidrio y fibra de cabuya.	Trabajo de investigación para conocer las empresas dedicadas a la elaboración de fibras en el Ecuador y fuera del país, y la calidad y tipo de fibra.	Recomendaciones de los fabricantes de las empresas proveedoras de fibras. Investigaciones y tesis realizadas a nivel local.	Observación	Trabajos de Investigación. Información de páginas electrónicas.
Propiedades de los materiales usados para preparar el concreto armado.	Información de trabajos realizados en la UNACH para determinar el tipo de material pétreo con propiedades favorables para el diseño del mortero y 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
Propiedades de los materiales usados para preparar el mismo compuesto FRCCM.	Información de trabajos realizados en la diferentes universidad del Ecuador sobre los materiales para la elaboración del material compuesto	Trabajos de Investigación de las Universidades del Ecuador.	Ensayos de los materiales realizados en los diferentes laboratorios de las universidades a nivel nacional.	Informes y tesis de los estudiantes de las Universidades a nivel Nacional. Información de páginas electrónicas.
DEPENDIENTES				
Comportamiento a flexión y compresión de vigas y columnas reforzadas con sistemas FRCCM.	Determinación de esfuerzos a flexión y compresión concéntrica mediante ensayos en laboratorio.	Resultados obtenidos del procesamiento de datos.	Método de cálculo Estadístico. Análisis a Flexión y compresión de Vigas y Columnas.	Software. Bibliografía Técnica. Normativas

2.4.- PROCEDIMIENTOS.

La presente investigación está dividida en etapas preliminares y dos etapas de ejecución, donde en preliminares se buscara el material necesario para la elaboración del proyecto, en la primera etapa se realizaran pruebas de resistencia de mortero mayor a 35 MPa y concreto menor de 21 MPa , se hará caracterización del material compuesto con fibras de vidrio y fibras de cabuya, luego se realizara ensayos de flexión y tracción al material compuesto, después de realizar todos los ensayos se tabulara en hojas de Excel. En la segunda etapa se elaboraran columnas y vigas de concreto armado, se realizaran ensayos de flexión a las vigas y compresión a las columnas terminado el ensayo de vigas y columnas se analizaran los ensayos para realizar la respectiva comparación, como última punto se ejecutara el análisis numérico de los resultados obtenidos.

Se realizó los siguientes ensayos para determinar las características de los materiales a usarse:

1.- Ensayos para la caracterización de la fibra de cabuya.

- a. Densidad específica.
- b. Masa por unidad de Área.
- c. Densidad lineal.
- d. Resistencia a la tracción: del hilo, con resina y tejido con resina.
- e. Porcentaje de Absorción del hilo.

2.- Ensayos para la caracterización de la fibra de vidrio.

- a. Densidad específica.
- b. Masa por unidad de Área.
- c. Densidad lineal.
- d. Resistencia a la tracción: del hilo y tejido sin resina.
- e. Porcentaje de Absorción del hilo.

3.- Ensayos para la caracterización del mortero para la matriz cementicia. 0

- a. Dosificación.
- b. Agregado fino tamizado por el tamiz N°20.
 - i). Análisis granulométrico
 - ii). Porcentaje de absorción y densidad en estado SSS
 - iii). Masa unitaria suelta
 - iv). Masa unitaria compactada
- c. Ensayo de compresión 7, 14, 21, y 28 días.
- d. Ensayo de flexión 7, 14, 21, y 28 días.
- e. Ensayo de absorción de capilaridad en función del tiempo.
- f. % de absorción.
- g. Densidad en estado fresco y endurecido.
- h. Ensayo de contenido de aire.
- i. Ensayo de fraguado (Vicat).
- j. Ensayo de fluidez.

4.- Ensayos para la caracterización del material compuesto reforzado con tejidos de fibra de cabuya.

- a. Resistencia a la tracción a los 28 días.
- b. Resistencia a la flexión a los 28 días.
- c. % de absorción y densidad.

5.- Ensayos para la caracterización del material compuesto reforzado con tejidos de fibra de vidrio.

- a. Resistencia a la tracción a los 28 días.
- b. Resistencia a la flexión a los 28 días.
- c. % de absorción y densidad

6.- Ensayos para la caracterización del concreto de vigas y columnas

- a. Dosificación
- b. Agregado fino Arena.

- i). Análisis granulométrico.
 - ii). Masa unitaria suelta.
 - iii). Masa unitaria compactada.
 - iv). Determinación de la densidad SSS y % de Absorción.
- c. Agregado grueso tamizado 3/8"
 - i). Análisis granulométrico
 - ii). Masa unitaria suelta
 - iii). Masa unitaria compactada
 - iv). Determinación de la densidad SSS y % de Absorción
- d. Densidad en estado fresco y endurecido.
- e. Absorción por capilaridad en función del tiempo.
- f. Contenido de aire.
- g. % de absorción.
- h. Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.
- i. Resistencia a la tracción por compresión indirecta por el MÉTODO BRASILEÑO.

7.- Ensayo de tracción de Acero.

- a. Resistencia a la tracción de varilla de 4.2 mm.
- b. Resistencia a la tracción de varilla de 8.0 mm.
- c. Resistencia a la tracción de alambre galvanizado de 3.40 mm (N°10).

8.- Ensayos para la caracterización del hormigón armado + fibra de cabuya

- a. Resistencia a la flexión a los 35 días
- b. Resistencia a la compresión a los 35 días

9.- Ensayos para la caracterización del hormigón armado + fibra de vidrio

- a. Resistencia a la flexión a los 35 días
- b. Resistencia a la compresión a los 35 días

2.5.- MATERIALES.

En la presente investigación se usaron dos tipos de fibras: la fibra de cabuya en rollos y sacos el tejido se encuentra en sentido bidireccional y se lo obtuvo en la Plaza Dávalos de la ciudad de Riobamba se realizó todos los ensayos para determinar sus propiedades y utilizar el tejido óptimo para la investigación y la fibra de vidrio es un tejido bidireccional obtenido en rollos es de marca Combinat 1050 traído de una fábrica de textiles en la ciudad de Cuenca.



Figura 28 Fibra de cabuya y vidrio.

Para evitar que la fibra natural se deteriore dentro de la matriz cementicia se procedió a darle un tratamiento con resina poliéster transparente el cual se mezcla con un catalizador llamado Merck y un secante llamado cobalto para que haya un mejor secado de la resina ya colocada en la fibra. Para mayor adherencia en la resina se colocó arena de río tamizada para que exista rugosidad.

La matriz cementicia fue elaborada con cemento portland puzolánico tipo IP fabricado por la empresa Cemento Chimborazo, se utilizó Arena de río tamizada pasante por el N° 20 obtenida del Río Penipe, y SikaCem Plastificante es un aditivo que nos ayuda para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.



Figura 29 SikaCem Plastificante.

Para la fabricación del concreto se utilizó Ripio triturado pasante del 3/8” provenientes de la mina de Cerro negro, Arena de río obtenido del río de Penipe.

2.6.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

2.6.1.- Procedimiento del ensayo de densidad de la fibra de cabuya y vidrio (ASTMD 792-08).

Para determinar la densidad de la fibra de cabuya y vidrio se utilizó el método de ensayo que consiste en pesar una muestra que pese entre 0.5 a 2 gramos, la fibra es sumergida en agua destilada y se utilizó el método de Arquímedes.

Instrumentos:

- Balanza analítica.
- Estructura metálica.

- Alambre.
- Canasta.
- Vaso de precipitación 250 ml.
- Flexómetro

Procedimiento:

- Como primer paso cortar la fibra en longitud de 5 cm y pesar entre un rango de 0.5 a 2 gramos que equivale a 10 fibras en sentido longitudinal y 10 fibras en sentido transversal.
- Sumergir las fibras en agua destilada por 24 horas.
- Luego de transcurrido las 24 horas con papel absorbente se retira el exceso de agua.
- Armar la estructura donde se sumergirá la fibra.
- Pesar la estructura vacía.
- Procedemos a colocar agua destilada en un vaso de precipitación donde se sumergirá la fibra y pesar.
- Sumergimos la canastilla y la pesar.
- Se coloca la fibra y se la sumerge observando que la canastilla no tope en ningún sentido el vaso de precipitación.
- Con un alambre se procede a eliminar las burbujas evitando que exista aire y se procede a pesar.
- Luego los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver anexo 2**).
- Para el cálculo de la densidad específica se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 19

$$densidad = \frac{a}{(a + w - b)}$$

Dónde:

$\delta =$ densidad de la fibra en g/cm^3

a = Masa de la muestra al aire seca en g

w= Masa de la canastilla sumergida en g

b= Masa de muestra sumergida + canastilla en g



Figura 30 Ensayo de densidad de fibra de cabuya y fibra de vidrio.

2.6.2.- Procedimiento del ensayo de masa por unidad de área de la fibra de cabuya y vidrio (ISO: 3374, 2000).

La densidad por unidad de área es la relación de masa que tiene el material por una unidad de área y es medido en g/m².

Instrumentos:

- Balanza analítica.
- Flexómetro.

Procedimiento:

- Procedemos a cortar la fibra en dimensiones de 10 x 10 cm.
- Tomando en cuenta que tenga el mismo número de hilos en los dos sentidos de la fibra.
- Luego se procede a poner en el horno a 105 °C por 24 horas.

- Finalmente pesar la fibra. Su unidad de medición es g/m².
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 3**).
- La fórmula para determinar la masa por unidad de área es la siguiente:

Ecuación 20

$$M_A = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

Dónde:

M_A = masa por unidad de área g/m²



Figura 31 Ensayo por unidad de fibra cabuya y fibra de vidrio.

2.6.3.- Procedimiento del ensayo de la densidad lineal- tex de la fibra de cabuya y vidrio (ISO: 1889, 2009).

La densidad lineal es la relación que existe entre la masa en una longitud determinada, la densidad lineal se mide en g/km.

Instrumentos:

- Balanza analítica.
- Flexómetro.

Procedimiento:

- Primero cortar el hilo sea de cabuya o de vidrio en el sentido longitudinal con una distancia de 1.50m.
- Tomar las muestras necesarias.
- Ver que todas las muestras tengan la misma distancia.
- Y pesar cada una en una balanza de precisión Su unidad de medición es Tex (g/km).
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 4**).
- La fórmula para determinar el tex es la siguiente:

Ecuación 21

$$Tex = \frac{Peso (g)}{Longitud (km)}$$

Dónde:

Tex = densidad lineal g/km



Figura 32 Ensayo de densidad lineal, fibra de cabuya y fibra de vidrio.

2.6.4.- Procedimiento del ensayo de absorción del hilo de cabuya y vidrio (ISO 3344, 1997).

El ensayo de absorción de la fibra de cabuya y vidrio representa la cantidad de agua que absorbe la fibra seca.

Instrumentos:

- Balanza analítica.
- Horno.

Procedimiento:

- Primero se corta hilos de fibra de vidrio y cabuya de una longitud de 5cm y deshilar el hilo.
- Se procede a secar al horno a una temperatura de 50°C por 24 horas y pesar en balanza de alta precisión.
- Se sumergen las fibras en agua destilada por 24 horas luego de transcurrido el tiempo se les saca del agua destilada y se les retira el exceso de agua con papel absorbente y pesar en balanza de alta precisión de 0.0001 g.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 5**)
- Para el cálculo del porcentaje de absorción de la fibra se usa la siguiente formula:

Ecuación 22

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Dónde:

% Absorción = Porcentaje de absorción en %

Peso SSS = Peso al aire de la muestra saturada y superficialmente seca en g

Peso seco = Peso seco de la muestra en g

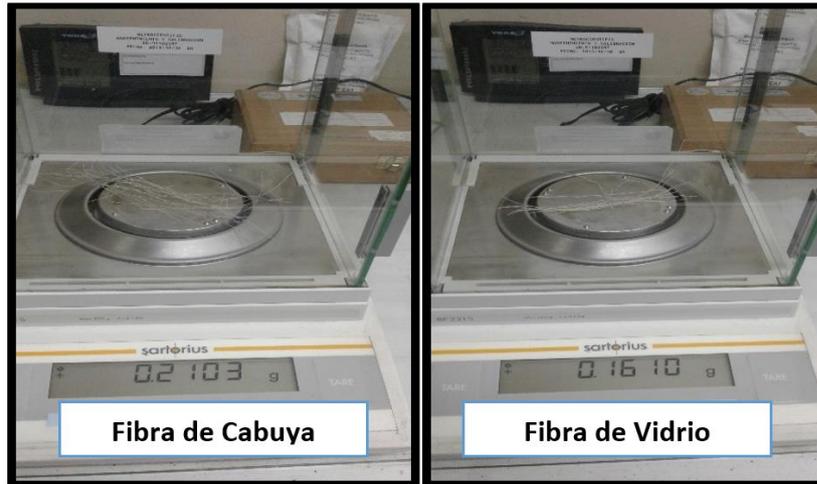


Figura 33 Ensayo de % de absorción del hilo de cabuya e hilo de vidrio.

2.6.5.- Procedimiento del ensayo de tracción del tejido de cabuya y vidrio (ISO: 4606, 1995).

La tejido de cabuya y vidrio fueron sometidos a esfuerzos de tracción para conocer con precisión el comportamiento de cada uno de ellos.

Instrumentos:

- Maquina Marshall.
- Flexómetro

Procedimiento:

- Primero se cortó muestras de tejidos de 5cm de ancho x 25cm de longitud.
- Luego se colocó resina en el tejido.
- Se procedió a colocar placas en los extremos del tejido se les pego con resina polimerica y se les sujeto con tornillos para que no se desprenda.
- Se procedió a colocar en la maquina multi – propósito “Master Load Tester” con una precarga de 5 N y una velocidad de 20 mm/min.
- Los datos se grabaron automáticamente en una computadora utilizando un transductor tipo LVDT.

- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 6**)
- Las fórmulas para determinar la resistencia a la tracción, deformación unitaria, módulo de elasticidad son las siguientes:

Resistencia máxima a la tracción.

Ecuación 23

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la tracción en MPa

P_{max} = Carga máxima antes de la rotura en N

A = área de los hilos longitudinales de la probeta en mm²

Ecuación 24

$$\text{Área}_{hilos} = \frac{\text{Tex} * \text{Número de hilos}}{\delta_{fibra} * 1000}$$

Dónde:

δ_{fibra} = densidad de la fibra en g/cm³

Deformación unitaria.

Ecuación 25

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ϵ_i = Deformación Unitaria en el punto i, en mm/mm

ϵ_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Diatancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad.

Ecuación 26

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

ϵ_i = Deformación unitaria en mm/mm

σ = Esfuerzo de la muestra en MPa

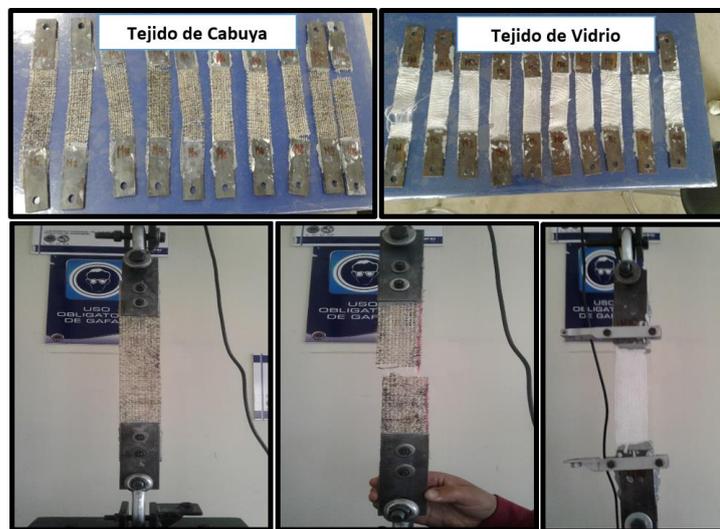


Figura 34 Ensayo de tracción de los tejidos de cabuya y vidrio.

2.6.6.- Procedimiento del ensayo de tracción del hilo sin resina de cabuya y vidrio (ISO: 2062, 2009).

Se realizó para determinar la carga que puede soportar un solo hilo sin resina de cada una de las fibras.

Instrumentos:

- Maquina Marshall.
- Flexómetro

Procedimiento:

- Primero se cortó muestras de hilos de 50 cm de longitud tomados del ensayo de densidad lineal.
- Se procedió a colocar en unas placas con tornillos que sujetaran al hilo durante la prueba.
- Se procedió a colocar en la maquina multi – propósito “Master Load Tester”.
- Los datos se grabaron automáticamente en una computadora utilizando un transductor tipo LVDT.
- Los datos son procesados en hojas Excel (**Ver Anexo 7**)
- Las fórmulas para determinar la resistencia a la tracción, deformación unitaria, módulo de elasticidad son las siguientes:

Resistencia máxima a la tracción.

Ecuación 27

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la tracción en MPa

P_{max} = Carga máxima antes de la rotura en N

A = área de los hilos longitudinales de la probeta en mm²

Ecuación 28

$$\text{Área}_{\text{hilo}} = \frac{\text{Tex}}{\delta_{\text{fibra}} * 1000}$$

Dónde:

δ_{fibra} = densidad de la fibra en g/cm³

Tex = densidad lineal de la fibra en g/km

Deformación unitaria.

Ecuación 29

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ϵ_i = Deformación Unitaria en el punto i , en mm/mm

ϵ_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Diatancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad.

Ecuación 30

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

ϵ_i = Deformación unitaria en mm/mm

σ = Esfuerzo de la muestra en MPa



Figura 35 Ensayo de tracción de hilos sin resina de vidrio y cabuya.

2.6.7.- Procedimiento del ensayo del hilo con resina de cabuya.

Este ensayo se realizó para comparar los resultados obtenidos del ensayo del hilo sin resina y saber si la carga aumenta o disminuye.

Instrumentos:

- Maquina Marshall.
- Flexómetro.

Procedimiento:

- Primero se cortó muestras de hilos de 50 cm de longitud tomados del ensayo de densidad lineal.
- Se procedió a colocar resina en cada uno de los hilos.
- Luego se procede a colocar en unas placas con tornillos que sujetaran al hilo durante la prueba.
- Se procedió a colocar en la maquina multi – propósito “Master Load Tester”.
- Los datos se grabaron automáticamente en una computadora utilizando un transductor tipo LVDT.
- Los resultados son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 8**)
- Las fórmulas para determinar la resistencia a la tracción, deformación unitaria, módulo de elasticidad son las siguientes:

Resistencia máxima a la tracción.

Ecuación 31

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la tracción en MPa

P_{max} = Carga máxima antes de la rotura en N

A = área de los hilos longitudinales de la probeta en mm²

Ecuación 32

$$\text{Área}_{\text{hilo}} = \frac{\text{Tex}}{\delta_{\text{fibra}} * 1000}$$

Dónde:

δ_{fibra} = densidad de la fibra en g/cm³

Tex = densidad lineal de la fibra en g/km

Deformación unitaria.

Ecuación 33

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ϵ_i = Deformación Unitaria en el punto i , en mm/mm

ϵ_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Diatancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad.

Ecuación 34

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

ϵ_i = Deformación unitaria en mm/mm

σ = Esfuerzo de la muestra en MPa



Figura 36 Ensayo de hilos con resina cabuya.

2.6.8.- Procedimiento para la obtención de la dosificación de resina para la fibra de cabuya.

La resina poliéster o también conocida en el mercado con el nombre de ANDERPOL 859, se utilizó en los tejidos de cabuya para evitar el deterioro de dicha fibra debido a que cuando entra en contacto con la matriz cementicia acelera el proceso y para que el tejido pueda adherirse a la matriz cementicia se le colocó arena de río tamizada pasante N°20.

Instrumentos:

- Vasos plásticos.
- Balanza

Procedimiento:

- Primero se coloca la resina en diferentes vasos de plásticos en una cantidad de 50g.

- Se procede a colocar el estireno en los diferentes vasos con diferentes cantidades para ver cuál es la óptima que le ayudará a la resina a menorar su viscosidad y sea trabajable al rato de colocarla en la fibra de cabuya.
- Luego se coloca diferentes cantidades de catalizador y secante para determinar la adecuada dosificación que nos ayudara a que la resina este totalmente endurecida en menos tiempo y con mayor trabajabilidad.

Los datos son procesados en hojas Excel. (Ver Anexo 9).

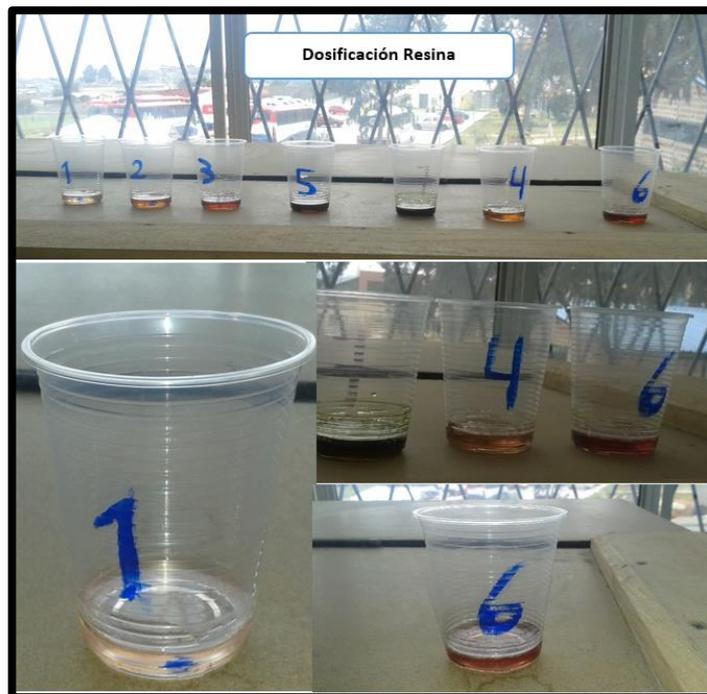


Figura 37 Determinación de la dosificación de la resina para la fibra de Cabuya.

2.7.- CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA MORTERO (MATRIZ CEMENTICIA).

La matriz cementicia es uno de los principales componentes del sistema FRCM debido a que actúa como ligante y el refuerzo queda embebido. El mortero de esta investigación debe alcanzar una resistencia $>$ a 35 MPa.

2.7.1.- Procedimiento de la granulometría de agregado fino – arena de río pasante n°20 (ASTM C136 – INEN 696,2011).

La Granulometría es la determinación del tamaño de partículas de una cantidad de muestra, se utilizó Arena de río de Penipe pasante N°20.

Instrumentos:

- Balanza.
- Tamices.
- Bandejas.
- Cucharon.
- Brocha.
- Tamizadora mecánica

Procedimiento:

- Muestreo del agregado fino.
- Secado de la muestra en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pesar 2000 gramos de arena de río de masa.
- Asegúrese que los tamices estén limpios, antes de la prueba colocamos los tamices de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, dichos tamices se ordenaran de la siguiente manera: N°20, N°30, N°40, N°50, N°100, N° 200 y la bandeja. Colocamos la muestra cuidadosamente sobre el primer tamiz, se coloca la tapa y se efectúa la operación de tamizado durante tres minutos, en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.
- Esperar un tiempo determinado hasta que las partículas finas del agregado se asienten.

- Colocar en las bandejas evitando perdida del agregado adherido al tamiz con ayuda de una brocha, y pesar dichas cantidades retenidas.
- Registrar los datos en la tabla de resultados.
- Guardar la muestra y repetir el procedimiento para obtener una segunda lectura.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 10**).

Para realizar los cálculos se utilizaran las siguientes formulas:

Porcentaje Retenido Acumulado.

Ecuación 35

$$\%Retenido\ acumulado = \frac{Masa\ retenida\ acumulada\ (g)}{Masa\ inicial\ (g)} * 100$$

Porcentaje Que Pasa.

Ecuación 36

$$\% Pasa = 100\% - \%Retenido\ Acumulado$$

Módulo de Finura.

Ecuación 37

$$Modulo\ de\ finura = \frac{\sum \%Pasa}{100}$$

Porcentaje de Error

Ecuación 38

$$\% Error = \frac{Masa\ inicial\ (g) - Masa\ final(g)}{Masa\ final(g)} * 100$$



Figura 38 Análisis granulométrico del agrado pasante el tamiz N° 20

2.7.2.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la masa unitaria compacta del agregado fino (INEN 858, 2010).

El proceso a seguir para la determinación de la masa unitaria compactada del agregado fino es la siguiente:

- Muestreo del agregado fino.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se procede a la calibración del molde.
 - a. Tomar el molde indicado para el agregado fino y determinar su masa más la placa de vidrio.
 - b. Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - c. Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - d. Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - e. Calcular el volumen del molde.

- En el molde se deposita la muestra a ensayarse, tanto del agregado fino cada uno en su molde respectivo.
- Llenamos el molde con el agregado respectivamente hasta 1/3 de su volumen y con la varilla de compactación procedemos a dar 25 golpes desde el borde y con forma circular hasta llegar al centro del molde sin que este tope la base del mismo, para que de esta manera se haya dado una compactación uniforme, la compactación se realiza con un mismo operador.
- A continuación, se agrega material hasta 2/3 desde su volumen y nuevamente se compacta con 25 golpes.
- Se llena totalmente el molde hasta que el material sobrepase el borde superior, se vuelve a compactar con 25 golpes y se nivela la superficie con la varilla de compactación.
- Determinar la masa del recipiente más el agregado, vaciar el recipiente y mezclar el agregado fino cada uno en su bandeja respectiva.
- Repetir el mismo procedimiento, por lo menos tres veces.
- Calcular el promedio de las masas unitarias compactadas.
- Calcular la masa unitaria compactada del agregado fino.
- Los datos son Procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 11**)
- La fórmula utilizada para el cálculo de la masa unitaria compactada es:

Ecuación 39

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

Dónde:

MUC = masa unitaria compactada del agregado fino g/cm³

G = masa del agregado fino + molde en g

T = masa del molde en g

V = Volumen del molde en cm³



Figura 39 Masa unitaria compactada del agregado fino pasante del tamiz N° 20

2.7.3.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la masa unitaria suelta del agregado fino (INEN 858, 2010).

El proceso para la determinación de la masa unitaria suelta del agregado fino es el siguiente:

- Muestreo y reducción a tamaño de ensayo del agregado fino.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se procede a calibrar el molde
 - a. Tomar el molde indicado para el agregado fino determinar su masa más la placa de vidrio.
 - b. Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - c. Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - d. Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - e. Calcular el volumen del molde.
- Llenar el molde para agregado, colocando una porción de agregado fino en el molde respectivo; en forma circular; lenta y progresiva (sin

compactador); desde una altura de 50mm por encima del borde superior del recipiente.

- Nivelar la superficie del recipiente, con la varilla de compactación.
- Determinar la masa del recipiente más agregado.
- Repetir el procedimiento por lo menos unas tres veces.
- Calcular la masa unitaria del agregado fino.
- Los datos son procesados en hojas de Excel. (**Ver Anexo12**)
- La fórmula para calcular la masa unitaria suelta es :

Ecuación 40

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

Dónde:

MUS = masa unitaria compactada del agregado fino g/cm³

G = masa del agregado fino + molde en g

T = masa del molde en g

V = Volumen del molde en cm³



Figura 40 Masa unitaria suelta del agregado fino pasante del tamiz N° 20

2.7.4.- Procedimiento del ensayo de la determinación de la densidad del agregado fino (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 –INEN 856).

El proceso a seguir para la determinación de la densidad del agregado fino en estado SSS es el siguiente:

- Muestreo del agregado fino.
- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- Determinación de la masa del agregado fino y recipiente contenedor del agregado.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y dejar que la muestra se enfríe.
- Sobresaturar la muestra de agregado fino cubriéndole con agua y dejar que repose por 24 horas en una bandeja de capacidad conocida.
- Eliminar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, y esparcir la muestra en una superficie plana no absorbente, expuesta a una ligera corriente de aire y remover frecuentemente para asegurar su secado.
- Comprobar si la muestra está en estado saturado superficialmente seco (SSS).
 - Sujete el molde troncónico firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo y coloque una porción de agregado fino dentro del molde, llenando hasta que se desborde y sostenerlo con los dedos.
 - Ligeramente apisona el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pistón. Inicie cada caída 5mm arriba del borde superior, permita que el pistón caiga libremente bajo la acción gravitacional.
 - Remueva el exceso del agregado de la base y levante el molde, si la humedad superficial está presente, el agregado fino detendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado indica que alcanzado una condición de saturado superficialmente seco.

- Pesar el picnómetro vacío.
- Introduzca en el picnómetro el agregado fino en condición SSS (300-500g), y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad.
- Ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a 23 °C, y llene el nivel del agua en el picnómetro, hasta la línea de calibración.
- Agite el picnómetro, con movimientos lentos circulares para eliminar las burbujas de aire.
- Determinar la masa total del picnómetro, agregado y agua.
- Finalmente calcular la densidad en estado SSS, los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 13**).
- La fórmula para calcular la densidad SSS es la siguiente.

Ecuación 41

$$\delta = \frac{a}{(b + a - c)}$$

Dónde:

δ = densidad del agregado fino en estado SSS en g/cm³

a = masa de la muestra en estado SSS en g

b = masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración en g

c = masa del picnómetro lleno con muestra + agua hasta la marcade calibración en g



Figura 41 Ensayo de densidad SSS del agregado fino pasante por el tamiz N° 20.

2.7.5.- Procedimiento del ensayo de determinación del porcentaje de absorción del agregado fino en estado saturado superficialmente seco.

- Determinar la masa del recipiente donde se depositará la muestra de agregado fino respectivamente.
- Tomar una porción de la muestra de agregado fino en estado SSS y depositarla en el recipiente de masa conocida; registrar la masa del conjunto.
- Introducir el recipiente que contiene el agregado en el horno y someterlo a temperatura constante durante 24 horas.
- Retirar la muestra del horno y registrar nuevamente la masa del conjunto, es decir el recipiente y muestra seca.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (Ver Anexo 14)
- Para calcular el porcentaje de absorción de agua del agregado fino utilizamos la siguiente fórmula.

Ecuación 42

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

Dónde:

Peso SSS= peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca en g.



Figura 42 Ensayo de % de absorción del agregado fino pasante por el tamiz N° 20

2.8.- DOSIFICACIÓN DEL MORTERO.

En la presente investigación se realizó 2 diferentes dosificaciones de mortero para determinar la óptima que se utilizara en la elaboración del material compuesto con tejido de fibras de cabuya y vidrio:

1. Dosificación 1

Cemento	Arena	a/c
1.00	1.25	0.53

2. Dosificación 2

Cemento	Arena	a/c
1	1.10	0.47

La dosificación óptima para el material compuesto es la dosificación 2, en la dosificación se adicono SikaCem Plastificante en la cantidad de 10 gramos por cada kilogramo de cemento.

2.9.- PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE CUBOS DE MORTERO.

- Engrasar los moldes con aceite para que el mortero no se adhiera.
- Colocar los moldes en una superficie plana y nivelada los cubos.
- Realizar en 3 capas y en cada una de ellas 25 golpes.
- Con el martillo de goma dar 15 golpes alrededor del cubo para evitar vacíos en cada capa.
- Nivelar con la varilla la superficie superior.
- Etiquetar cada uno de los cubos.



Figura 43 Elaboración de cubos de mortero.

2.10.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO (INEN 2502, 2009).

Este ensayo se realizó para determinar si el contenido de agua en la mezcla es suficiente para proporcionar fluidez y el procedimiento es el siguiente:

- Limpiar y secar cuidadosamente la mesa de flujo.
- Colocar el molde de flujo en el centro.
- Colocar en el molde el mortero en dos capas.
- Compactar con 20 golpes con el compactador.
- Nivelar la muestra de mortero con el borde del molde mediante el enrasador.
- Limpiar cuidadosamente la mesa de flujo, retirando el agua que este a su alrededor del molde.
- Dejar reposar la muestra por 1 min.
- Levantar el molde e inmediatamente dejar caer la mesa 25 veces en 15 segundos.
- Luego de haber terminado la operación anterior, con el calibrador se mide los diámetros del mortero en las cuatro líneas que se encuentran que se encuentran trazadas en el plato.
- Registramos cada lectura.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 15**)



Figura 44 Ensayo de fluidez del mortero.

2.11.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO (ASTM- C138, 2009).

Este procedimiento se realiza para mezclas de mortero que tengan una buena manejabilidad, no aplica para morteros secos.

El proceso para la determinación de la densidad en estado fresco del mortero es el siguiente:

- Realizar una muestra de mortero.
- Se procede a calibrar el molde.
 - Tomar el molde indicado para realizar el ensayo de densidad determinar su masa más la placa de vidrio.
 - Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - Calcular el volumen del molde.
- Llenar el molde con mortero en 3 capas y 25 golpes en cada una de las capas.
- Nivelar la superficie del recipiente, con la varilla de compactación.
- Determinar la masa del recipiente más mortero.
- Repetir el procedimiento por lo menos unas tres veces.
- Calcular la densidad en estado fresco del mortero.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 16**).
- La fórmula para el cálculo de la densidad en estado fresco es:

Ecuación 43

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Dónde:

δ = densidad del mortero en g/cm^3

m = masa de la muestra seca, en g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 45 Ensayo de densidad de estado fresco del mortero.

2.12.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN EN ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

El principio de Arquímedes nos indica que “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”, este ensayo se realizó a los (7, 14, 21,28 días). Y se utilizó como probetas las viguetas que fueron ensayadas a flexión.

El proceso para la determinación de la densidad en estado endurecido del mortero es el siguiente:

- Tomar una muestra en estado endurecido.
- Dejar sumergida en el agua por 24h para que los poros se llenen por completo.
- Encerar la balanza con el recipiente vacío.
- Llenar un recipiente con agua.
- Con un marcador realizar la primera marca.
- Pesar la muestra antes de ser sumergida en el agua.

- Introducir la muestra en estado endurecido.
- Realizar con el marcador la segunda marca de cuanto subió el nivel de agua.
- Retirar la muestra y llenar el agua hasta la segunda marca.
- Tomar el peso del agua hasta la segunda marca.
- Se repiten los pasos para cada una de las probetas, posteriormente colocamos las muestras en el horno a 110 ° C durante 24 horas para determinar la masa seca de la muestra.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 17**).
- La fórmula para el cálculo de la densidad en estado endurecido es:

Ecuación 44

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Dónde:

δ = densidad del mortero en g/cm^3

m = masa de la muestra seca, en g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 46 Ensayo de densidad en estado endurecido del mortero.

Y para calcular el porcentaje de absorción utilizamos la siguiente formula:

Ecuación 45

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Dónde:

S = masa de la muestra SSS en g

A = masa seca al horno en g



Figura 47 Ensayo de % de absorción en estado endurecido del mortero.

2.13.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO (METODO VICAT) (INEN 158, 2009).

La norma INEN 158 establece el método de ensayo que determina el tiempo de fraguado del cemento hidráulico por medio de la aguja Vicat, se procede a realizar penetraciones periódicas en el mortero mediante la aguja Vicat, el fraguado inicial se da cuando ha transcurrido un tiempo determinado y la penetración de la aguja es de 25 mm y el tiempo de fraguado final se da cuando la aguja Vicat solo deja una pequeña señal en la superficie del mortero.

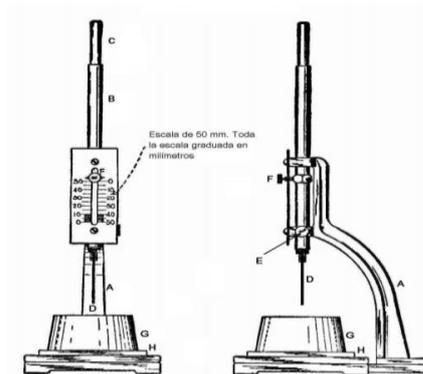


Figura 48 Aparato Vitac, Norma INEN 158, 2009.

METODO A (Aparato manual de aguja de Vicat)

- Elaborar mortero, formar una bola y lanzar aproximadamente seis veces de un lado a otro manteniendo una distancia de 150mm.
- Colocar la bola en el molde cónico llenándole por completo. Dentro del lado más ancho del anillo cónico hasta llenar completamente el anillo con mortero.
- Retirar el exceso de mortero existente en la parte superior.
- Poner el extremo ancho del molde sobre la placa no absorbente.
- Colocar la muestra al sol para que se cure en condiciones ambientales, esperar 30 min después del moldeo.
- Luego se procede a encerar la muestra dejando lisa la parte donde se tomara lectura de las medidas.
- Se le deja reposar la muestra durante 30 min.
- Pasado 30 min se empezó a determinar la penetración de la aguja, la temperatura y la húmedas .Se tomó lecturas cada 20 min, hasta obtener el fraguado inicial que se encuentra en una penetración de 25 mm o menor.
- Para realizar la penetración se debe bajar la aguja D de la varilla b hasta que tope la superficie del mortero.
- Luego se procede ajustar el tornillo E y encerar el indicador F y tomar una lectura inicial.
- Se debe soltar la varilla aflojando rápidamente el tornillo de presión E.

- Permitir que la aguja descienda.
- Tomar la lectura de penetración.
- Se debe realizar cada ensayo de penetración por lo menos a una distancia de 5 mm de cualquier penetración y a 10 mm de distancia de la cara interior del molde
- Registrar todas las lecturas de penetración junto a las de temperatura y humedad
- El fraguado final se da cuando la penetración es 0 y en el mortero la aguja deja solo una marca.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 18**)
- La fórmula para calcular el tiempo de fraguado es la siguiente:

Ecuación 46

$$\textit{Tiempo de Fraguado} = \left[\left(\frac{(H - E)}{(C - D)} \right) * (C - 25) \right] + E$$

Dónde:

H = Tiempo en minutos de la primera penetración menor a 25mm

E = Tiempo en minutos de la primera penetración mayor a 25mm

C = lectura de penetración al tiempo E

D = lectura de penetración al tiempo H



Figura 49 Ensayo de tiempo de fraguado Método Vicat.

2.14.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM-C231, 2003).

Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire del mortero fresco. La prueba determina el contenido de aire del mortero recién mezclado para evitar que exista vacío en el interior dentro de las partículas del agregado. Por esta razón es aplicable al mortero hecho con partículas de agregado realmente densas. El proceso para la determinación del contenido de aire es el siguiente:

Se utilizó el método de presión con medidor tipo B

- Tomamos el medidor tipo B.
- Elaboramos mortero.
- Humedecer el todo el aparato donde se colocara el mortero.
- Colocar en una superficie plana.
- Colocar el mortero con un cucharón en 3 capas y compactar con la varilla 20 golpes y con el martillo de goma golpear alrededor con 15 golpes.

- Enrasar el mortero utilizando la regla enrasador y limpiar el exceso de muestra existente en el borde del recipiente.
- Limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplar con las mordazas a la base.
- Sujetar las mordazas dos al mismo tiempo y en forma de cruz.
- Abrir las dos llaves de purga que se encuentran en la cubierta para inyectar agua a través de una de ellas hasta que salga por la otra en forma de chorro.
- Luego se procede a cerrar la válvula de escape de aire y se bombea aire dentro de la cámara hasta que el manómetro se encuentre en la línea de presión inicial.
- Se debe soltar la válvula principal.
- Leer el porcentaje de aire golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.
- Finalmente se debe remover la cubierta y abrir las llaves de purga.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo19**)



Figura 50 Ensayo de contenido de aire, Método de presión.

2.15.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL MORTERO (ASTM C1403).

Este procedimiento se realizó con el fin de determinar la capacidad de absorción del agua en relación del tiempo del mortero. Las probetas para este ensayo fueron tomadas las ensayadas a flexión. El ensayo se realizó a los 7, 14, 21,28 días.

Instrumentos:

- Balanza de precisión.
- Recipiente de plástico transparente.
- Tuercas de una altura aproximada a 3 mm

El procedimiento a seguir para determinar el porcentaje de absorción por capilaridad es el siguiente:

- Colocar en el horno a una temperatura de 110 °C, por el lapso de 24 horas.
- Anotamos las dimensiones de la cara que va estar en contacto con el agua.
- Realizamos una marca todo el contorno a 3 milímetros de alto de la cara que estará en contacto con el agua.
- Colocamos en el recipiente transparente las probetas sostenidas en la base por 4 tuercas, el área de las tuercas no debe ser mayor de 10% del área de la cara sumergida en el agua debido a que debe estar la mayor parte de superficie en el agua para poder absorber.
- Colocamos agua hasta llegar a la marca de 3 mm.
- Se registró datos de aumento de masa a cada tiempo determinado (1, 3, 5, 10, 15, 20, 60, 90, 120, 360 minutos y después 24 horas), debemos tomar en cuenta que el tiempo se acumulativo.
- En cada tiempo al momento que se le retira del agua se le elimina el exceso del agua con un paño absorbente.
- Debemos estar pendientes del nivel del agua donde se coloca la probeta, debido a que cada vez que se toma las lecturas el agua va disminuyendo.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 20**)

- Para determinar la absorción por capilaridad usamos la siguiente formula:

Ecuación 47

$$A_T = (W_T - W_0) \times 10000 / (L_1 \times L_2)$$

Dónde:

A_T = Absorción del agua en g/cm^2

W_T = Peso de la muestra en el tiempo t en g

W_0 = Peso de la muestra seca en g

L_1 = Longitud media de la probeta de ensayo en mm

L_2 = Ancho medio de la probeta de ensayo en mm



Figura 51 Ensayo de Absorción por capilaridad en función del tiempo.

2.16.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS CON 50mm DE ARISTA (INEN 488, 2009).

La Norma INEN 488 establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico, usando cubos de

50 mm de aristas , se realizaron 16 cubos con la dosificación establecida para ser ensayados a los 7, 14, 21,28 días, para determinar el módulo de elasticidad fueron ensayados inicialmente en la maquina Marshall y luego para determinar la resistencia a la compresión fueron llevados a la maquina universal donde mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión se determinó la resistencia máxima admisible.

Instrumentos:

Procedimiento de la elaboración de cubos.

- Elaboración de la mezcla de mortero.
- Colocar los encofrados en una superficie totalmente nivelada.
- Se procede a colocar la primera capa de mortero en los moldes y compactar por el método de varillado manual con 25 golpes, la compactación se debe realizar uniformemente por toda la superficie.
- Después de a ver realizado el paso anterior se debe colocar la segunda capa y volver a compactar, después de haber realizado ese procedimiento se debe enrasar los moldes retirando el exceso de mortero.
- Transcurrido horas de haber realizado los cubos de mortero se procede a desencofrar e inmediatamente se les coloca en la piscina de curado.

Procedimiento ensayo de resistencia a la compresión.

- Retirar las muestras a ser ensayadas de la piscina de curado, eliminar el exceso de agua.
- Registrar las dimensiones de la muestra y su respectivo peso.
- Colocar la muestra en la maquina universal y verificar que la arista este apoyada totalmente sobre la mesa de ensayo.
- Todos los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 21**)

Para determinar el módulo de elasticidad la muestra antes de ser sometida a compresión, se la colocó en la máquina Marshall a una velocidad de 0.05 in/min obteniendo valores de carga y deformación. Las fórmulas utilizadas son las siguientes que se detallan a continuación:

Resistencia a la compresión:

Ecuación 48

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a compresión en MPa

F_{max} = Carga máxima antes de la ruptura en N

A = Área de aplicación de la carga en mm²

Deformación unitaria:

Ecuación 49

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

ε_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Distancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad:

Ecuación 50

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \varepsilon_i - 20\% \varepsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

σ = Esfuerzo máximo en MPa

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm



Figura 52 Ensayo de compresión de cubos 50 mm de arista.

2.17.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTERO (INEN 198).

La norma INEN 198 el objeto es establecer métodos para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico usando primas de 40 x40 x 160 mm y su método de ensayo consiste en la aplicación de una carga progresiva de flexión a un prisma de cemento hidráulico hasta determinar su resistencia máxima admisible.

Procedimiento de elaboración de viguetas de mortero para ensayo de flexión:

- Preparar los moldes de las viguetas recubriéndoles toda la superficie con aceite, los moldes se les debe colocar en una superficie totalmente plana.
- Elaborar mortero para realizar las viguetas.
- Colocar una capa de mortero en la parte inferior de molde de una altura aproximada de 20 mm, y proceder a compactar con 12 ligeros varillados alrededor de la mezcla.
- Luego de haber realizado el paso anterior se vuelve a colocar mortero y se vuelve a varillar.

- Después de haber terminado de varillar se procede a enrasar los moldes retirando el exceso de mortero.
 - A las 24 horas se procede a desencofrar las probetas para dar inicio al proceso de curado que consiste en sumergir las probetas en agua hasta el día de ensayo de cada una de ellas
- Los ensayos de realizaron a los 7, 14, 21,28 días.

Procedimiento de ensayo de resistencia a la flexión:

- Primero se retiran las probetas a ser ensayadas de la cámara de curado, se les retira el exceso de agua.
- Se procede a tomar dimensiones largo, ancho y profundidad de cada una de las probetas.
- Luego se le marca la vigueta de la mitad 5cm a cada lado, donde esto nos ayudara para colocar en cilindros que servirán como apoyo dejando una distancia de 10cm de apoyo a apoyo.
- Se coloca la probeta en la maquina Marshall a una velocidad de 0.07 in/min.
- Se le aplica una carga verticalmente, colocando el cilindro de carga sobre la cara lateral opuesta del prisma en el centro.
- Dando como resultado valores de carga y deformación.
- Todos los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 22**)
- Con las siguientes fórmulas determinaremos las siguientes propiedades:

Resistencia máxima a la flexión:

Ecuación 51

$$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2}$$

Dónde:

σ_{max} = *esfuerzo último a flexión en MPa*

F_{max} = *carga máxima antes de la ruptura en N*

L = distancia entre centro de apoyos en mm

b_v = ancho de la sección transversal en mm

d = alto de la sección transversal en mm

Deformación unitaria:

Ecuación 52

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

ε_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Distancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad:

Ecuación 53

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \varepsilon_i - 20\% \varepsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

σ = Esfuerzo máximo en MPa

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

Deflexión máxima:

Ecuación 54

$$\Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$$

Dónde:

F_{max} = carga máxima antes de la ruptura en N

Δ_{max} = deflexión maxima a flexión en mm

L = distancia entre centro de apoyos en mm

E = Módulo de Elasticidad en MPa

I = inercia en mm⁴



Figura 53 Ensayo de flexión de mortero.

2.18.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

La caracterización del material es relevante debido a que estos en su mayoría poseen una alta resistencia mecánica y al mismo tiempo tienen baja densidad, lo cual permite realizar estructuras y dispositivos resistentes y a la vez livianos. Se realizaron 40 muestras de material compuesto; 10 con tejido de cabuya en rollos con 3 layers, 10 con tejido de cabuya en sacos con 3 layers y 20 con tejido de vidrio con 2 layers, la matriz cementicia fue elaborada con una dosificación 1: 1.10, se debe tomar en cuenta que en los tejidos de cabuya se les colocó resina poliéster.

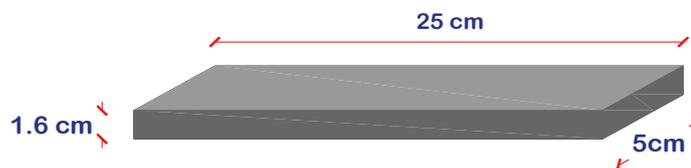


Figura 54 Dimensiones del material compuesto.



Figura 55 Material compuesto de cabuya y vidrio.

2.19.- PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO.

Para la elaboración de las probetas de material compuesto se siguió el siguiente procedimiento:

- Elaborar 20 moldes de madera con dimensiones de 25 x 5 x 1.6 cm, impermeabilizar el molde para que la madera no absorba el agua por ningún lado.
- Colocar en todo el molde una capa de aceite para evitar que el mortero se adhiera al molde.
- Elaborar la mezcla de mortero con la dosificación 1:1.10.
- Colocar en la parte inferior una capa delgada aproximadamente de 3 mm y esparcir por toda la superficie con la ayuda del martillo de goma.
- Colocar el mortero en los tejidos tanto de cabuya como de vidrio y hacer presión dejando una capa ligera en el medio de los tejidos y se les compacta con los dedos para que no queden espacios vacíos.
- Se procede a enrasar los moldes, se limpian los bordes.
- Luego se procede a colocar papel absorbente mojado para evitar la evaporación del agua y que los materiales compuestos se fisuren.
- Se desencoforman los materiales compuestos a los 3 días de su fundición.



Figura 56 Elaboración de probetas de material compuesto de Cabuya y Vidrio.

2.20.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (ASTM-C1275, 2016).

Una de las principales propiedades mecánicas que se debe estudiar es la resistencia a la tracción debido que mediante esta propiedad se determinara la capacidad de este componente para reforzamiento, para establecer las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de vidrio, cabuya y la matriz cementicia ya que estos componentes dentro de la investigación están diseñados para trabajar a esfuerzos de tracción. Los materiales compuestos tanto de vidrio como de cabuya se los ensayaron a los 28 días.

Procedimiento:

- Se procedió a colocar placas en los extremos del tejido se les pego con resina poliéster y se les sujeto con tornillos para que no se desprenda.
- Se procedió a colocar en la maquina multi – propósito “Master Load Tester” con una precarga de 5 N y una velocidad de 0.5 mm/min.

- Los datos se grabaron automáticamente en una computadora utilizando un transductor tipo LVDT.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 23**)
- Las fórmulas para determinar la resistencia a la tracción, deformación unitaria, módulo de elasticidad son las siguientes:

Resistencia a la tracción:

Ecuación 55

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = *esfuerzo último a tracción en MPa*

F_{max} = *carga máxima antes de la ruptura en N*

A = *área de aplicación de la carga en mm²*

Deformación unitaria:

Ecuación 56

$$\varepsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = *Deformación unitaria en el punto i en mm/mm*

ϵ_i = *Deformación en el punto i en mm*

L_o = *Distancia de calibración en mm*

Módulo de elasticidad:

Ecuación 57

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \varepsilon_i - 20\% \varepsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

σ = Esfuerzo máximo en MPa

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm



Figura 57 Ensayo de tracción del material compuesto con fibra de Cabuya y Vidrio.

2.21.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (ASTM-C1341, 2013).

El ensayo para determinar la resistencia a la flexión del mortero en el uso del material compuesto apoyado en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre. Según la teoría de flexión en la parte superior de la muestra trabaja a compresión, mientras que en la parte inferior lo hace a tracción. El material compuesto fue ensayado a los 28 días.

Procedimiento de ensayo de resistencia a la flexión:

- Luego se le marca la muestra de material compuesto de la mitad 10cm a cada lado, donde esto nos ayudara para colocar en los apoyos dejando una distancia de 20cm de apoyo a apoyo.
- Se coloca la probeta en la maquina Marshall a una velocidad de 0.5 mm/min con una precarga de 5 N.
- Dando como resultado valores de carga y deformación.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (Ver Anexo 24)
- Con las siguientes formulas determinaremos las siguientes propiedades:

Resistencia máxima a la flexión:

Ecuación 58

$$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2}$$

Dónde:

σ_{max} = esfuerzo último a flexión en MPa

F_{max} = carga máxima antes de la ruptura en N

L = distancia entre centro de apoyos en mm

b_v = ancho de la sección transversal en mm

d = alto de la sección transversal en mm

Deformación unitaria:

Ecuación 59

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

ε_i = Deformación en el punto i en mm

L_o = Distancia de calibración en mm

Módulo de elasticidad:

Ecuación 60

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \varepsilon_i - 20\% \varepsilon_i)}$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad en MPa

σ = Esfuerzo máximo en MPa

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

Deflexión máxima:

Ecuación 61

$$\Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$$

Dónde:

F_{max} = carga máxima antes de la ruptura en N

Δ_{max} = deflexión máxima a flexión en mm

L = distancia entre centro de apoyos en mm

E = Módulo de Elasticidad en MPa

I = inercia en mm⁴

Energía absorbida:

Área bajo la curva [N] vs. Deformación en [m]

Energía de fractura:

Ecuación 62

$$E_T = \frac{Area_c}{b_v * d}$$

Dónde:

E_T = energía de fractura en J/m^2

Área_c = área bajo la curva en J

b_v = ancho de la sección transversal en m

d = alto de la sección transversal en m



Figura 58 Ensayo de flexión de material compuesto de fibra de Cabuya y Vidrio.

2.22.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

El principio de Arquímedes nos indica que “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”, este ensayo se realizó a los (28 días). Y se utilizó como probetas Los materiales compuestos.

El proceso para la determinación de la densidad en estado endurecido del material compuesto es el siguiente:

- Tomar una muestra en estado endurecido.
- Dejar sumergida en el agua por 24h para que los poros se llenen por completo.
- Encerar la balanza con el recipiente vacío.
- Llenar un recipiente con agua.
- Con un marcador realizar la primera marca.
- Pesar la muestra antes de ser sumergida en el agua.
- Introducir la muestra en estado endurecido.
- Realizar con el marcador la segunda marca de cuanto subió el nivel de agua.
- Retirar la muestra y llenar el agua hasta la segunda marca.
- Tomar el peso del agua hasta la segunda marca.
- Se repiten los pasos para cada una de las probetas, posteriormente colocamos las muestras en el horno a 110 ° C durante 24 horas para determinar la masa seca de la muestra.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 25**)
- La fórmula para el cálculo de la densidad del material compuesto es:

Ecuación 63

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Dónde:

δ = densidad del mortero en g/cm^3

m = masa de la muestra seca en g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 59 Ensayo de densidad en estado endurecido del hormigón.

Y para calcular el porcentaje de absorción utilizamos la siguiente formula:

Ecuación 64

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Dónde:

S = masa de la muestra SSS en g

A = masa seca al horno en g



Figura 60 Ensayo de % de Absorción en estado endurecido del hormigón.

2.23.- CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO.

El concreto armado es uno de los principales elementos en estudio debido a que se realizaron modelos a escala de vigas y columnas con un hormigón de resistencia menor a 21 MPa a los 35 días debido a que la colocación del material compuesto para el reforzamiento se lo colocara a los 7 días después de la fundición, se debe recalcar que para la determinación de la dosificación se hicieron diferentes pruebas previas a la obtención de la dosificación final, los materiales utilizados en el hormigón son: Cemento Chimborazo, Arena de río obtenida de la mina de Penipe, Ripio triturado pasante del 3/8" obtenido de la mina de Cerro Negro, los agregados fueron secados al horno a una temperatura de 110 °C para poder trabajar con una relación agua cemento constante al momento de la fundición.

2.24.- PROCEDIMIENTO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO – ARENA DE RÍO (ASTM C136 – INEN 696,2011).

El proceso a seguir para el análisis granulométrico de la arena de río es el siguiente:

- Muestreo del agregado fino.

- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- Secado de la muestra en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pesar 2000 gramos de arena de río de masa.
- Asegúrese que los tamices estén limpios, antes de la prueba colocamos los tamices de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, dichos tamices se ordenaran de la siguiente manera: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N° 200 y la bandeja.
- Colocamos la muestra cuidadosamente sobre el primer tamiz, se coloca la tapa y se efectúa la operación de tamizado durante tres minutos, en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.
- Esperar un tiempo determinado hasta que las partículas finas del agregado se asienten.
- Colocar en las bandejas evitando pérdida del agregado adherido al tamiz con ayuda de una brocha, y pesar dichas cantidades retenidas.
- Registrar los datos en la tabla de resultados.
- Guardar la muestra y repetir el procedimiento para obtener una segunda lectura.
- Realizar los cálculos y gráficos de los resultados.
- Los resultados son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 26**).
- Para realizar los cálculos se utilizaran las siguientes formulas:

Porcentaje Retenido Acumulado:

Ecuación 65

$$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$$

Porcentaje Que Pasa:

Ecuación 66

$$\% Pasa = 100\% - \%Retenido Acumulado$$

Módulo de Finura:

Ecuación 67

$$Modulo de finura = \frac{\sum \%Pasa}{100}$$

Porcentaje de Error:

Ecuación 68

$$\% Error = \frac{Masa inicial (g) - Masa final(g)}{Masa final(g)} * 100$$



Figura 61 Ensayo de Análisis Granulométrico de la Arena no tamizada.

2.25.- PROCEDIMIENTO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO – RIPIO TRITURADO (ASTM C136).

El proceso a seguir para el análisis granulométrico del agregado grueso es el siguiente:

- Muestreo del agregado grueso.
- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- Determinación de la masa del agregado grueso, así como el recipiente contenedor del agregado.
- Secado de la muestra en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pesar 3000 gramos de ripio triturado de masa constante.
- Asegúrese que los tamices estén limpios, antes de la prueba colocamos los tamices de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, dichos tamices se ordenaran de la siguiente manera: 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, N°4 y la bandeja.
- Colocamos la muestra cuidadosamente sobre el primer tamiz, se coloca la tapa y se efectúa la operación de tamizado durante tres minutos, en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.
- Esperar un tiempo determinado hasta que las partículas finas del agregado se asienten.
- Colocar en las bandejas evitando pérdida del agregado adherido al tamiz con ayuda de una brocha, y pesar dichas cantidades retenidas.
- Registrar los datos en la tabla de resultados.
- Guardar la muestra y repetir el procedimiento para obtener una segunda lectura.
- Realizar los cálculos y gráficos de los resultados.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 27**)

NOTA: También se realizó granulometría del Ripio triturado de todo el material que pasa el tamiz 3/8”, es el mismo procedimiento solo cambia la numeración de

los tamices que a continuación los enumerare: 3/8", 1/ 4", N°4, N°8, N°16, N°20 y la bandeja.

Para realizar los cálculos se utilizaran las siguientes formulas.

Porcentaje Retenido Acumulado:

Ecuación 69

$$\%Retenido\ acumulado = \frac{Masa\ retenida\ acumulada\ (g)}{Masa\ inicial\ (g)} * 100$$

Porcentaje Que Pasa:

Ecuación 70

$$\% Pasa = 100\% - \%Retenido\ Acumulado$$

Módulo de Finura:

Ecuación 71

$$Modulo\ de\ finura = \frac{\sum \%Pasa}{100}$$

Porcentaje de Error:

Ecuación 72

$$\% Error = \frac{Masa\ inicial\ (g) - Masa\ final(g)}{Masa\ final(g)} * 100$$



Figura 62 Ensayo granulométrico del agregado grueso tamizado y no tamizado.

2.26.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858,2010).

El proceso a seguir para la determinación de la masa unitaria compactada del agregado grueso y fino es la siguiente:

- Muestreo del agregado grueso y fino.
- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo mediante cuarteo.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se procede a la calibración del molde.
 - Tomar el molde indicado para el agregado fino y grueso y determinar su masa más la placa de vidrio.

- Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - Calcular el volumen del molde.
- En el molde se deposita la muestra a ensayarse, tanto del agregado grueso y fino cada uno en su molde respectivo.
 - Llenamos el molde con el agregado respectivamente hasta 1/3 de su volumen y con la varilla de compactación procedemos a dar 25 golpes desde el borde y con forma circular hasta llegar al centro del molde sin que este tope la base del mismo, para que de esta manera se haya dado una compactación uniforme, la compactación se realiza con un mismo operador.
 - A continuación, se agrega material hasta 2/3 desde su volumen y nuevamente se compacta con 25 golpes.
 - Se llena totalmente el molde hasta que el material sobrepase el borde superior, se vuelve a compactar con 25 golpes y se nivela la superficie con la varilla de compactación.
 - Determinar la masa del recipiente más el agregado, vaciar el recipiente y mezclar el agregado grueso en su bandeja respectiva.
 - Repetir el mismo procedimiento, por lo menos tres veces.
 - Calcular el promedio de las masas unitarias compactadas.
 - Calcular la masa unitaria compactada del agregado grueso y fino.
 - Los datos son procesados en Hojas Excel (**Ver Anexo 28**).
 - La fórmula para calcular la masa unitaria compactada es:

Ecuación 73

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

Dónde:

$MUC = \text{masa unitaria compactada del agregado fino } g/cm^3$

$G = \text{masa del agregado fino + molde en } g$

$T = \text{masa del molde en } g$

$T = \text{masa del molde en } g$



Figura 63 Ensayo de la determinación de la masa unitaria compactada del agregado fino y grueso.

2.27.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO (INEN 858).

El proceso para la determinación de la masa unitaria suelta del agregado grueso y fino es el siguiente:

- Muestreo y reducción a tamaño de ensayo del agregado grueso y fino.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se procede a calibrar el molde.

- Tomar el molde indicado para el agregado grueso y fino y determinar su masa más la placa de vidrio.
 - Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - Calcular el volumen del molde.
- Llenar el molde para agregado, colocando una porción de agregado grueso en el molde respectivo; en forma circular; lenta y progresiva (sin compactador); desde una altura de 50mm por encima del borde superior del recipiente.
 - Nivelar la superficie del recipiente, con la varilla de compactación.
 - Determinar la masa del recipiente más agregado.
 - Repetir el procedimiento por lo menos unas tres veces.
 - Calcular la masa unitaria del agregado grueso y fino.
 - Los datos son procesados en hojas de Cálculo Excel. (**Ver Anexo 29**)
 - La fórmula para el cálculo de masa unitaria suelta es:

Ecuación 74

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

Dónde:

$MUS =$ masa unitaria suelta del agregado fino g/cm^3

$G =$ masa del agregado fino + molde en g

$T =$ masa del molde en g

$V =$ Volumen del molde en cm^3



Figura 64 Ensayo de masa unitaria suelta agregado fino y grueso.

2.28.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 –INEN 856).

El proceso a seguir para la determinación de la densidad del agregado fino en estado SSS es el siguiente:

- Muestreo del agregado fino.
- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- Determinación de la masa del agregado fino y recipiente contenedor del agregado.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y dejar que la muestra se enfríe.
- Sobresaturar la muestra de agregado fino cubriéndole con agua y dejar que repose por 24 horas en una bandeja de capacidad conocida.

- Eliminar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, y esparcir la muestra en una superficie plana no absorbente, expuesta a una ligera corriente de aire y remover frecuentemente para asegurar su secado.
- Comprobar si la muestra está en estado saturado superficialmente seco (SSS).
 - Sujete el molde troncónico firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo y coloque una porción de agregado fino dentro del molde, llenando hasta que se desborde y sostenerlo con los dedos.
 - Ligeramente apisone el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pistón. Inicie cada caída 5mm arriba del borde superior, permita que el pistón caiga libremente bajo la acción gravitacional.
 - Remueva el exceso del agregado de la base y levante el molde, si la humedad superficial está presente, el agregado fino detendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado indica que alcanzado una condición de saturado superficialmente seco.
- Pesar el picnómetro vacío.
- Introduzca en el picnómetro el agregado fino en condición SSS (300-500g), y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad.
- Ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a 23 °C, y llene el nivel del agua en el picnómetro, hasta la línea de calibración.
- Agite el picnómetro, con movimientos lentos circulares para eliminar las burbujas de aire.
- Determinar la masa total del picnómetro, agregado y agua.
- Los datos son procesados en hojas de Cálculo Excel. (**Ver Anexo 30**)
- Finalmente calcular la densidad en estado SSS con siguiente fórmula:

Ecuación 75

$$\delta = \frac{a}{(b + a - c)}$$

Dónde:

δ = densidad del agregado fino en estado SSS en g/cm^3

a = masa de la muestra en estado SSS en g

b = masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración en g

c = masa del picnómetro lleno con muestra + agua hasta la marca de calibración en g



Figura 65 Ensayo de Densidad en estado SSS del agregado fino.

2.29.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C127 –INEN 857).

El proceso a seguir para la determinación de la densidad del agregado grueso en estado SSS es el siguiente:

- Muestreo del agregado grueso.

- Reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- De la muestra rechazar el material que pasa por el tamiz N° 4 y lavar la muestra destinada para el ensayo, para eliminar recubrimientos superficiales de las partículas.
- Determinación de la masa del agregado grueso y recipiente contenedor del agregado.
- Secado de las muestras en el horno hasta una masa constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y dejar que la muestra se enfríe.
- Para poder saturar el material, colocar en un recipiente lleno de agua la muestra de agregado, esta etapa se la realiza 24 horas previas a la realización del ensayo.
- Transcurridas las 24 horas desalojar el agua del recipiente que se encuentra saturado el agregado.
- Retirar la muestra de agua y secarla con una franela, hasta eliminar la humedad superficial, se tendrá cuidado de la evaporación del agua contenida en el agregado.
- Determinar la masa de la canastilla en la balanza de precisión de 0.1g.
- Colocar el agregado en la canastilla y determinar el peso en el aire.
- Se sumerge la canastilla en un tanque con agua y se procede a determinar la masa sumergida utilizando una balanza equipada con un dispositivo central.
- Colocamos la muestra de agregado grueso en la canastilla y sumergirla en el tanque con agua, no olvidar que se deben eliminar las burbujas de aire atrapado en la canastilla con movimientos lentos, y determinar su masa.
- Finalmente calcular la densidad en estado SSS.
- Los datos son procesados en hojas de Cálculo Excel. (**Ver Anexo 31**)
- Con la siguiente formula determinaremos la densidad en estado SSS del agregado grueso:

Ecuación 76

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Dónde:

δ = densidad del agregado grueso en g/cm^3

m = masa de la muestra seca g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 66 Ensayo de densidad en estado SSS del agregado grueso.

2.30.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.

- Determinar la masa del recipiente donde se depositará la muestra de agregado fino y grueso respectivamente.
- Tomar una porción de la muestra de agregado grueso y fino en estado SSS y depositarla en el recipiente de masa conocida; registrar la masa del conjunto.
- Introducir el recipiente que contiene el agregado en el horno y someterlo a temperatura constante durante 24 horas.
- Retirar la muestra del horno y registrar nuevamente la masa del conjunto, es decir el recipiente y muestra seca.

- Calcular el % de absorción del agregado fino y grueso.
- Los datos son procesados en Hojas Excel. (**Ver Anexo 32**)

Para calcular el porcentaje de absorción de agua del agregado fino y grueso se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 77

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

Dónde:

Peso SSS = peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca en g



Figura 67 Ensayo de % de absorción del agregado grueso y fino.

2.31.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN (ASTM C 138).

Este procedimiento se realiza para mezclas de concreto que tengan una buena manejabilidad, no aplica para concretos secos.

El proceso para la determinación de la densidad en estado fresco del hormigón es el siguiente:

- Realizar una muestra de hormigón.
- Se procede a calibrar el molde.
 - Tomar el molde indicado para realizar el ensayo de densidad determinar su masa más la placa de vidrio.
 - Llenar el recipiente con agua y cubrirlo con la placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
 - Registrar la masa del molde más agua y placa de vidrio.
 - Medir la temperatura y determinar la densidad.
 - Calcular el volumen del molde.

- Llenar el molde con mortero en 3 capas y 25 golpes en cada una de las capas.
- Nivelar la superficie del recipiente, con la varilla de compactación.
- Determinar la masa del recipiente más hormigón.
- Repetir el procedimiento por lo menos unas tres veces.
- Calcular la densidad en estado fresco del hormigón.
- Los datos son procesados en Hojas Excel. (**Ver Anexo 33**)
- La fórmula para el cálculo de la densidad en estado fresco es:

Ecuación 78

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Dónde:

δ = densidad del hormigón en g/cm^3

m = masa de la muestra seca, en g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 68 Ensayo de densidad en estado fresco del hormigón.

2.32.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN (ASTM C231).

Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire del hormigón fresco. La prueba determina el contenido de aire del hormigón recién mezclado para evitar que exista vacío en el interior dentro de las partículas del agregado. Por esta razón es aplicable al hormigón hecho con partículas de agregado realmente densas.

El proceso para la determinación del contenido de aire es el siguiente:

Se utilizó el método de presión con medidor tipo B

- Tomamos el medidor tipo B.
- Elaboramos hormigón con la dosificación ya determinada.
- Humedecer el todo el aparato donde se colocara el hormigón.
- Colocar en una superficie plana.
- Colocar el hormigón con un cucharón en 3 capas y compactar con la varilla 20 golpes y con el martillo de goma golpear alrededor con 15 golpes.

- Enrasar el hormigón utilizando la regla enrasador y limpiar el exceso de muestra existente en el borde del recipiente.
- Limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplar con las mordazas a la base.
- Sujetar las mordazas dos al mismo tiempo y en forma de cruz.
- Abrir las dos llaves de purga que se encuentran en la cubierta para inyectar agua a través de una de ellas hasta que salga por la otra en forma de chorro.
- Luego se procede a cerrar la válvula de escape de aire y se bombea aire dentro de la cámara hasta que el manómetro se encuentre en la línea de presión inicial.
- Se debe soltar la válvula principal.
- Leer el porcentaje de aire golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.
- Finalmente se debe remover la cubierta y abrir las llaves de purga.
- Los datos son procesados en Hojas Excel (**Ver Anexo 34**)



Figura 69 Ensayo de contenido de aire en el Hormigón.

2.33.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL HORMIGÓN (ASTM C 1585).

El ensayo de absorción por capilaridad es un método para determinar la tasa de absorción o capacidad de absorción de agua por el hormigón de cemento hidráulico midiendo el aumento de agua en la masa de una muestra en función del tiempo, la muestra es solo expuesta solo 3 mm de una de sus caras. Con este método podemos determinar la capacidad de absorción del hormigón.

Instrumentos:

- Balanza.
- Recipiente de Vidrio o de plástico.
- Marcador

Procedimiento:

Preparación de la muestra de hormigón:

- Elaborar el hormigón con la dosificación escogida.
- Colocar aceite en los moldes.
- Proceder a colocar el hormigón en los moldes en tres capas y compactar cada una de ellas.
- Luego con el martillo de goma eliminar el aire interior del hormigón.
- Enrasamos la superficie superior, para tener superficies perfectamente lisas.
- A los 3 días procedemos a desencofrar.

Ensayo de absorción por capilaridad del hormigón.

- A los 28 días procedemos al ensayo de absorción por capilaridad debido a que el hormigón alcanza su resistencia final, a continuación el esquema del ensayo:

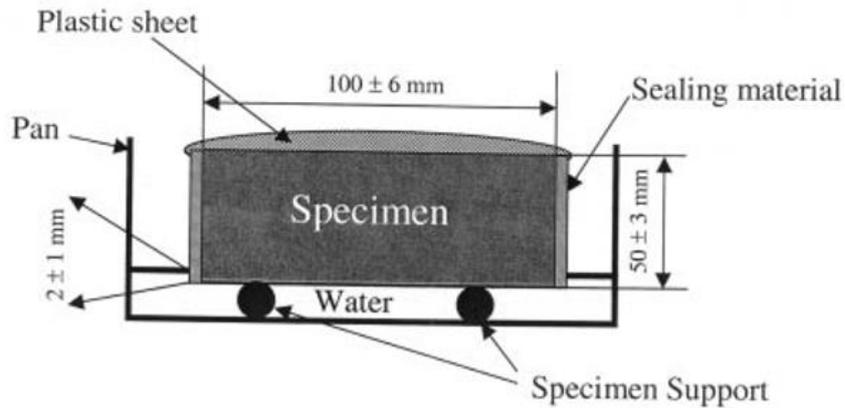


Figura 70 Esquema de ensayo de absorción por capilaridad en función del tiempo del hormigón.

- Colocar las muestras a secar en el horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas.
- Proceder a realizar una marca de 3 mm de su longitud desde el filo de la cara que va estar en contacto con el agua y marcar en todo su contorno de la probeta.
- Colocamos 4 tuercas que soportaran el peso de la probeta y no excedan el 10% de la superficie en unos recipientes de plástico o de vidrio transparente.
- Colocar agua hasta que llegue a la marca señalada en cada una de las probetas de hormigón.
- Registrar el aumento de la masa de cada muestra en cada tiempo determinado (1, 3, 5, 10, 15, 20, 60, 90, 120, 360 y 24 horas).
- Se registran todos los datos y son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 35**)
- Para determinar la Absorción por capilaridad determinamos con la siguiente formula:

Ecuación 79

$$I = \frac{m_t}{a/d}$$

Dónde:

I = absorción del hormigón en mm

m_t = el cambio de la muestra de la masa en g, en el tiempo t

$a = \text{área expuesta al agua de la muestra en mm}^2$

$d = \text{densidad del agua en g/mm}^2$



Figura 71 Ensayo de Absorción por capacidad del hormigón en función del tiempo.

2.34.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

El principio de Arquímedes nos indica que “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”, este ensayo se realizó a los (28 días). Y se utilizó como probetas las viguetas que fueron ensayadas a flexión.

El proceso para la determinación de la densidad en estado endurecido del hormigón es el siguiente:

- Tomar una muestra en estado endurecido.
- Dejar sumergida en el agua por 24h para que los poros se llenen por completo.
- Encerar la balanza con el recipiente vacío.
- Llenar un recipiente con agua.

- Con un marcador realizar la primera marca.
- Pesar la muestra antes de ser sumergida en el agua.
- Introducir la muestra en estado endurecido.
- Realizar con el marcador la segunda marca de cuanto subió el nivel de agua.
- Retirar la muestra y llenar el agua hasta la segunda marca.
- Tomar el peso del agua hasta la segunda marca.
- Se repiten los pasos para cada una de las probetas, posteriormente colocamos las muestras en el horno a 110 ° C durante 24 horas para determinar la masa seca de la muestra.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 36**)
- La fórmula para el cálculo de la densidad en estado endurecido del hormigón es:

Ecuación 80

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Dónde:

δ = densidad del mortero en g/cm^3

m = masa de la muestra seca en g

V = volumen de la muestra en cm^3



Figura 72 Ensayo de densidad en estado endurecido del hormigón.

Y para calcular el porcentaje de absorción utilizamos la siguiente formula:

Ecuación 81

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Dónde:

S = masa de la muestra SSS en g

A = masa seca al horno en g



Figura 73 Ensayo de % de absorción en estado endurecido del hormigón.

2.35.- PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1572-1576).

Los ensayos de resistencia a la compresión es una propiedad mecánica esencial para determinar la resistencia del hormigón a los 7, 14, 21, 28, 35 días.

Procedimiento de la elaboración de cilindros:

- Elaboración de la mezcla de hormigón.
- Colocar los cilindros en una superficie totalmente nivelada.
- Se procede a colocar la primera capa de hormigón en los moldes y compactar por el método de varillado manual con 25 golpes, la compactación se debe realizar uniformemente por toda la superficie.
- Después de a ver realizado el paso anterior se debe colocar la segunda capa y volver a compactar, después de haber realizado ese procedimiento se debe enrasar los moldes retirando el exceso de hormigón.
- Transcurrido 24 horas de haber realizado los cilindros de hormigón se procede a desencofrar y colocar en un lugar seguro donde no se les golpe y no existan vibraciones.

Procedimiento ensayo de resistencia a la compresión:

- Registrar las dimensiones de la muestra y su respectivo peso.
- Colocar la muestra en la maquina universal y verificar que la superficie superior este apoyada totalmente sobre la mesa de ensayo.
- Todos los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 37**)
- Las fórmulas utilizadas son las siguientes que se detallan a continuación:

Resistencia a la compresión:

Ecuación 82

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a compresión en MPa

F_{max} = Carga máxima antes de la ruptura en N

A = Área de aplicación de la carga en mm²



Figura 74 Elaboración de cilindros de hormigón y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros.

2.36.- PROCEDIMIENTO DE LA DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO EN HORMIGONES DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1578- ASTM C 143).

La norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del cemento hidráulico para determinar la trabajabilidad del hormigón debido que si el ensayo determina un asentamiento menor a 7 el hormigón no es manejable y si el asentamiento es mayor a 7 el hormigón es manejable dependiendo a la necesidad de la estructura se debe realizar una dosificación adecuada y que no exista demasiada agua para evitar problemas con la resistencia en la presente investigación se obtuvo un asentamiento de 7 cm.

Instrumentos:

- Molde.
- Varilla de compactación.
- Cucharón.
- Flexómetro

Procedimiento:

- Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida y no absorbente.
- Uno de los operadores debe sostener el cono de Abrams durante el llenado y limpieza del perímetro, parándose sobre los dos estribos.
- Compactar en 3 capas, cada capa con 25 golpes utilizando la varilla de compactación, debemos tomar en cuenta que los golpes deben ser alrededor de toda la superficie del hormigón y la profundidad de compactación no debe sobrepasar las capas anteriores.

- Al llenar la capa superior se debe mantener un excedente de hormigón sobre la parte superior del molde antes de empezar la compactación. Si durante la compactación, la superficie del hormigón queda por debajo del borde superior del molde, agregar más hormigón para mantener en todo momento un exceso de hormigón sobre la parte superior del molde.
- Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie de hormigón rodando la varilla de compactación sobre todo el borde superior.
- Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde para evitar interferencias con el movimiento de asentamiento del hormigón.
- De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical.
- Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie del espécimen.
- Este procedimiento se lo debe hacer unas 3 veces para confirmar el asentamiento (**Ver Anexo 38**).



Figura 75 Ensayo de determinación de asentamiento del hormigón.

2.37.- PROCEDIMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL MÉTODO BRASILEÑO (ASTM C 496M).

Este método de ensayo se trata sobre la determinación de la resistencia a la tracción a la compresión diametral de especímenes cilíndricos de concreto, este método consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla, esta carga induce esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente alrededor de la carga aplicada. Ocurre más bien la falla por tracción, en vez de la falla por compresión porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, permitiendo de ese modo soportar esfuerzos de compresión mucho más altos que los que estarían indicados por un resultado de ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.

Instrumentos:

- Máquina universal.
- Bloque de carga o placa adicional.
- Tiras de carga

Procedimiento:

- Determinar las dimensiones del espécimen mediante el promedio de tres diámetros medidos cerca de los extremos y en centro. La longitud de la muestra mediante el promedio de al menos dos longitudes.
- Se procede a colocar el ensamble o la barra de carga superior. Se debe verificar que el centro del espécimen estén directamente debajo del centro de empuje del bloque de carga.
- Ingresar a la maquina universal y centrarle al espécimen.

- Registrar la carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo al momento de la falla.
- Los datos son procesados en Hojas Excel. (**Ver Anexo 39**)
- Calcular la resistencia por compresión diametral del espécimen de la siguiente manera.

Ecuación 83

$$f_t = \frac{2 * P}{\pi * l * d}$$

Dónde:

f_t = *esfuerzo de tracción en MPa*

P = *carga aplicada en N*

l = *longitud promedio del cilindro en mm*

d = *diámetro promedio del cilindro en mm*



Figura 76 Ensayo de resistencia a tracción por compresión.

2.38.- CARACTERIZACIÓN DEL ACERO PARA VIGAS Y COLUMNAS.

El acero estructural es un producto que se obtiene de las aleaciones de hierro y carbono y pequeñas cantidades de otros de otros elementos tales como el silicio, fósforo, azufre y oxígeno que le aportan características específicas al material las cuales se hacen presentes en el momento que el metal está sujeto a tensiones repetitivas o fluctuantes que provocaría que fallará y posteriormente la fractura en una de sus partes.

2.39.- ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (INEN 109).

El ensayo de tracción que consiste elementalmente en sostener una probeta ya estandarizada por las norma INEN y Aplicar esfuerzo axial de tracción hasta producir la falla.

Instrumentos:

- Maquina universal de tracción.
- Flexómetro.
- Varillas corrugadas

Procedimiento:

- Seleccionamos la probeta a ensayarse en nuestro caso de acero.
- Seleccionamos el punto medio dela probeta y hacemos una marca visible.
- Tomar dimensiones de la probeta.
- Ingresar la probeta en la máquina de tracción.
- Se determina los datos de carga y deformación de cada una de las probetas.
- Los datos son procesados en hojas Excel. (**Ver Anexo 40**).
- Las fórmulas utilizadas para determinar la tracción del acero son las siguientes:

Resistencia a la tracción:

Ecuación 84

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = *esfuerzo último a tracción en MPa*

F_{max} = *carga máxima antes de la ruptura en N*

A = *área de aplicación de la carga en mm²*

Deformación unitaria:

Ecuación 85

$$\varepsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = *Deformación unitaria en el punto i en mm/mm*

ϵ_i = *Deformación en el punto i en mm*

L_o = *Distancia de calibración en mm*

Módulo de elasticidad:

Ecuación 86

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \varepsilon_i - 20\% \varepsilon_i)}$$

Dónde:

E = *Módulo de Elasticidad en MPa*

σ = *Esfuerzo máximo en MPa*

ε_i = *Deformación unitaria en el punto i en mm/mm*

Esfuerzo de Fluencia:

Es la pendiente de la línea paralela de la gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria.



Figura 77 Ensayo de tracción de acero de refuerzo.

2.40.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

Para la etapa de procesamiento y análisis de los datos obtenidos de cada uno de los ensayos realizados en la presente investigación se utilizó Microsoft Excel para poder tabular cada uno de sus datos y realizar el cálculo numérico del sistema de reforzamiento, para los ensayos finales fue necesario utilizar el programa geogebra para poder determinar el área bajo la curva y se realizó graficas de los modelos a escala y su diseño en AutoCAD 2015.

2.41.- MODELOS DE VIGAS Y COLUMNAS A ESCALA FINALES.

Después de haber detallado cada uno de los ensayos que se realizó para la caracterización de cada uno de los materiales a utilizarse en las vigas y columnas teniendo en cuenta que la finalidad de este trabajo de investigación es analizar experimentalmente y numéricamente el refuerzo FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio es eficaz para el fortalecimiento de vigas y columnas de hormigón armado con problemas de resistencia y bajo porcentaje de acero de refuerzo. Para lograr el

objetivo de esta investigación específicamente se realizarán 24 elementos, 12 vigas en las cuales 4 vigas sin refuerzo FRCC, 4 vigas con refuerzo FRCC CABUYA y 4 vigas con refuerzo FRCC VIDRIO y 12 columnas en las cuales 4 columnas sin refuerzo FRCC, 4 columnas con refuerzo FRCC CABUYA y 4 columnas con refuerzo FRCC VIDRIO.

Tabla 10 Muestra de vigas y columnas para ensayos finales.

Vigas	Columnas	Método de Reforzamiento	Codificación
3	3	Sin refuerzo FRCC	SR
3	3	Con refuerzo FRCC CABUYA	FRCC CAB.
3	3	Con refuerzo FRCC VIDRIO	FRCC VIDR.

Se utilizan dos tipos de fibras en el fin de verificar el comportamiento mecánico de cada una de ellas para valorar las diferentes propuestas, se realizan ensayos a flexión pura en vigas y se realiza la aplicación de carga concéntrica en columnas de concreto armado reforzadas con material compuesto estudiado. A continuación detallamos los procesos de cálculo, elaboración de los modelos a escala y métodos de ensayo.

2.42.- DISEÑO DE ARMADURA PARA VIGAS Y COLUMNAS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EL REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO.

2.42.1.- Diseño de columna con carga concéntrica.

Para el diseño de la columna tomamos como referencia una columna real y trabajaremos

Con una escala 1: 3.

Tabla 11 Escala 1: 3 para el diseño de columna.

ESCALA	ALTURA DE ENTRE PISO (m)	COLUMNA (cm)
REAL	2,70	30 x 30
1:3	0,90	10,0 x 10,0

Para la columna a escala de dimensiones 10 x 10 x 90 cm, primero determinaremos el área bruta de la columna:

Ecuación 87

$$A_g = b \times h$$

Cuantía máxima y mínima de refuerzo longitudinal (NEC-SE-HM, pág. 53):

Ecuación 88

$$0,01 \leq \frac{\rho_s}{A_g} \leq 0,03$$

Para la determinación del acero de la columna a escala se tomara una cuantía menor al 1,00 % del área bruta de la columna para simular las condiciones desfavorables de una columna con problemas de resistencia.

Nota: No está dentro del rango ya que simularemos una columna con problemas de resistencia debido a la falta de acero longitudinal.

Ecuación 89

$$A_{st \text{ asumido}} = 0.80\% A_g$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

Determinamos las separaciones del acero trasversal usando la NEC 2015, Estructuras de Hormigón Armado (Código NEC- SE- HM):

Ninguna barra longitudinal debe estar separada a más de 15cm libres de una barra apoyada lateralmente.

Límites de espaciamiento y confinamiento de estribos (NEC-SE-HM 4.3.4):

Tabla 12 Límites de espaciamiento y confinamiento de estribos.

$S \geq$	3.75 cm
	1.5 db (diámetro de la varilla)
	1.5*(2*diámetro de la partícula)

Refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal del elemento, (Código NEC-SE- HM, pag. 55):

Longitud de confinamiento L_o

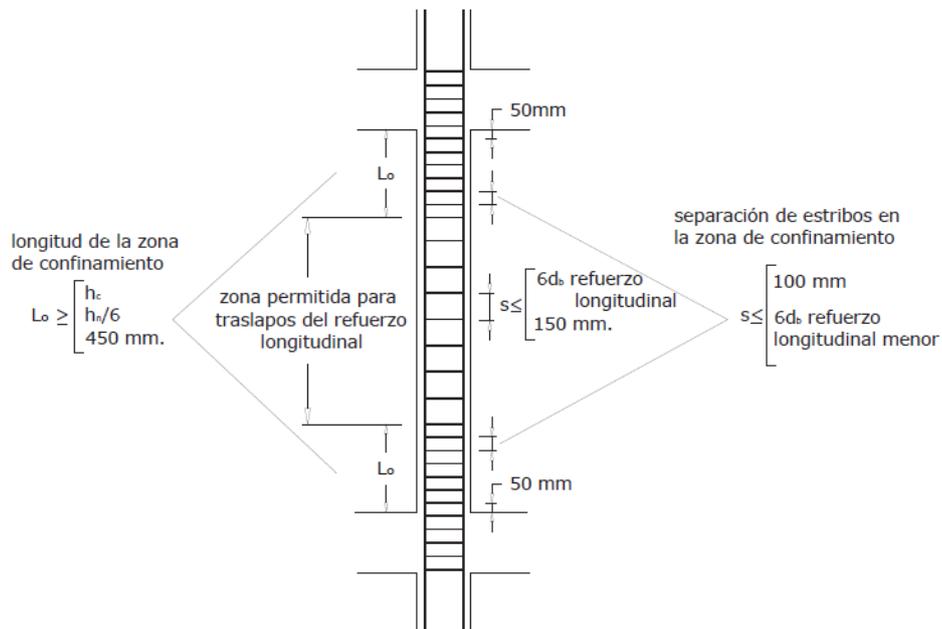


Figura 78 Longitud de confinamiento L_o .

Tabla 13 Longitud de confinamiento L_o .

$L_o \geq$	$h_c/6$ (h_c = altura de entre piso)
	h (h = dimensión mayor de sección)
	450 mm

Espaciamiento en la zona de confinamiento:

Tabla 14 Espaciamiento en la zona de confinamiento.

$S \geq$	100 mm
	6 db (diámetro de la varilla longitudinal)
	Dimensión > /4

Espaciamiento en la zona no confinada:

Tabla 15 Espaciamiento en la zona no confinada.

$S \geq$	6 db (diámetro de la varilla longitudinal)
	150 mm

Acero para estribos por confinamiento (Código NEC- SE- HM, pag. 56):

Ecuación 90

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{F_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

Dónde:

A_{sh} = Área total de las varillas que forman los estribos y amarres suplementarios con separación s y perpendicular a la dimensión b_c en mm^2

S = separación, centro entre estribos en mm

b_c = Distancia máxima, medida centro a centro, entre esquinas del estribo en mm

Calculo de la carga última según el ACI- 318:

Ecuación 91

$$\phi = 0,65$$

$$Pu = 0,80 * \phi * [0,85 * f'_c * (Ag - Ast) + (Ast * Fy)]$$

Dónde:

P_u = resistencia ultima de diseño en N

ϕ = factor de reducción de resistencia a la compresión, $\phi = 0.65$

$f'c$ = resistencia a la compresión del concreto en MPa

A_g = área total de la sección transversal del concreto en mm^2

A_{st} = área total de la sección transversal de refuerzo logitudinal en mm^2

F_y = resistencia especificada a la fluencia del refuerzo en MPa

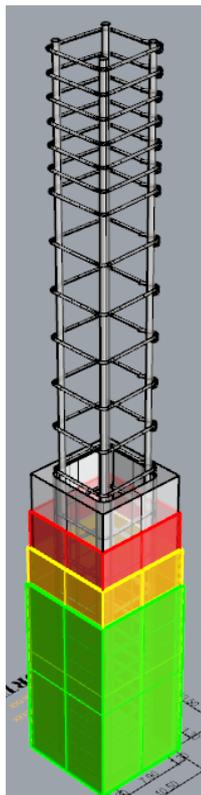


Figura 79 Diseño de columna en 3D.

Cálculo de la esbeltez en la columna con carga concéntrica:

Determinar el radio de giro

Ecuación 92

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Dónde:

$r = \text{radio de giro en cm}$

$I = \text{inercia de la columna en cm}^4$

$A = \text{área de la sección transversal en cm}^2$

La esbeltez es igual a:

$$\lambda = \frac{kL}{r} \leq 22$$

$\lambda = \text{esbeltez de una columna con carga concéntrica}$

$L = \text{longitud no arriostrada lateralmente cm}$

$r = \text{radio de giro en cm}$

$k = \text{coeficiente de longitud efectiva, } k = 1$

Nota.- El cálculo del diseño de la columna se detalla en el **Anexo 41**.

2.42.1.1.- Índices de ductilidad y energía en columnas sometidas a carga concéntrica.

Ductilidad de deformación:

Es definida generalmente como una función del desplazamiento de un punto de la estructura significativa, para determinar la ductilidad de energía es:

Ecuación 93

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dónde:

$\mu_{\Delta} = \text{ductilidad de deformación}$

$\Delta_u = \text{desplazamiento último en mm}$

$\Delta_y =$ Desplazamiento correspondiente a la formación de rótulas plásticas en secciones críticas en mm

Ductilidad de Energía:

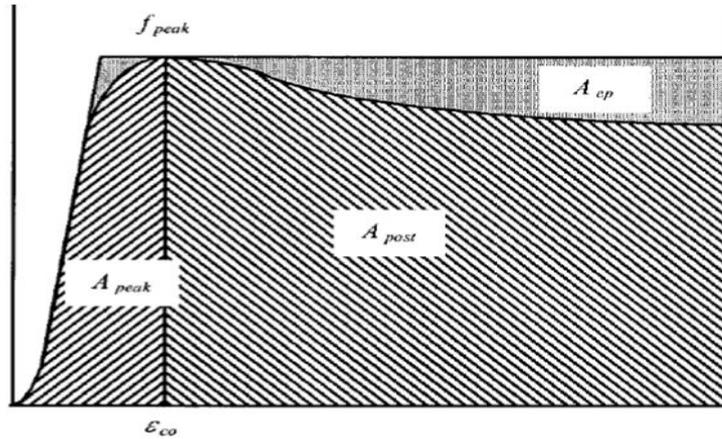


Figura 80 Reserva de energía de deformación.

A_{post}/A_{peak} , donde los parámetros A_{post} y A_{peak} son definidos en la figura. Esta relación proporciona información sobre la reserva de energía todavía está disponible después de que se haya alcanzado el punto máximo inicial.

A_{tot}/A_{ep} , donde los parámetros A_{tot} y A_{ep} son, el área bajo la curva de tensión deformación más el área total delimitadas por una pendiente de rigidez elástica constante y la meseta plástica respectivamente. En la ilustración 80. El primer parámetro corresponde a la suma de las áreas sombreadas, y el segundo parámetro es el resultado de sumar las áreas en gris. Cuando esta relación es cercana a 1.0, el elemento estructural muestra un comportamiento casi elástico-perfectamente plástico.

Para calcular la ductilidad energía de cada una de las columnas se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 94

$$\mu_E = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

Dónde:

μ_E = ductilidad de energía en columnas J/J

A_{total} = área total bajo la curva carga (N) vs deformación (m) en J

A_{ep} = Área total bajo la curva vs deflexión más el área delimitada por una pendiente de rigidez elástica constante en J

Capacidad de absorción de Energía:

La capacidad de absorción de energía está definido por el área bajo la curva carga (kN) vs deformación (mm) y se define con la siguiente fórmula:

Ecuación 95

$$C_E = A_{post} + A_{peak}$$

Dónde:

C_E = capacidad de absorción de energía en J

A_{post} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) posterior a la zona elástica en J

A_{peak} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el punto máximo en J

Índice de tenacidad a compresión:

El índice de resistencia a la compresión define como a la absorción total de la energía de compresión (área bajo la curva de tensión) dividida por la absorción de energía hasta el punto máximo (área bajo la curva tensión – deformación hasta el punto máximo de tensión) y se define con la siguiente fórmula:

Ecuación 96

$$I_t = \frac{A_{total}}{A_{peak}}$$

I_t = índice de tenacidad a compresión en J/J

A_{total} = área total bajo la curva en (N) vs deformación en (m) en J

A_{peak} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el punto máximo en J

Reserva de energía:

La ductilidad puede caracterizarse por el área bajo la curva carga vs deformación. Esta superficie proporciona información acerca de la energía de deformación acumulada en la estructura. Dos formulaciones, basadas en diferentes proporciones de áreas específicas bajo la curva de carga-deformación, se presentan.

El primero compara el área bajo la curva antes del punto máximo de esfuerzo inicial a la zona después de este punto; la otra relación se basa en la diferencia de comportamiento entre el material real y la de un material elástico-perfectamente plástico. Estas dos relaciones se calculan utilizando las zonas.

2.42.2.- Diseño de la viga sometida a flexión pura.

Para el diseño de la viga tomamos como referencia una viga real y trabajaremos

Con una escala 1: 2

Tabla 16 Escala de diseño de la viga sometida a flexión pura.

ESCALA	LUZ	b (cm)	h (cm)	SECCIÓN
REAL	3,00	25	35	875
1:2	1,50	13	17	221

Determinamos la carga de la viga, partiendo de la fórmula del esfuerzo normal debido a flexión. Según (Navier, 2012).

Ecuación 97

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{My}{I} \\ &= \frac{M * \frac{h}{2}}{\frac{b}{12} * h^3} \\ &= \frac{12 * M * h}{2 * b * h^3} \\ &= \frac{6 * M}{b * h^2}\end{aligned}$$

Tomando en cuenta que el momento máximo de una viga con dos cargas puntuales y a una distancia de $L/3$ es igual a:

Ecuación 98

$$\begin{aligned}M &= P * a \\ a &= \frac{L}{3} \\ P &= \frac{P}{2} \\ M_{max} &= \frac{P}{2} * \frac{L}{3} \\ M_{max} &= \frac{P * L}{6}\end{aligned}$$

Remplazamos en la ecuación de esfuerzo el momento máximo en 4 puntos.

Ecuación 99

$$\sigma = \frac{6 * \left(\frac{P * L}{6}\right)}{b * h^2}$$

$$\sigma = \frac{P * L}{b * h^2}$$

Despejamos P de la fórmula del esfuerzo normal a flexión

Ecuación 100

$$P = \frac{\sigma * b * d^2}{L}$$

El diagrama de cortantes y momentos nos proporciona el cortante y momento actuante o momento último de la viga, para encontrar el momento nominal a flexión.

Ecuación 101

$$\phi M_n = M_u$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

Para determinar el acero de refuerzo de la viga, primero se calcula las cuantías:

- Cuantía calculada [ACI 318-08, capítulo 10]:

Ecuación 102

$$\rho_{calculada} = \frac{0,85 * f'_c}{F_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0,85 * \phi * f'_c * b * d^2}} \right)$$

- Cuantía mínima:

Ecuación 103

$$\rho_{min} = \frac{14}{F_y}$$

- Cuantía balanceada:

Ecuación 104

$$\rho_{bal} = 0,85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{F_y} * \frac{0,003}{\frac{F_y}{E_s} + 0,003}$$

- Cuantía máxima:

Ecuación 105

$$\rho_{max} = 0,5 * \rho_{bal}$$

- Acero de refuerzo longitudinal inferior:

Ecuación 106

$$A_s = \rho_{max} * b * d$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

- Acero de refuerzo longitudinal superior:

Ecuación 107

$$A_s = \frac{14}{F_y} * b * d$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

Separaciones de acero transversal de la viga.

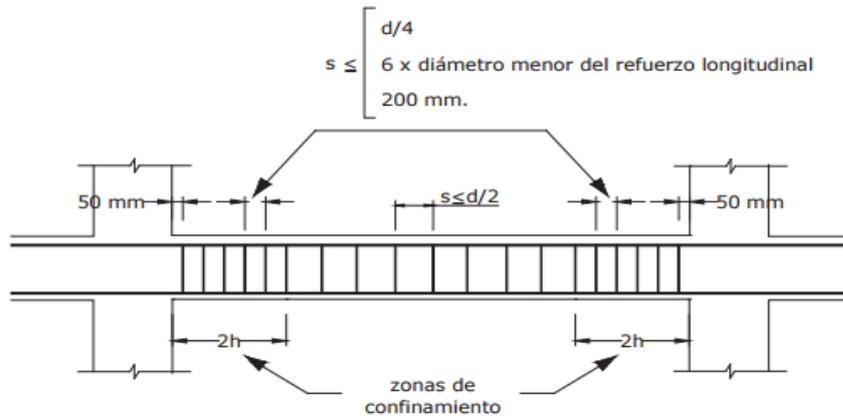


Figura 6: Separación de estribos

Figura 81 Separación de estribos.

Tabla 17 Separación de acero de la norma NEC-SE-HM

$S_1 \leq$	$d/4$
	$6 * (\text{diámetro menor del refuerzo longitudinal})$
	200 mm

Estribos de confinamiento:

Para encontrar el cortante nominal

Ecuación 108

$$\phi V_n = V_u$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

Calculamos el cortante del concreto

Ecuación 109

$$V_c = 0,53 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

Calculamos el cortante del acero transversal

Ecuación 110

$$V_s = V_n - V_c$$

Acero transversal mínimo, tomamos el mayor valor

Ecuación 111

$$A_{v1 \min} = 3,5 * \left(\frac{b * s}{F_y} \right)$$

$$A_{v2 \min} = \frac{V_s * s}{F_y * d}$$

Nota.- El cálculo del diseño de la viga se detalla en el **Anexo 42**.

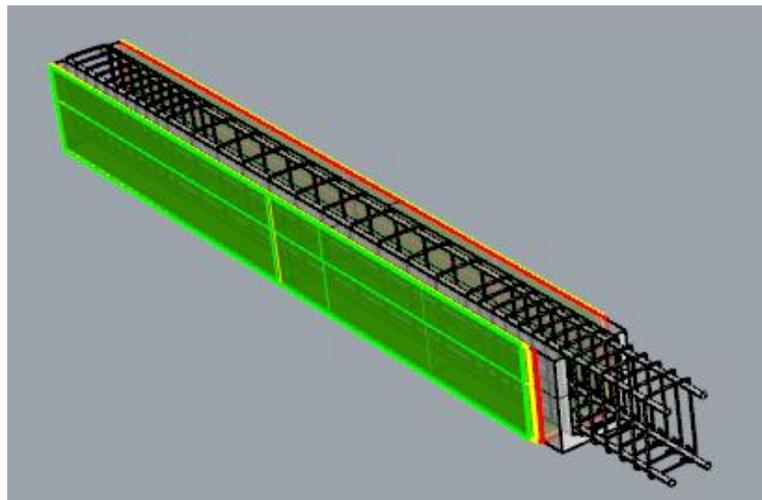


Figura 82 Diseño de la viga en 3D.

2.42.2.1.- Índices de ductilidad y energía en vigas sometidas a flexión.

Ductilidad de deformación:

Es definida generalmente como una función del desplazamiento de un punto de la estructura significativa, para determinar la ductilidad de energía es:

Ecuación 112

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dónde:

μ_{Δ} = ductilidad de deformación

Δ_u = desplazamiento último en mm

Δ_y = Desplazamiento correspondiente a la formación de rótulas plásticas en secciones críticas en mm

Energía de Fractura:

La energía de fractura es un parámetro relevante que caracteriza a la fractura del hormigón. El ensayo de flexión pura en vigas nos da como resultado la curva carga (kN) vs deformación (mm), el área bajo la curva representa la energía absorbida (W_f) en Joules, de la que la energía de fractura (G_f) se mide en joules /m² y se define como:

Ecuación 113

$$G_f = \frac{W_f}{A}$$

Dónde:

G_f = energía de fractura de viga en J/m²

W_f = área bajo la curva carga vs deformación en J

A = área de la sección transversal en m²

Ductilidad de Energía:

Para calcular la ductilidad energía de cada una de las vigas se utilizaron dos tipos de criterios de ductilidad como es ductilidad de deflexión y la ductilidad de energía y se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 114

$$\mu_{\Delta} = \frac{1 + A_t/A_{elastica}}{2}$$

Dónde:

μ_{Δ} = ductilidad de energía en vigas en J/J

A_t = área total bajo la curva vs deflexión en J

$A_{elastica}$ = área bajo la curva vs deflexión hasta la zona elástica en J

Energía Absorbida:

La energía absorbida puede caracterizarse por el área bajo la curva vs deformación. Esta superficie proporciona información acerca de la energía de deformación acumulada en la estructura.

2.43.- PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACIÓN DE LAS VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO CON EL SISTEMA FRCM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO.

Después de haber realizado la caracterización de cada uno de los materiales a emplearse en los ensayos finales, se procede al armado de las vigas y columnas a escala. La fundición se realizó en 2 días con el fin de poder reutilizar los encofrados, los materiales utilizados para la fundición de los elementos en estudio son arena de río, proveniente de la mina de Penipe y ripio, procedente de la mina “Cerro Negro” y Cemento Chimborazo portland, fueron tomados estos materiales con el fin de utilizar productos que existan en la zona. Para que el agregado grueso pueda llenar los espacios en las vigas y columnas se procedió a tamizar por el tamiz 3/8”, todo el material pétreo fue colocado al horno por 24 horas a una temperatura de 110 °C de manera que no exista variación en los porcentajes de agua, para la fundición. Para que no existan vacíos ni burbujas de aire en el interior de las vigas y columnas se utilizó un vibrador eléctrico teniendo cuidado que los encofrados se expandan. Se realizaron cilindros de hormigón para cada día de fundición, de la misma destinada a las vigas y columnas 20 el primer día y el segundo día con el fin de ir controlando y conociendo la resistencia a la cual se encuentran las vigas y columnas al momento de ser ensayadas.



Figura 83 Elaboración de vigas y columnas de concreto reforzado.

2.44.- PROCEDIMIENTO DE LA COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN VIGAS Y COLUMNAS.

El sistema FRCM fue colocado después de haber transcurrido 7 días de la fundición este sistema consta de tejido de cabuya previamente colocado resina poliéster para proteger la fibra del deterioro dentro de la matriz cementicia e incrementar resistencia y el tejido de vidrio no se le coloco resina debido que es una fibra sintética. En las vigas se colocó 3 layers de tejido de cabuya y 2 layers de tejido de vidrio con las dimensiones de 140 cm de largo y 12 cm de ancho para las primeras capas y la última capa es un sistema en U 17cm * 13cm * 17cm que rodea todo el peralte de la viga y la cara inferior donde nos ayudó a mejorar la adherencia e incrementar resistencia del mismo como podemos ver en la Figura 84:

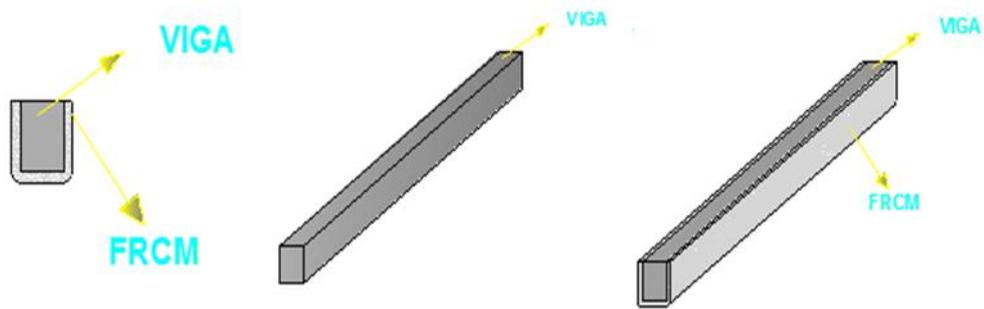


Figura 84 Representación del sistema FRCM en vigas.

En la columnas se realizó un encamisamiento en toda la sección con dimensiones de 90cm de alto y en 10cm, en su primera capa se colocó una tira de acero con agujeros y pernos para sujetar el material compuesto, este sistema nos ayuda a evitar que al momento de aplicar carga el concreto tenga reacción explosiva e incrementar resistencia y adherencia del mismo como podemos ver en la Figura 85:

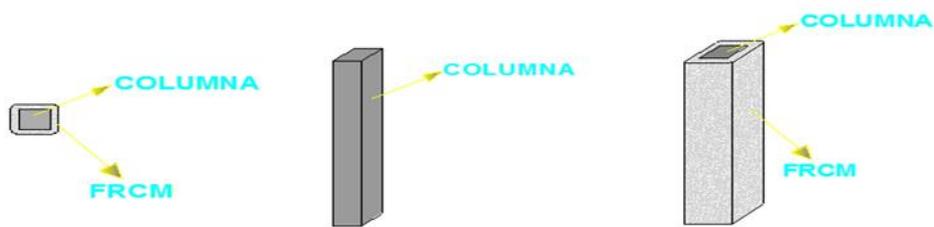


Figura 85 Representación del sistema FRCM en columnas.

Procedimiento:

Vigas.

- Antes de ser colocada la fibra se debe colocar en una bandeja grande y embeber la fibra en una lechada para que no absorba la fibra el agua del mortero.
- Humedecer la superficie donde se colocara el material compuesto, para evitar que absorba agua del mortero.
- Aplicar una capa delgada de mortero sobre la superficie asegurándonos que exista un espesor constante a nivel de toda la superficie.

- Compactar el mortero embebiendo la pasta con la ayuda de las manos, para que esta penetre y pueda ocupar todos los espacios y eliminar las burbujas de aire atrapadas por el mezclado.
- Cubrir cada layers con mortero presionando sobre cada tejido de manera que la pasta se incruste lo mejor posible en el layers.
- Repetir el proceso hasta llegar al tercer layers, enrasar la superficie. Después de un momento regar agua para evitar el agrietamiento del mortero.



Figura 86 Colocación de material compuesto en las vigas.

Columnas.

- Antes de ser colocada la fibra se debe colocar en una bandeja grande y embeber la fibra en una lechada para que no absorba la fibra el agua del mortero.
- Humedecer la superficie donde se colocara el material compuesto, para evitar que absorba agua del mortero.
- Colocar la placa de acero de refuerzo de 90 cm de largo y 1 cm de ancho con 4 pernos que anclaran el material compuesto a las columnas.
- Aplicar una capa delgada de mortero sobre la superficie asegurándonos que exista un espesor constante a nivel de toda la superficie.

- Compactar el mortero embebiendo la pasta con la ayuda de las manos, para que esta penetre y pueda ocupar todos los espacios y eliminar las burbujas de aire atrapadas por el mezclado.
- Cubrir cada layers con mortero presionando sobre cada tejido de manera que la pasta se incruste lo mejor posible en el layers.
- Repetir el proceso hasta llegar al tercer layers, enrasar la superficie. Después de un momento regar agua para evitar el agrietamiento del mortero.



Figura 87 Colocación del material compuesto en las columnas a escala.

2.45.- ENSAYOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE VIGAS Y COLUMNAS CON SISTEMA FRCM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO.

Los modelos a escala fueron ensayados en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, se procedió a ensayar los modelos a escala con refuerzo FRCM en la máquina hidráulica para doblado de tubos que permite controlar la fuerza, se ensayaron los modelos a los 35 días de fabricación y a los 28 días de colocación del material compuesto debido que se colocó 7 días después de la fabricación.

2.45.1.- Procedimiento del ensayo de flexión pura en vigas (4 PUNTOS) (ADAPTACIÓN, ASTM 78-02)

En ensayo de resistencia a la flexión es una medida de la falla por momento de una viga. Se mide mediante la aplicación de cargas puntuales en los puntos tercios de la viga como podemos observar en la Ilustración continua con sus respectivos diagramas de corte y momento.

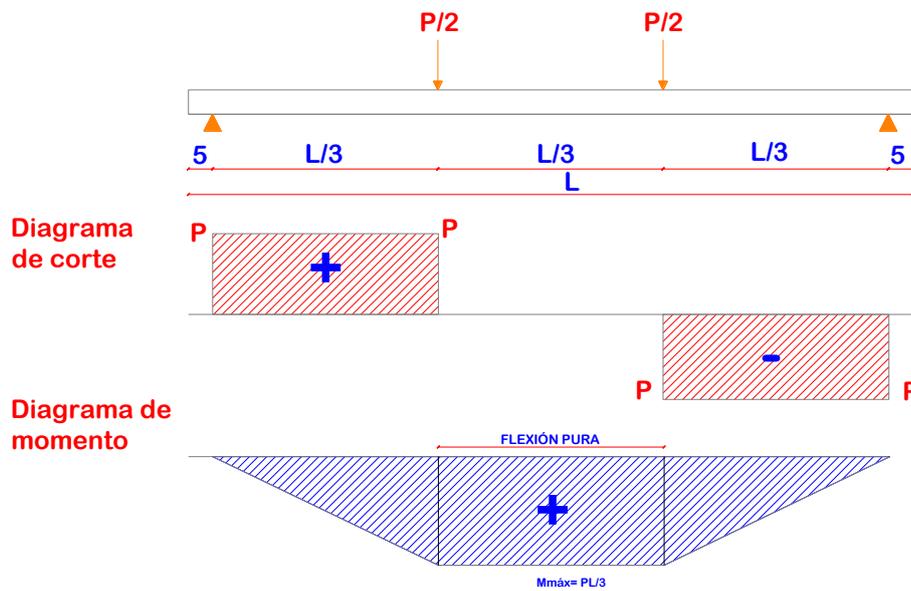


Figura 88 Diagramas de corte y momento de viga.

Una sección de viga trabaja a flexión pura, cuando, en cualquier sección solo existe momento flector, es decir, una viga bajo un momento flexionante constante. Puesto que, el propósito de la investigación no radica en evaluar el esfuerzo a corte, sino más bien, evaluar la viga a flexión, mediante este esfuerzo podemos examinar el aumento de resistencia y la adherencia de la viga con reforzamiento FRCM. El diseño de la viga se realizó para 2 cargas puntuales de 2.82 T cada una separada a 47 cm entre sí, lo que permite que la viga este sometida a un mayor esfuerzo de flexión, que el de cortante.

Procedimiento.

- Las vigas son pintadas de color blanco, con el objeto de visualizar las fallas que se producen por el incremento de carga en la zona de flexión.
- Colocar los apoyos de la viga a una distancia de 5 cm del filo de la viga, quedando una distancia de 140cm de apoyo a apoyo, controlar que los apoyos se encuentren totalmente estáticos y alineados.
- Colocar la viga encima de los apoyos de manera que quede totalmente alineada horizontal y verticalmente respecto a los rodillos superiores tomando en cuenta que los apoyos no topen con el material compuesto, los rodillos superiores deben estar a los tercios de la viga.
- Empezar con el ensayo, aplicar la carga lentamente en el inicio para poder tomar lecturas iniciales y luego aumentar la presión. La carga se encuentra en Newtons.
- La finalización del ensayo se marca cuando el deformímetro que mide la deflexión de la viga ya no entrega datos. Se registran datos de carga y deformación, los datos son procesados en hojas de cálculo. Para el cálculo de algunas características mecánicas se utilizaron las siguientes fórmulas:

Ductilidad de deformación:

Ecuación 115

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dónde:

μ_{Δ} = ductilidad de deformación

Δ_u = desplazamiento último en mm

Δ_y = Desplazamiento correspondiente a la formación de rótulas plásticas en secciones críticas en mm

Energía de Fractura:

Ecuación 116

$$G_f = \frac{W_f}{A}$$

Dónde:

G_f = energía de fractura de viga en J/m^2

W_f = área bajo la curva carga vs deformación en J

A = área de la sección transversal en m^2

Ductilidad de Energía:

Ecuación 117

$$\mu_\Delta = \frac{1 + A_t/A_{elastica}}{2}$$

Dónde:

μ_Δ = ductilidad de energía en vigas en J/J

A_t = área total bajo la curva vs deflexión en J

$A_{elastica}$ = área bajo la curva vs deflexión hasta la zona elástica en J

Energía Absorbida:

La energía absorbida puede caracterizarse por el área bajo la curva vs deformación en Joule.

Esfuerzo de la Viga:

Ecuación 118

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max} * L}{b * d^2}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a la flexión en MPa

F_{max} = carga máxima antes de la ruptura en N

L = Longitud entre apoyos en mm

b = ancho de la sección transversal en mm

d = alto de la sección transversal en mm

Deformación unitaria:

Ecuación 119

$$\varepsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

Dónde:

ε_i = Deformación unitaria en el punto i en mm/mm

ϵ_i = Deformación de deflexión de la ciga en mm

L_o = Distancia de calibración en mm



Figura 89 Ensayo a flexión pura de vigas.

2.45.2.- Procedimiento de ensayo de columnas con carga concéntrica.

El ensayo de las columnas concéntricas se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo, después de haber transcurrido 35 días de su elaboración y 28 días de colocación del material compuesto FRCM, se ensayó en la máquina de doblar tubos se le hizo unas adaptaciones para poder aplicar la carga concéntrica, se le colocó una ménsula para crear el efecto de compresión.

Procedimiento:

- Las columnas son pintadas de color blanco, con el objeto de visualizar las fallas que se producen por el incremento de carga en toda su longitud.
- Colocar en la parte superior una placa y sobre ella una ménsula que servirá como apoyo.
- Alinear correctamente la columna para que la carga sea aplicada uniformemente en el centro de la columna.
- Colocar los 4 deformímetros Humboldt de una pulgada de recorrido con sus respectivos soportes, para tomar las mediciones de: deformación longitudinal, y deformación por pandeo de la columna.
- Empezar con el ensayo, aplicar la carga lentamente en el inicio para poder tomar lecturas iniciales y luego aumentar la presión. La carga se encuentra en Newtons.
- La finalización del ensayo se marca cuando el deformímetro que mide la deformación ya no marca o la carga disminuye bruscamente. Se registran datos de carga y deformación. Para el cálculo de algunas características mecánicas se utilizaron las siguientes fórmulas:

Ductilidad de deformación:

Es definida generalmente como una función del desplazamiento de un punto de la estructura significativa, para determinar la ductilidad de energía es:

Ecuación 120

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dónde:

μ_{Δ} = ductilidad de deformación

Δ_u = desplazamiento último en mm

Δ_y = Desplazamiento correspondiente a la formación de rótulas plásticas en secciones críticas en mm

Ductilidad de Energía:

Ecuación 121

$$\mu_E = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

Dónde:

μ_E = ductilidad de energía en columnas J/J

A_{total} = área total bajo la curva carga (N) vs deformación (m) en J

A_{ep} = Área total bajo la curva vs deflexión más el área delimitada por una pendiente de rigidez elástica constante en J

Capacidad de absorción de Energía:

Ecuación 122

$$C_E = A_{post} + A_{peak}$$

Dónde:

C_E = capacidad de absorción de energía en J

A_{post} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) posterior a la zona elástica en J

A_{peak} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el punto máximo en J

Índice de tenacidad a compresión:

Ecuación 123

$$I_t = \frac{A_{total}}{A_{peak}}$$

Dónde:

I_t = índice de tenacidad a compresión en J/J

A_{total} = Área total bajo la curva en (N) vs deformación en (m) en J

A_{peak} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el punto máximo en J

Reserva de energía:

Ecuación 124

$$R_E = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

Dónde:

R_E = reserva de energía en J/J

A_{post} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) posterior a la zona elástica en J

A_{peak} = Área bajo la curva en (N) vs deformación en (m) hasta el punto máximo en J



Figura 90 Ensayo de columnas con carga concéntrica.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA Y TEJIDO DE CABUYA.

Tabla 18 Caracterización de la fibra y tejido de cabuya.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		
Jhonny Guamán, Marcela Pazmiño				
CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA Y TEJIDO DE CABUYA				
PROPIEDADES	UNIDAD	TEJIDO (ROLLOS)	SACO	
Densidad de la fibra	g/cm^3	1.54	1.48	
Masa por Unidad de Área	g/m^2	216.70	415.30	
Densidad Lineal- <i>Tex</i>	g/km	276.70	724.67	
Porcentaje de Absorción	%	44.59	44.59	
ENSAYO DE TRACCIÓN TEJIDOS	UNIDAD	TEJIDO (ROLLOS)	SACO	
		CON RESINA	CON RESINA	
Área Tejido	mm^2	1.7967	5.876	
Área/ Unidad de anchura	mm^2	0.0359	0.11752	
Esfuerzo Máximo	MPa	379.464	400.239	
Carga Máxima	N	1284.584	2351.686	
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.043	0.0600	
Módulo de Elasticidad	MPa	5137.28	7278.126	
ENSAYO DE TRACCIÓN HILOS	UNIDAD	TEJIDO (ROLLOS)	SACO	
		SIN RESINA	CON RESINA	SIN RESINA
Esfuerzo Máximo	MPa	170.502	201.54	207.925
Carga Máxima	N	165.729	184.152	209.93
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.088	0.063	0.6000
Módulo de Elasticidad	MPa	2904.013	5183.447	6246.976

3.2.- CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.

Tabla 19 Caracterización de la fibra de vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		
Jhonny Guamán, Marcela Pazmiño			
CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO			
PROPIEDADES	UNIDAD	TEJIDO DE VIDRIO 230	TEJIDO COMBIMAT 1050
Densidad de la fibra	g/cm ³	2.58	2.72
Masa por Unidad de Área	g/cm ²	233.50	1055.60
Densidad Lineal-TEX	g/km	197.00	594.00
Porcentaje de Absorción	%	22.14	22.14
ENSAYO DE TRACCIÓN TEJIDO	UNIDAD	TEJIDO DE VIDRIO 230	TEJIDO COMBIMAT 1050
		SIN RESINA	SIN RESINA
Área Tejido	mm ²	1.069	3.06
Área/ Unidad de anchura	mm ²	0.0214	0.0612
Esfuerzo Máximo	MPa	910.675	1423.148
Carga Máxima	N	973.505	4351.066
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.026	0.061
Módulo de Elasticidad	MPa	58192.57	74485.614
ENSAYO DE TRACCIÓN HILOS	UNIDAD	TEJIDO DE VIDRIO 230	TEJIDO COMBIMAT 1050
		SIN RESINA	SIN RESINA
Esfuerzo Máximo	MPa	—	652.135
Carga Máxima	N	—	287.277
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	—	0.038
Módulo de Elasticidad	MPa	—	97600.176

3.3.- ENSAYO DE TRACCIÓN FRCM / ÁREA TEJIDO.

Tabla 20 Ensayo de tracción FRCM / Área tejido

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:			
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016			
ENSAYO DE TRACCIÓN FRCM / ÁREA TEJIDO						
PROBETAS	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
M. Cabuya Rollos	1.796	3444.864	6.363	1924.505	0.063	84910.396
M. Cabuya Sacos	5.876	6150.667	8.868	1046.032	0.090	15821.690
M. Vidrio 230	1.069	2258.928	3.560	2112.040	0.036	295459.865
M. Vidrio Combimat 1050	3.060	3444.864	6.363	1924.505	0.063	84910.396

3.4.- CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO (Matriz Cementicia).

Tabla 21 Caracterización del mortero (Matriz Cementicia).

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR: Jhonny Guamán, Marcela Pazmiño		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO (MATRIZ CEMENTICIA)			
PROPIEDADES	UNIDAD	MORTERO 1:1,25	MORTERO 1:1,10
Granulometría: Tamaño máximo nominal	mm	0.850	0.850
Masa unitaria Suelta: Arena Tamizada	g/cm ³	1.366	1.366
Masa unitaria Compactada: Arena Tamizada	g/cm ³	1.536	1.536
Densidad Árido fino	g/cm ³	2.504	2.504
Absorción de L Árido fino	%	2.053	2.053
Flujo en morteros	%	125.500	115.000
Tiempo de Fraguado (Inicial)	min	122.900	111.000
Tiempo de Fraguado (Final)	min	198.000	178.200
Contenido de Aire	%	3.340	3.440
Densidad en Estado Fresco	g/cm ³	2.056	2.080
Densidad en Estado Endurecido (28 días)	g/cm ³	-----	2.083
Absorción de Mortero en estado endurecido(28 días)	%	-----	12.898
RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGUETAS DE MORTERO (28 DÍAS)			
Resistencia a la flexión	MPa	5.887	8.119
Carga Máxima	N	2511.869	3463.89
Deformación Máxima	mm	0.619	0.427
Deflexión Máxima	mm	0.595	0.444
Deformacion Unitaria Máxima	mm/mm	0.015	0.011
Módulo de Elasticidad	MPa	419.703	762.799
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO (28 DÍAS)			
Esfuerzo Máximo	MPa	36.60	45.01
Carga máxima	N	36834.204	37003.442
Deformacion máxima	mm	0.997	0.907
Deformación unitaria máxima	mm/mm	0.020	0.019
Módulo de Elasticidad	MPa	734.745	879.828

3.5.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

Tabla 22 Caracterización del material compuesto.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH			
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño					
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO					
PROPIEDADES	UNIDAD	TEJIDO (3LAYERS)	SACO (3LAYERS)	TEJIDO DE VIDRIO 230 (2 LAYERS)	VIDRIO COMBIMAT 1050 (2LAYERS)
Densidad en Estado Endurecido (28 días)	g/cm^3	2.034	1.763	2.065	2.013
% de Absorción en estado endurecido (28 días)	%	8.111	12.182	9.932	13.415
ENSAYO DE TRACCIÓN (28 DÍAS)					
Esfuerzo Máximo	MPa	4.306	7.688	2.824	8.481
Carga Máxima	N	3444.864	6150.667	2258.928	6784.824
Deformación de Rotura	mm	6.363	8.868	3.560	29.872
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.063	0.090	0.036	0.313
Módulo de Elasticidad	MPa	189.987	116.289	395.001	309.517
Módulo de Elasticidad ZONA 1	MPa	501.597	387.096	319.957	505.106
Módulo de Elasticidad ZONA 3	MPa	130.350	86.086	75.782	229.488
ENSAYO DE FLEXIÓN (28 DÍAS)					
Resistencia a la Flexión	MPa	11.256	13.846	8.779	14.485
Carga Máxima	N	480.268	590.759	374.565	618.013
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.084	0.111	0.044	0.169
Deflexión Máxima	mm	10.020	4.549	11.061	13.630
Módulo de Elasticidad	MPa	554.808	1285.799	335.436	44.173

3.6.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PARA HORMIGÓN.

Tabla 23 Caracterización de materiales para hormigón.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL		
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH
Jhonny Guamán, Marcela Pazmiño		
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA CONCRETO		
PROPIEDADES	UNIDAD	HORMIGÓN 1:1,7:2,7
Tamaño Máximo Nominal- Agregado Fino	mm	4.750
Tamaño Máximo Nominal- Agregado Grueso	mm	25.000
Tamaño Máximo Nominal- Agregado Grueso	mm	4.750
Masa Unitaria Suelta: Agregado Fino	g/cm^3	1.582
Masa Unitaria Compactada: Agregado Fino	g/cm^3	1.728
Masa Unitaria Suelta: Agregado Grueso	g/cm^3	1.403
Masa Unitaria Compactada: Agregado Grueso	g/cm^3	1.644
Densidad Agregado Grueso	g/cm^3	2.636
% Absorción del Agregado Grueso	%	7.910
Contenido de Aire	%	2.260
Densidad en estado fresco	g/cm^3	2.283
Densidad en estado Endurecido (28 días)	g/cm^3	2.267
% Absorción de Mortero en estado endurecido(28 días)	%	8.377
Tracción por Compresión Diametral (Método Brasileño)	MPa	2.043

3.7.- CARACTERIZACIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS.

Tabla 24 Caracterización de acero de refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH			
Jhonny Guamán, Marcela Pazmiño				
CARACTERIZACIÓN DE ACERO DE REFUERZO				
ENSAYO DE TRACCIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS	UNIDAD	DIÁMETROS DE VARILLAS		
		3.4mm	4.2mm	8mm
Carga Máxima	KN	3.928	9.083	38.151
Carga de Rotura	KN	2.345	1.715	13.683
Deformación Máxima	mm	30.295	11.095	51.982
Módulo de Elasticidad	MPa	8877.625	36193.242	4916.975
Esfuerzo de Fluencia	MPa	413.858	711.224	750.068
Esfuerzo Máximo	MPa	432.665	722.822	758.990
Deformación Unitaria Máxima	mm/mm	0.096	0.035	0.155

3.8.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS SIN REFUERZO FRCM.

3.8.1.- Viga sin Refuerzo N° 01.

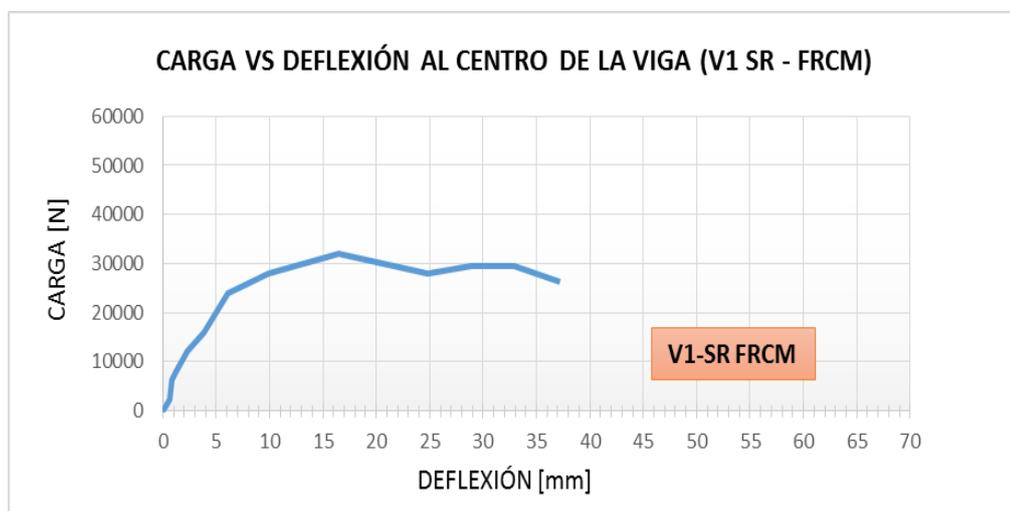


Figura 91 Carga vs Deflexión al centro de la viga (V1 SR – FRCM)

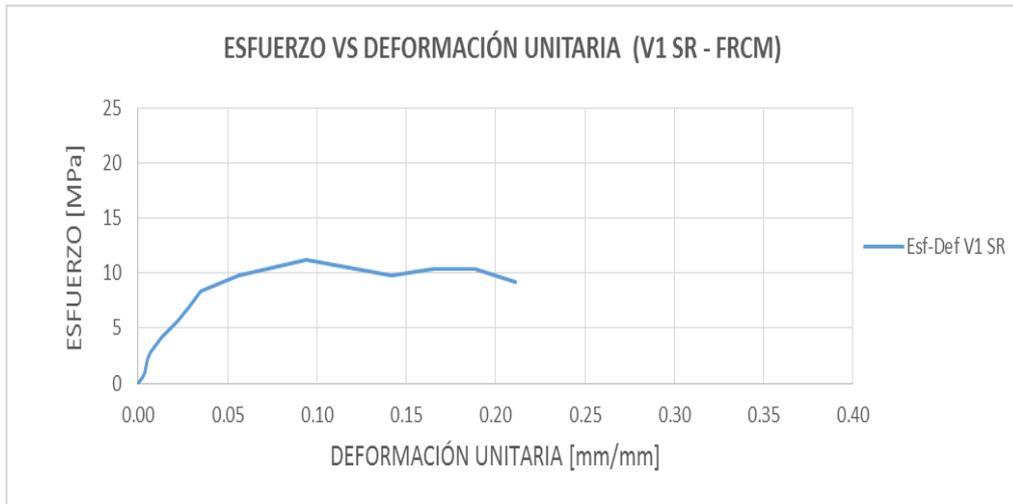


Figura 92 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1 –SR-FRCM)

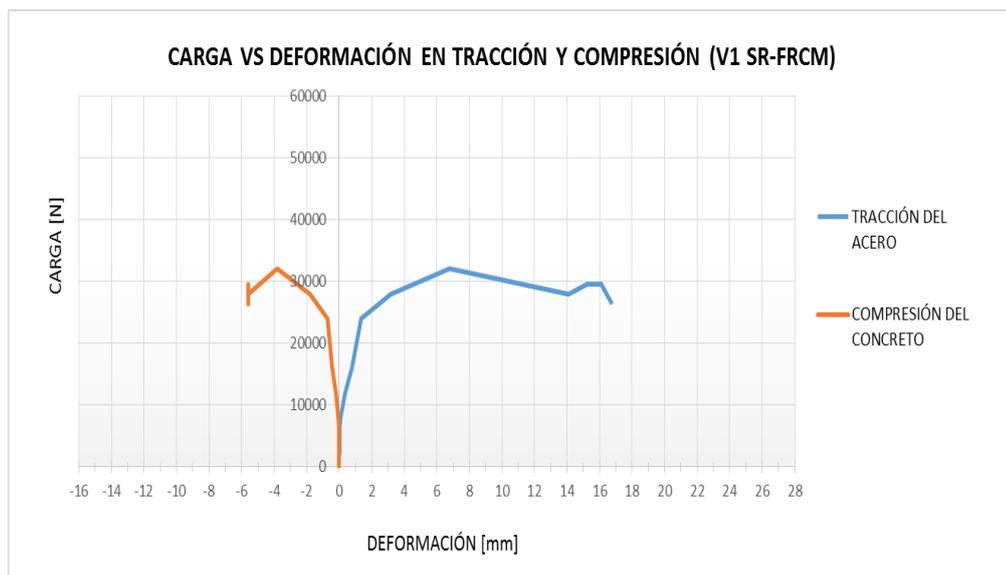


Figura 93 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión (V1 SR – FRCM).

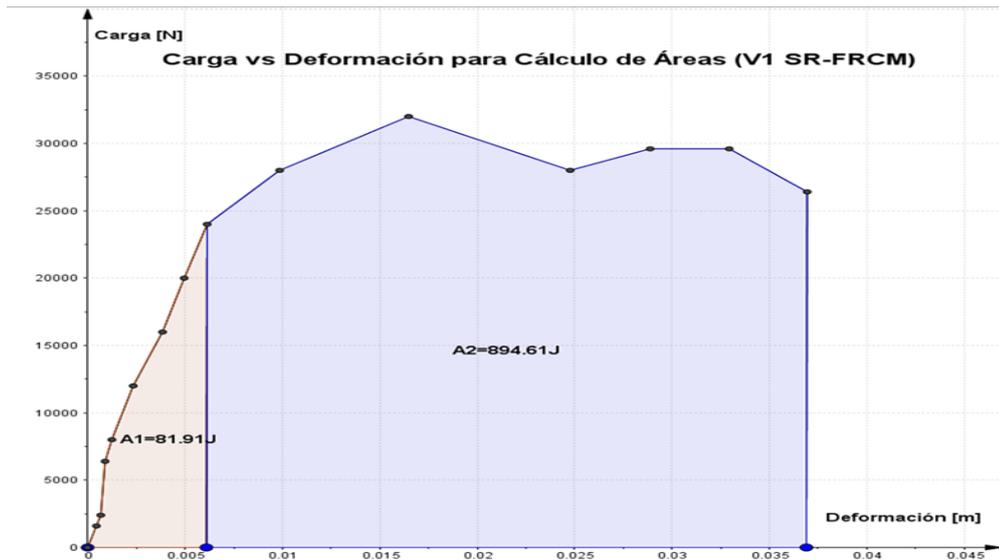


Figura 94 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V1 SR – FRCM).

3.8.2.- Viga sin Refuerzo N° 02.

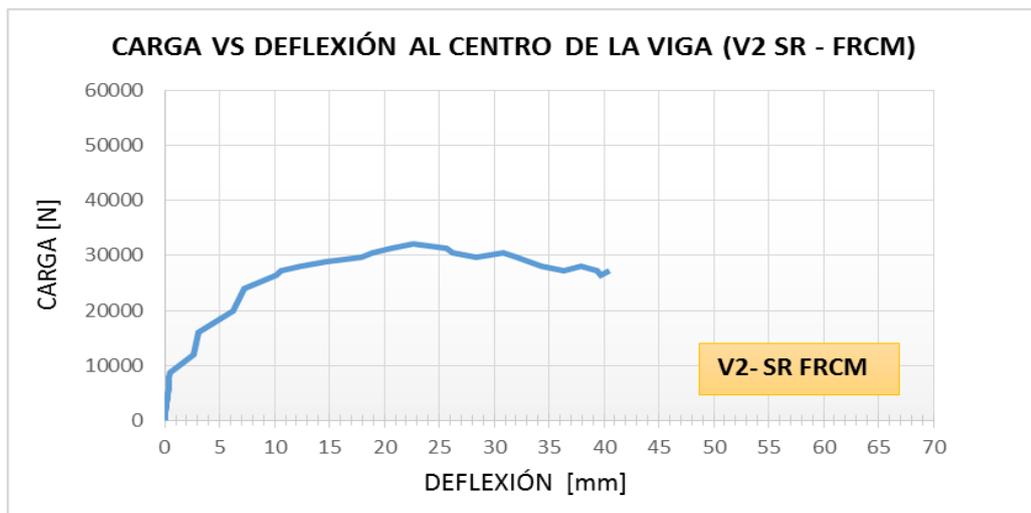


Figura 95 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V2 SR – FRCM).

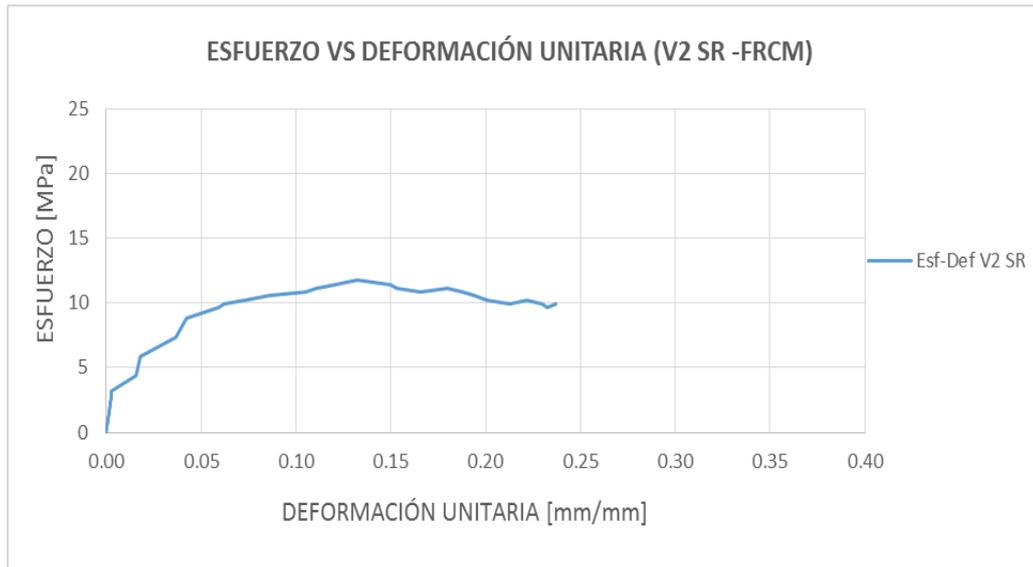


Figura 96 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 SR – FRCM).

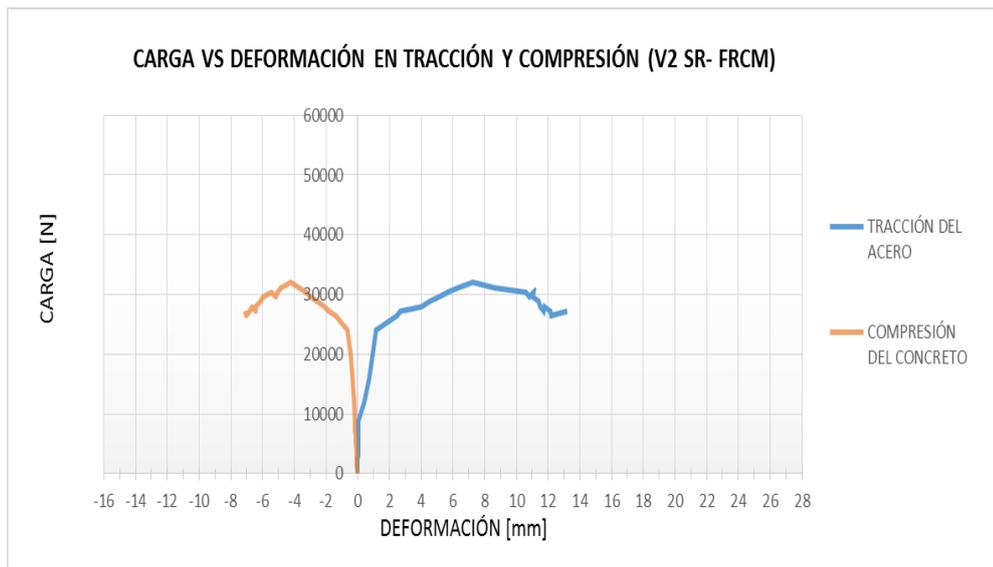


Figura 97 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V2 SR – FRCM).

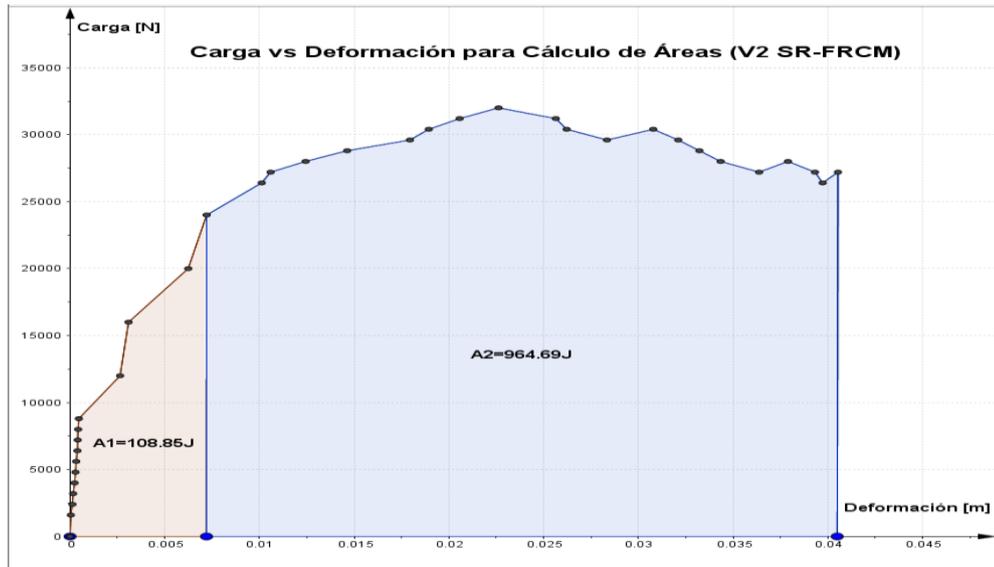


Figura 98 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V2 SR – FRCM).

3.8.3.- Viga sin Refuerzo N° 03.



Figura 99 Carga vs Deformación al Centro de la Viga (V3 SR – FRCM).



Figura 100 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 SR – FRCM).

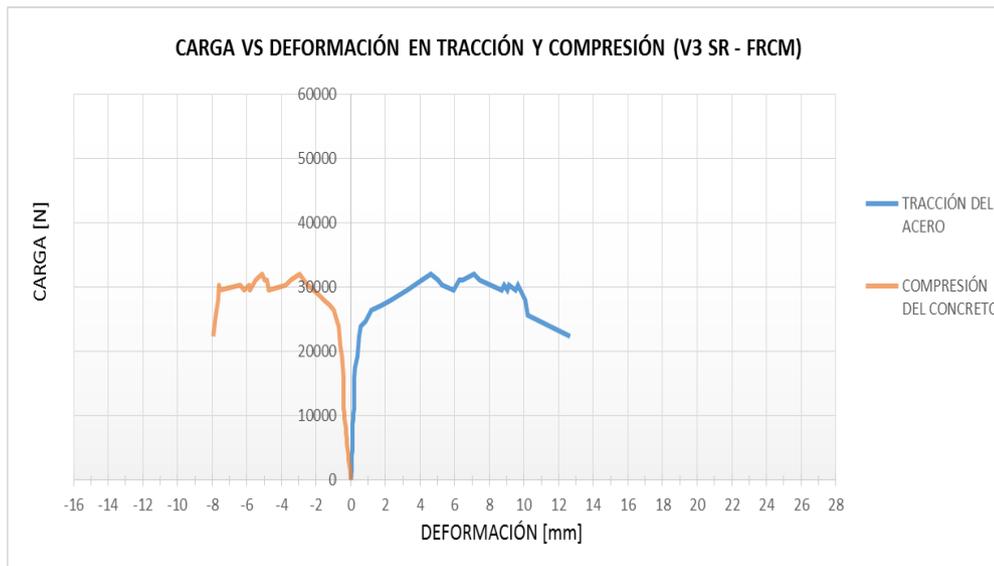


Figura 101 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V3 SR – FRCM).

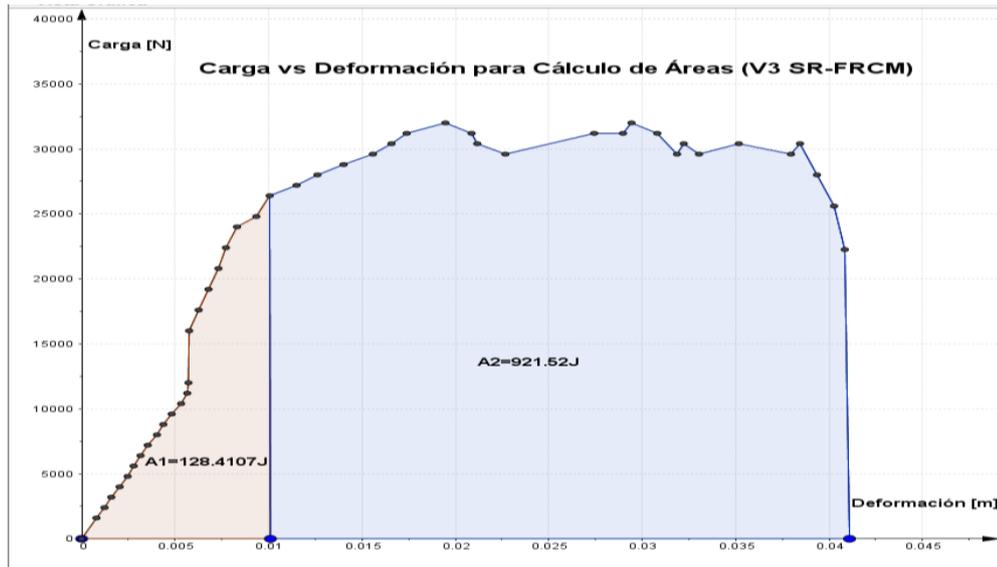


Figura 102 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V3 SR – FCRM).

3.8.4.- Viga sin Refuerzo N° 04.

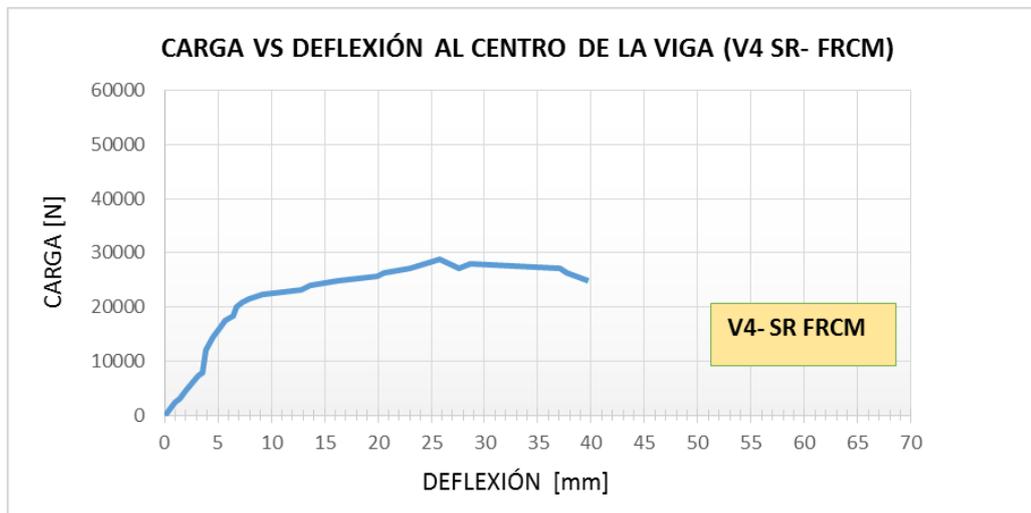


Figura 103 Carga VS Deflexión al centro de la Viga (V4 SR – FCRM).

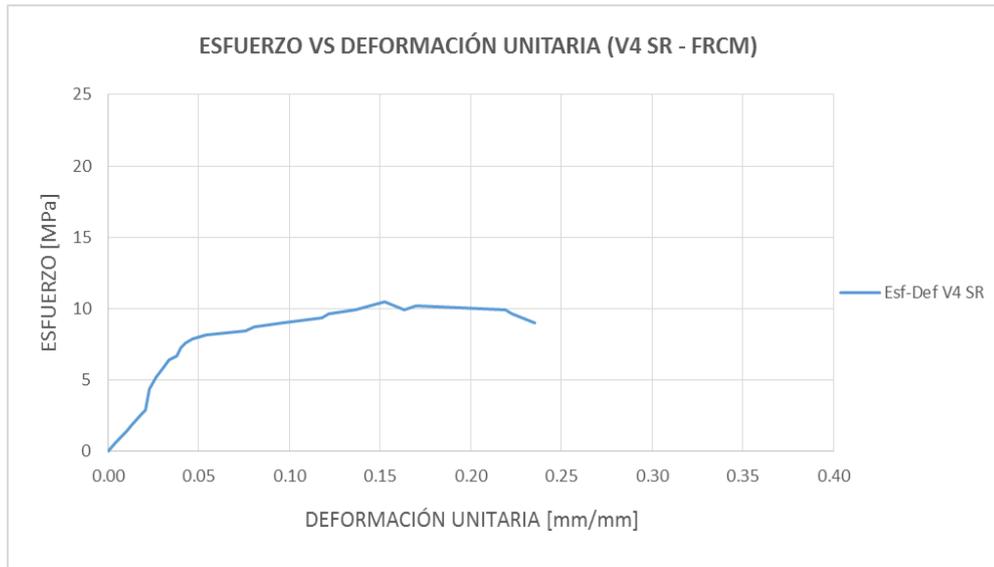


Figura 104 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 SR – FRCM).

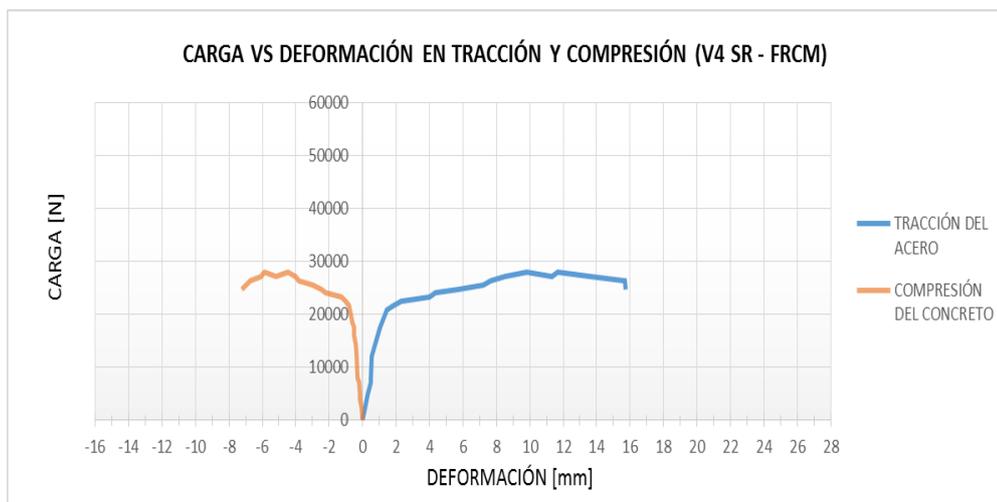


Figura 105 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del Concreto y Zona de Tracción del Acero (V4 SR – FRCM).

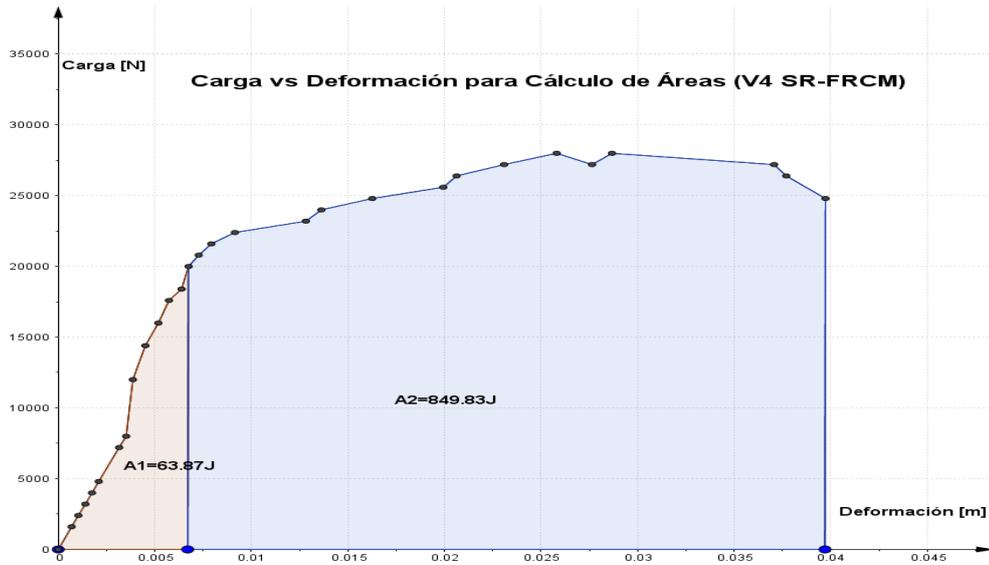


Figura 106 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V4 SR – FRCM).

3.9.- RESUMEN DE VIGAS SIN REFUERZO FRCM.

3.9.1.- Carga vs Deflexión al centro de las Vigas sin Refuerzo FRCM.

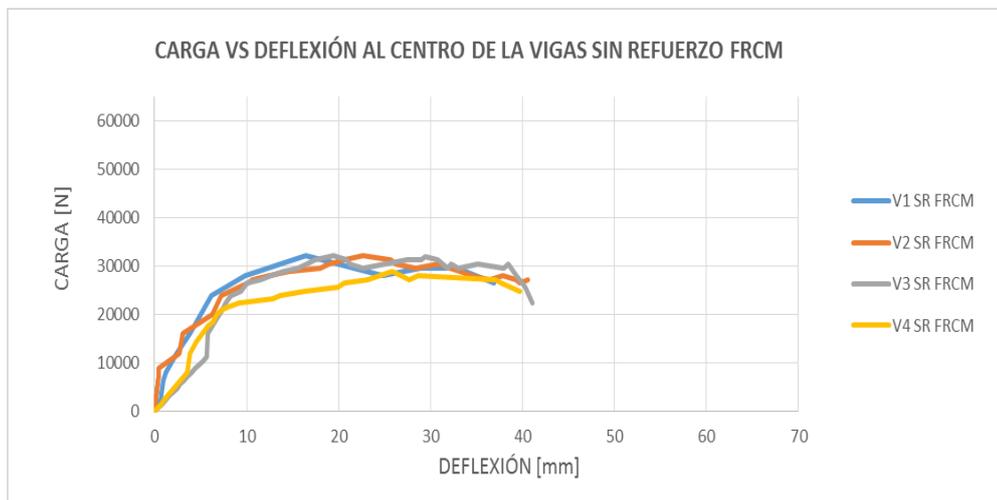


Figura 107 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas sin Refuerzo FRCM.

Análisis:

La viga 1 de color azul alcanza una carga mayor a 30000 N con una deformación menor a 40 mm, la viga 4 de color amarillo tiene una carga de 28000 N y una deformación de 40 mm, la viga 2 y 3 se encuentran dentro del rango de 20000 a 30000 N y con una deformación menor a 40 mm.

Interpretación:

El ensayo de flexión pura en vigas sin refuerzo alcanza una carga máxima de 32183 N con una deformación de 41.107 mm, las cuatro vigas ensayadas tienen una tendencia similar en la trayectoria dentro del ensayo y su menor carga es de 28828 N y una deformación de 39.726 mm.

3.9.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas Sin Refuerzo FRCM.

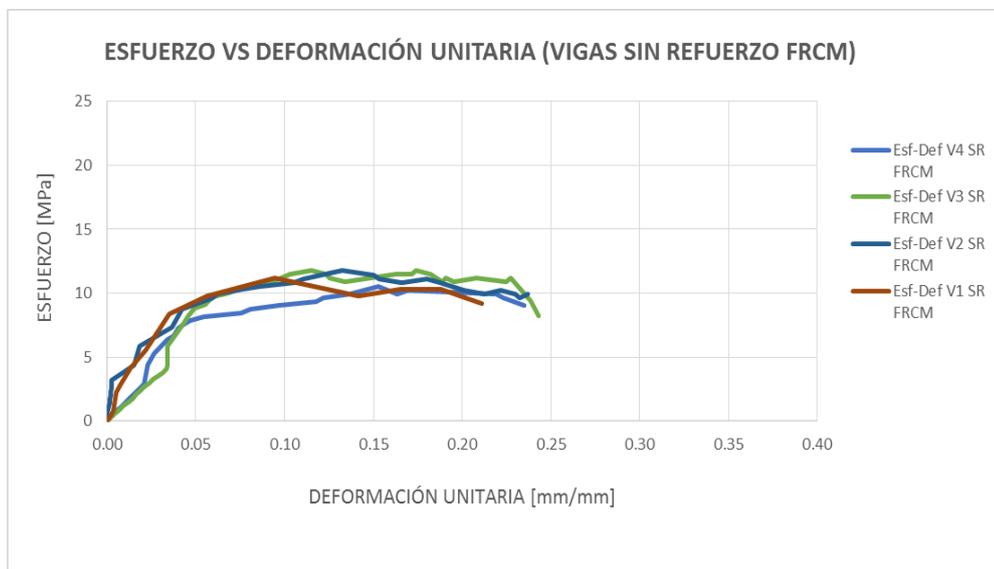


Figura 108 Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas sin SR FRCM.

Análisis:

El esfuerzo máximo está representado por la viga 3 con un valor de 11.781 MPa y una deformación unitaria de 0.243 mm/mm. La viga uno tiene un esfuerzo máximo de 11.179 MPa y una deformación unitaria de 0.211 mm/mm.

Interpretación:

Las cuatro vigas ensayadas tiene un esfuerzo máximo entre 10 y 12 MPa y una deformación máxima entre 0.21 y 0.25 mm/mm, así las vigas sin refuerzo tienen una tendencia similar tanto en esfuerzo máximo y deformación unitaria.

3.9.3.- Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión del Concreto y Tracción del Acero de las Vigas sin Refuerzo FRCM.

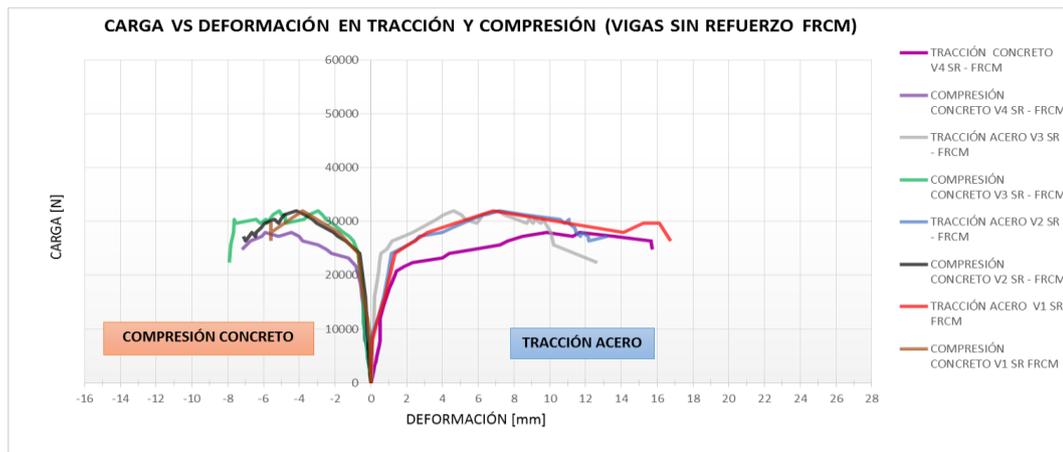


Figura 109 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión (Vigas sin Refuerzo FRCM).

Análisis:

La viga 3 alcanza una deformación a compresión de -7.927 mm y una deformación a la tracción de 12.66 mm, la viga 1 alcanza una deformación de -5.59 y una deformación a tracción de 16.764 mm.

Interpretación:

El concreto soporta menor carga en comparación al acero, de igual manera la deformación en el concreto es menor, en el ensayo la viga 1 es la que expresa mayor deformación con un valor de 16.764 mm.

3.10.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS + FRCM CABUYA.

3.10.1.- Viga + FRCM Cabuya N° 01.

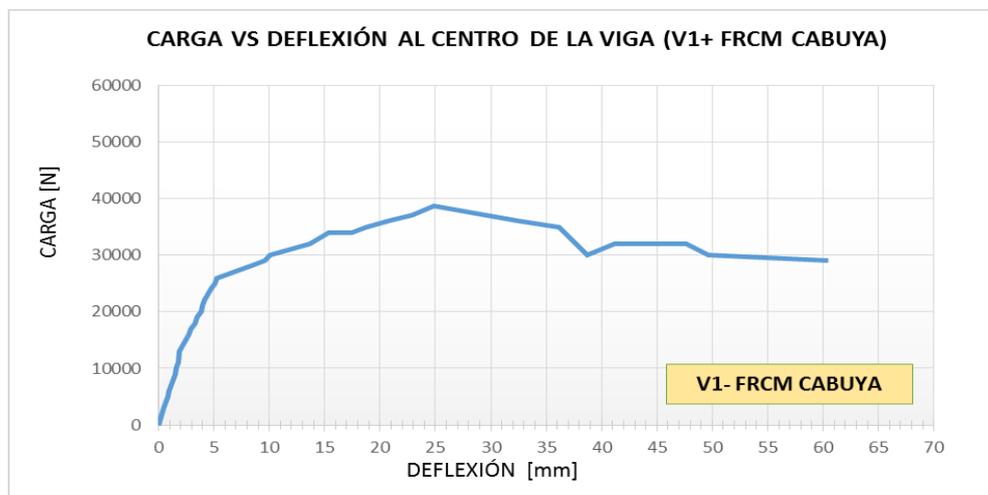


Figura 110 Carga s Deflexión al centro de la Viga (V1 SR – FRCM).

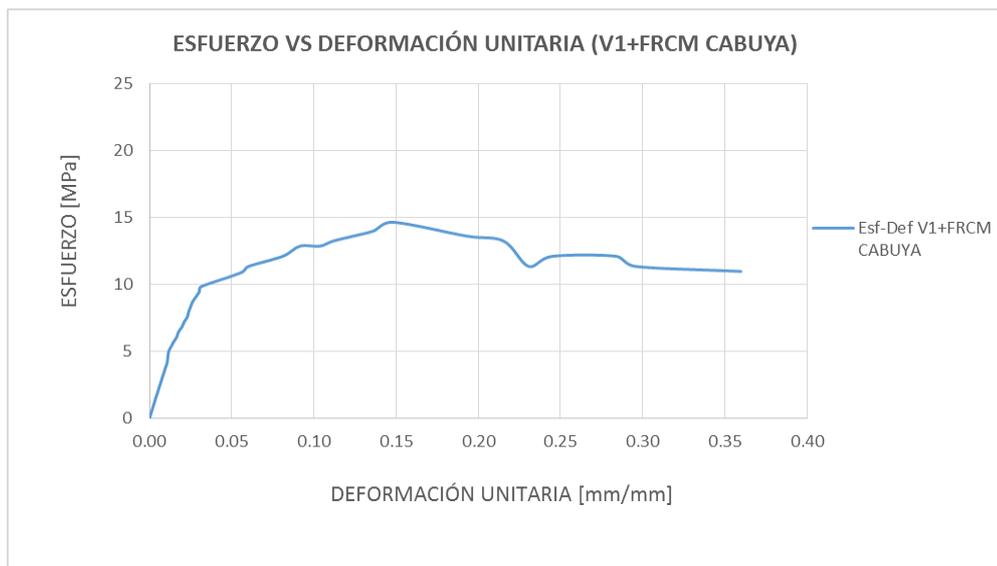


Figura 111 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1 + FRCM Cabuya).

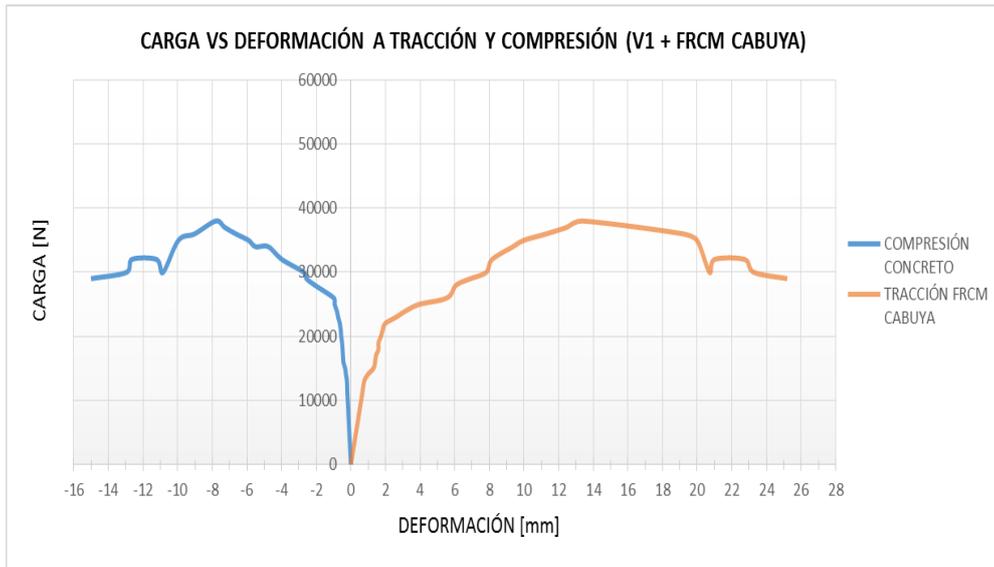


Figura 112 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del concreto y Tracción + FRCM cabuya V1.

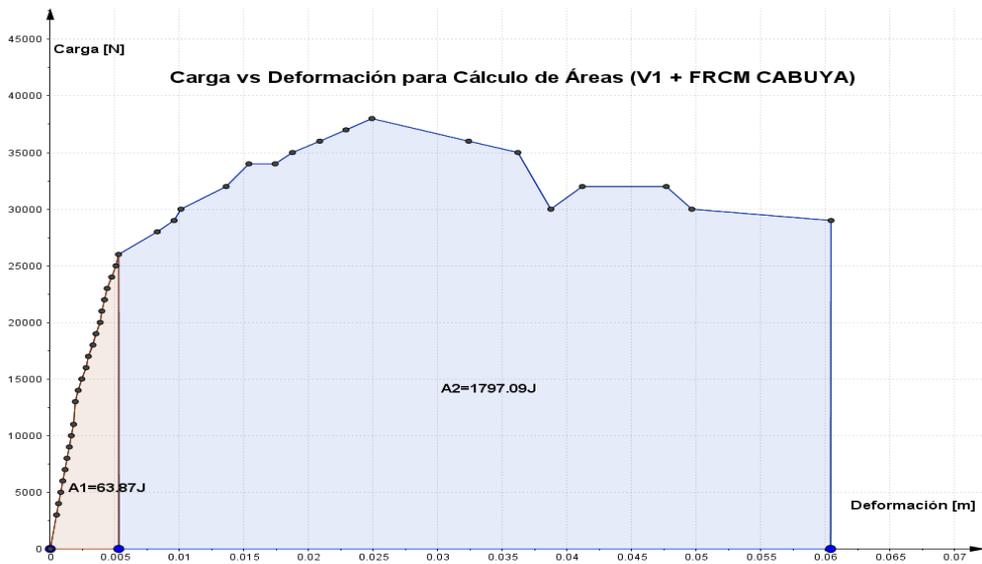


Figura 113 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V1 + FRCM Cabuya).

3.10.2.- Viga + FRCM Cabuya N° 02.

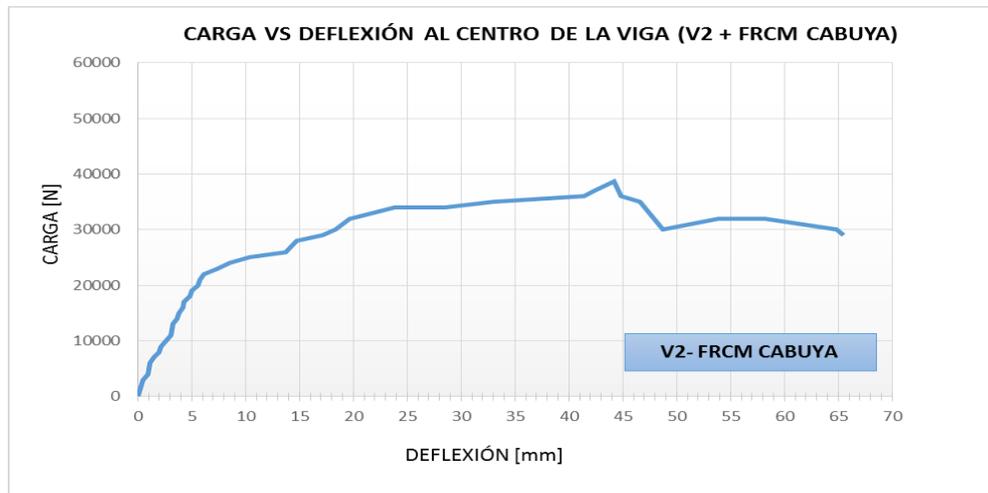


Figura 114 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V2 + FRCM Cabuya).

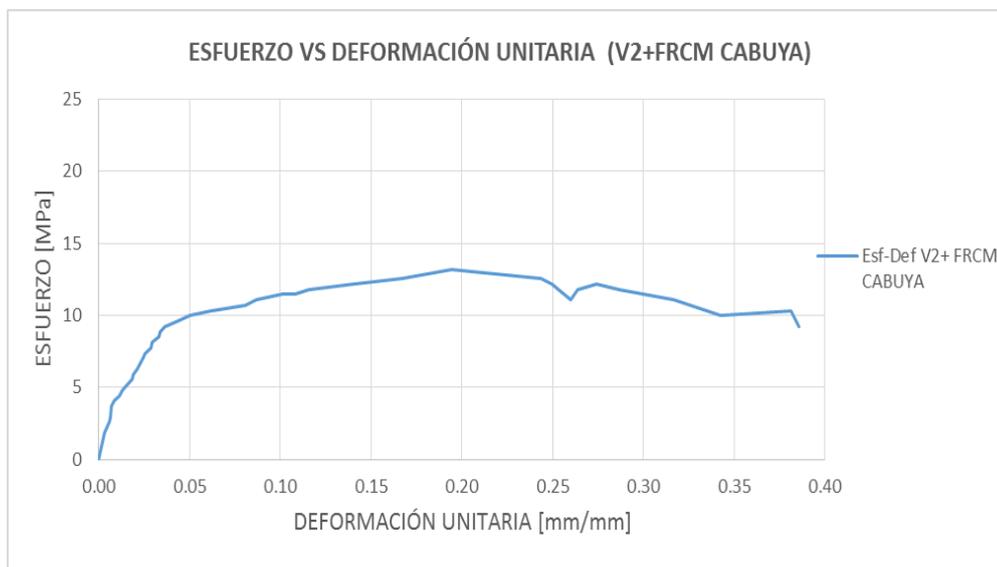


Figura 115 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 + FRCM Cabuya).

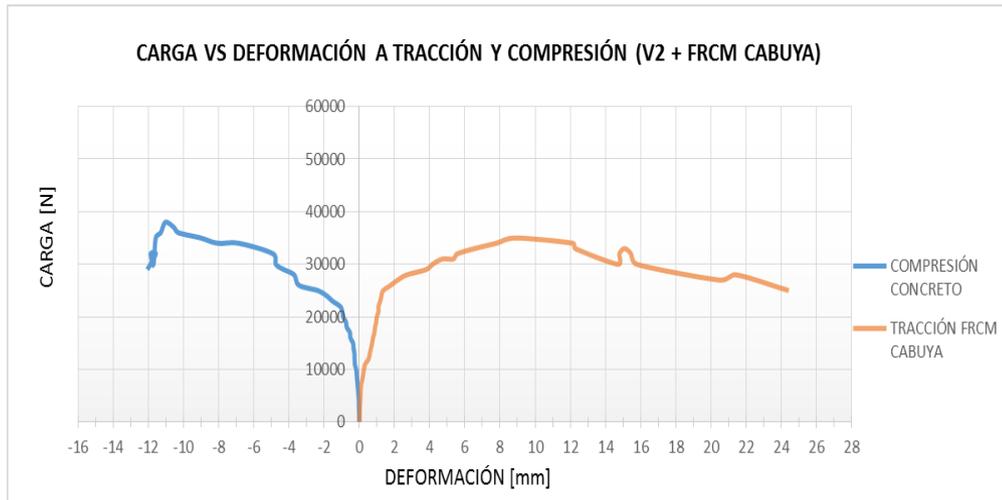


Figura 116 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y Tracción FRCM Cabuya V2.

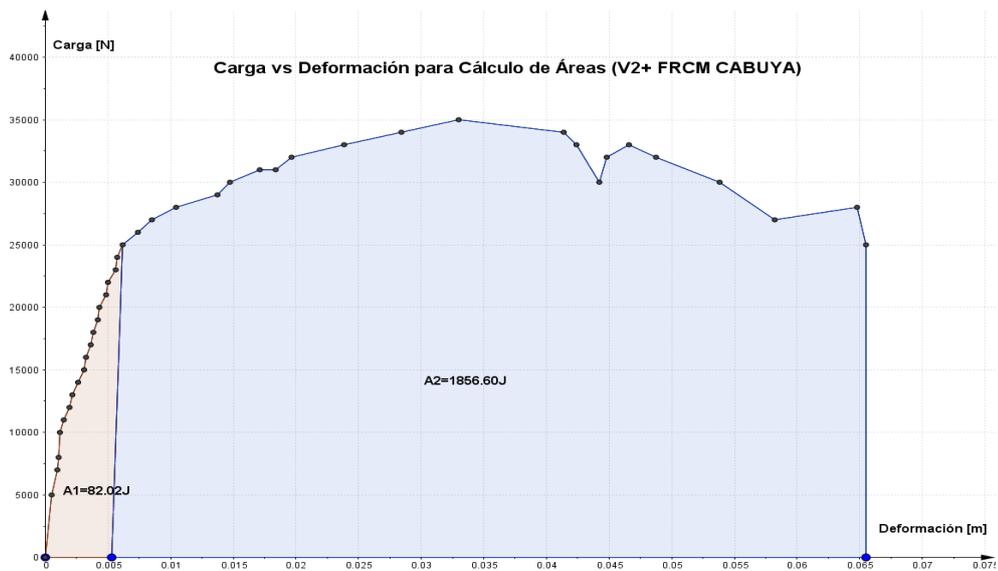


Figura 117 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V2 + FRCM Cabuya).

3.10.3.- Viga + FRCM Cabuya N° 03.

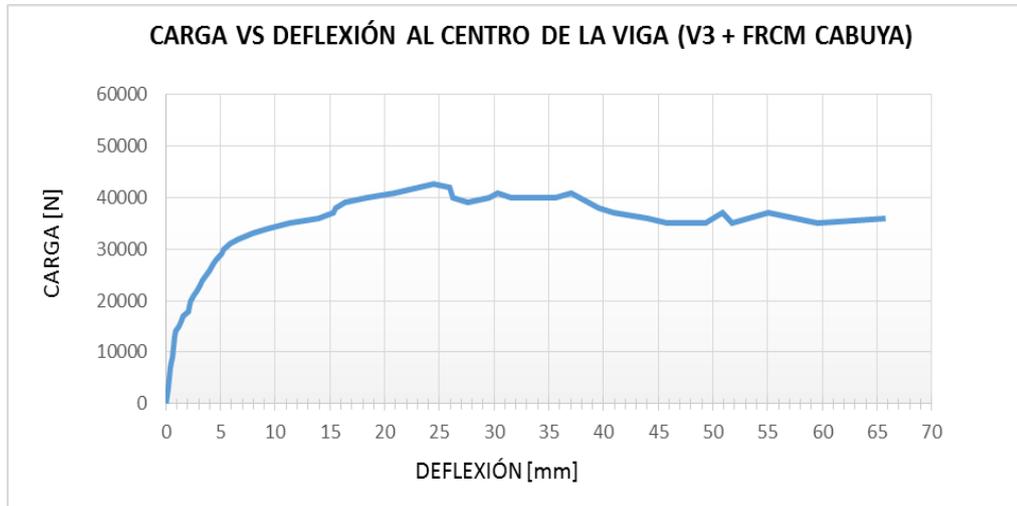


Figura 118 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V3 + FRCM Cabuya).



Figura 119 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 + FRCM Cabuya).

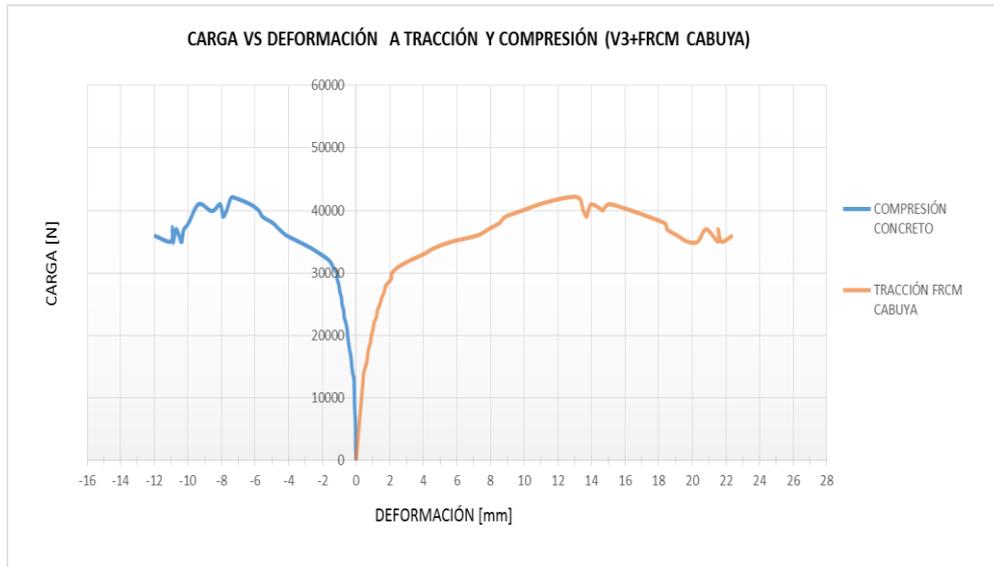


Figura 120 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción FRCM cabuya V3.

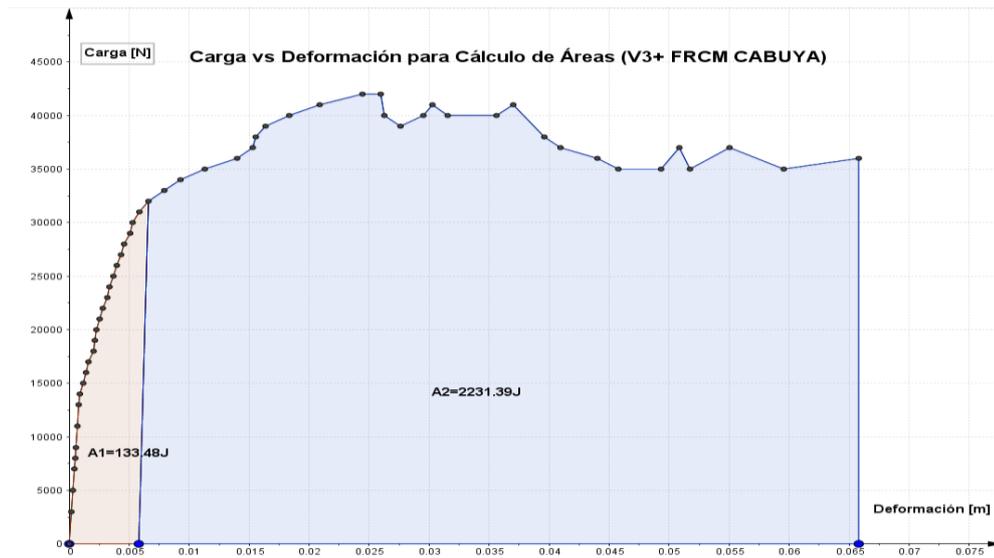


Figura 121 Carga vs Deformación para Calculo de Áreas (V3 + FRCM Cabuya).

3.10.4.- Viga + FRCM Cabuya N° 04.

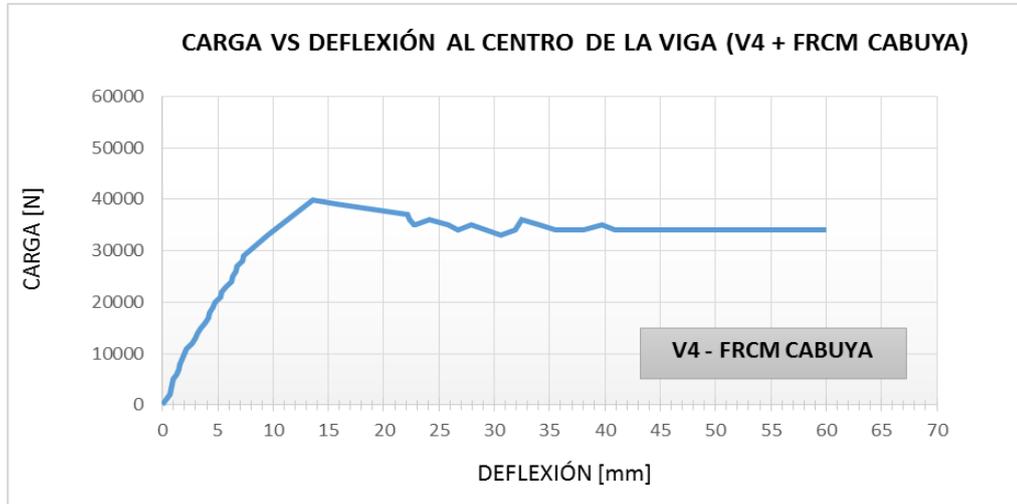


Figura 122 Carga s Deflexión al centro de la Viga (V4 + FRCM Cabuya).

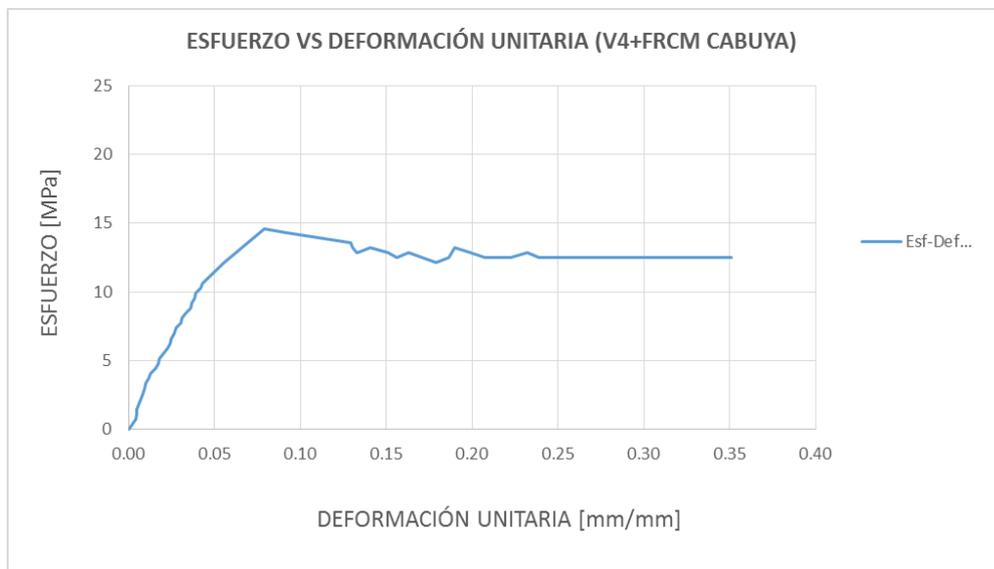


Figura 123 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 + FRCM Cabuya).

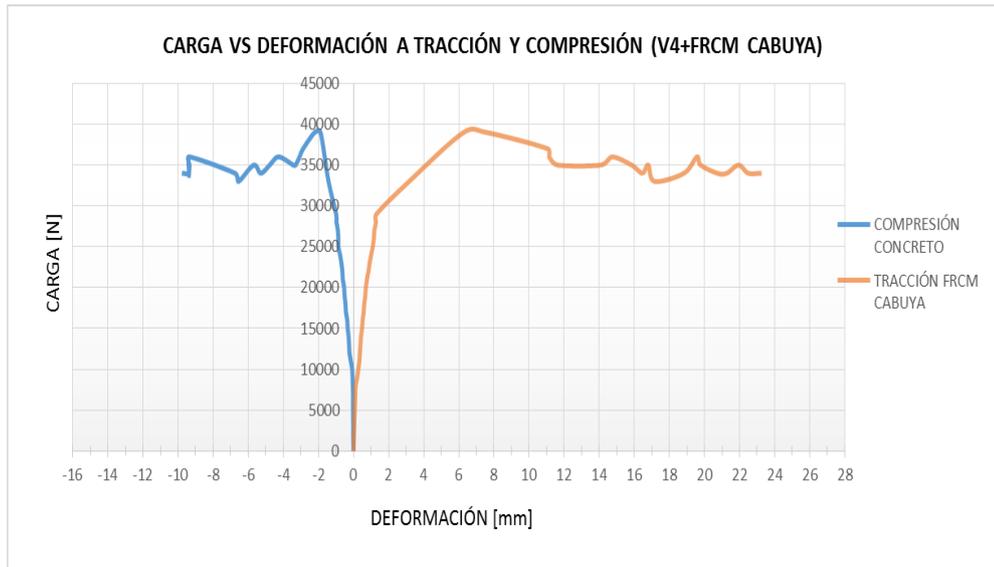


Figura 124 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRCM Cabuya V4.

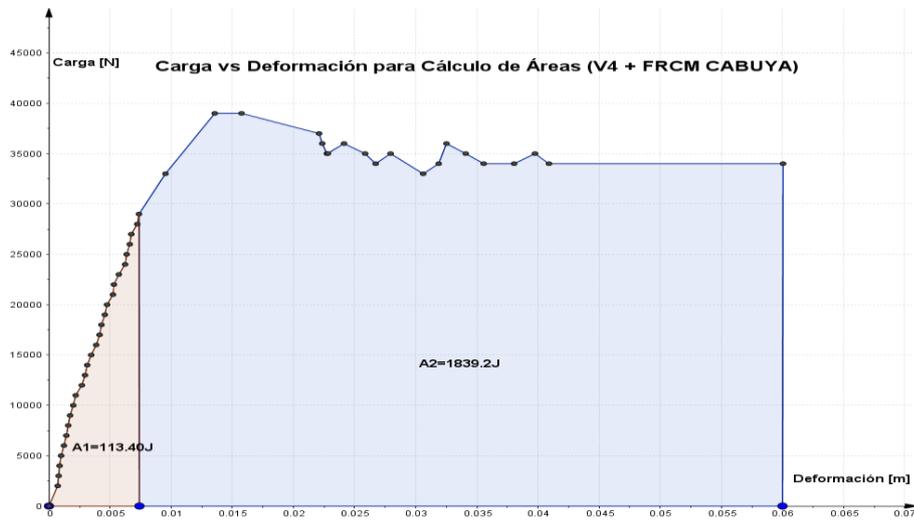


Figura 125 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V4 + FRCM Cabuya).

3.11.- RESUMEN DE VIGAS + FRCM DE CABUYA.

3.11.1.- Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCM Cabuya.

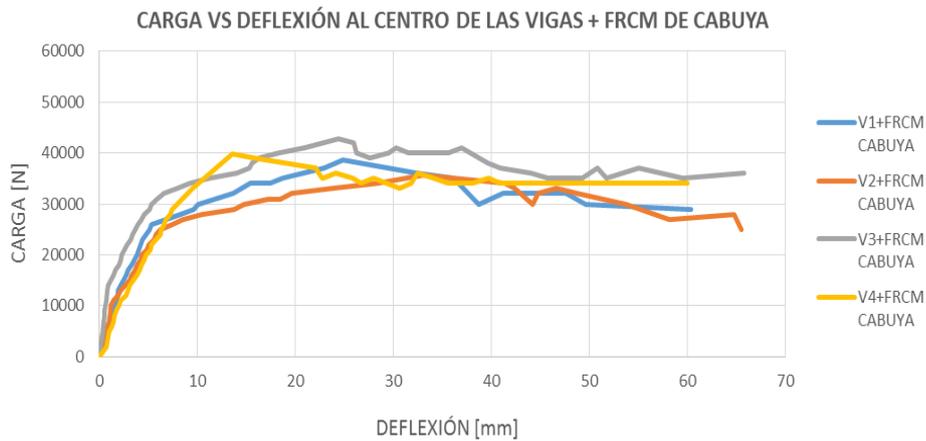


Figura 126 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCM Cabuya.

Análisis:

La viga 3 alcanza máxima de 42750 N y una deformación máxima de 65.507 mm, la viga 1 y 4 tiene una carga entre 38000 y 39000 N y una deformación máxima de 60.04 mm finalmente la viga 2 tiene una carga de 35612 N con una deformación máxima de 65.507 mm.

Interpretación:

Las vigas reforzadas con sistema FRCM de cabuya alcanzan una carga máxima en promedio de 39228.750 N y una deformación máxima promedio de 62.946 mm.

3.11.2.- Esfuerzo vs Deformación unitaria de las Vigas + FRCM Cabuya.

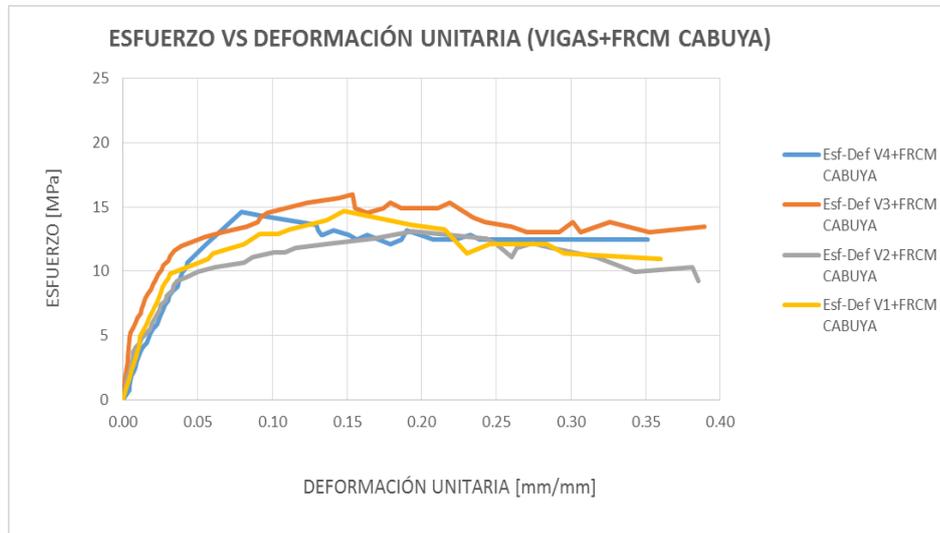


Figura 127 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Vigas + FRCM Cabuya).

Análisis:

La viga 1 y 4 tiene un esfuerzo máximo de 14 MPa con una deformación de 0.36 mm/mm, mientras que la viga 2 y 3 tiene un esfuerzo máximo entre 13 y 15 MPa, con una deformación unitaria máxima de 0.38 mm/mm.

Interpretación:

Las vigas reforzadas con sistema FRCM cabuya alcanzan un esfuerzo máximo de 14.591 con una deformación promedio de 0.371 mm/mm.

3.11.3.- Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión y Tracción de las Vigas + FRCM Cabuya.

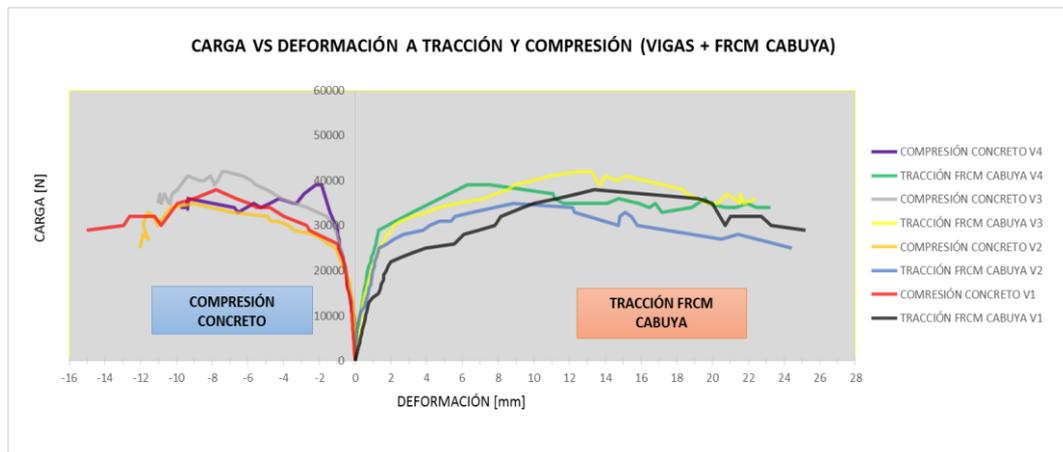


Figura 128 Carga vs Deformación en las Zonas de Compresión y Tracción de las Vigas + FRCM

Análisis:

La viga 1 alcanza una deformación a la tracción de -15.011 mm y en la deformación a la compresión de 25.203 mm. La viga 2 y 3 alcanzan una deformación a tracción de 12.065 mm y una deformación a la compresión de 24 mm.

Interpretación:

La viga 1 es la de mayor deformación a tracción y compresión, y la viga 4 es la de menor rango, y las dos restantes se encuentran dentro de este rango, esto demuestra que el sistema FRCM de cabuya tiene una mayor deformación pero también una mayor resistencia a cargas.

3.12.- ENSAYO DE FLEXIÓN VIGAS + FRCM VIDRIO.

3.12.1.- Viga + FRCM Vidrio N° 01.



Figura 129 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V1 + FRCM Vidrio).

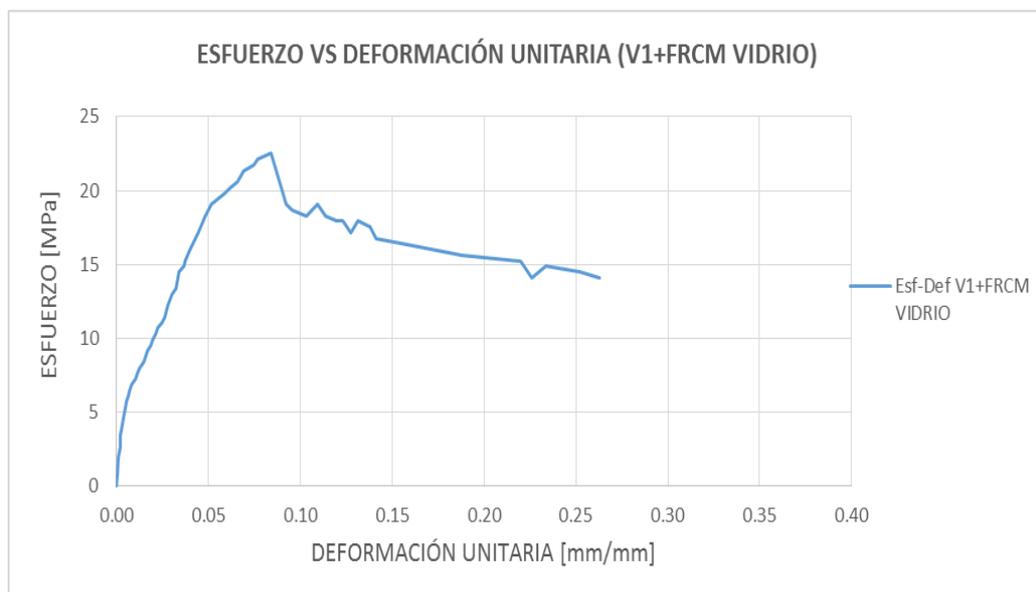


Figura 130 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V1+ FRCM Vidrio).

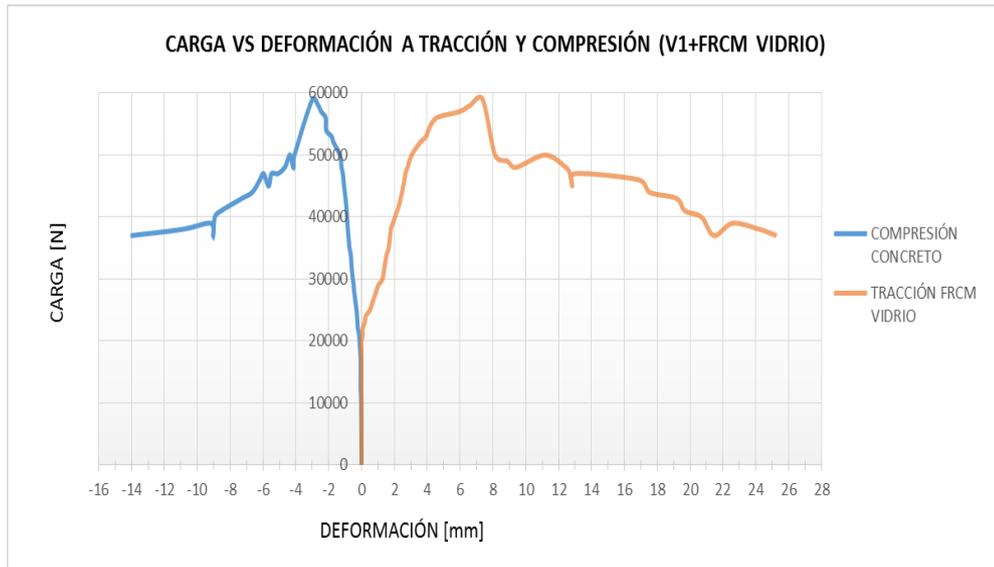


Figura 131 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRCM vidrio V1.

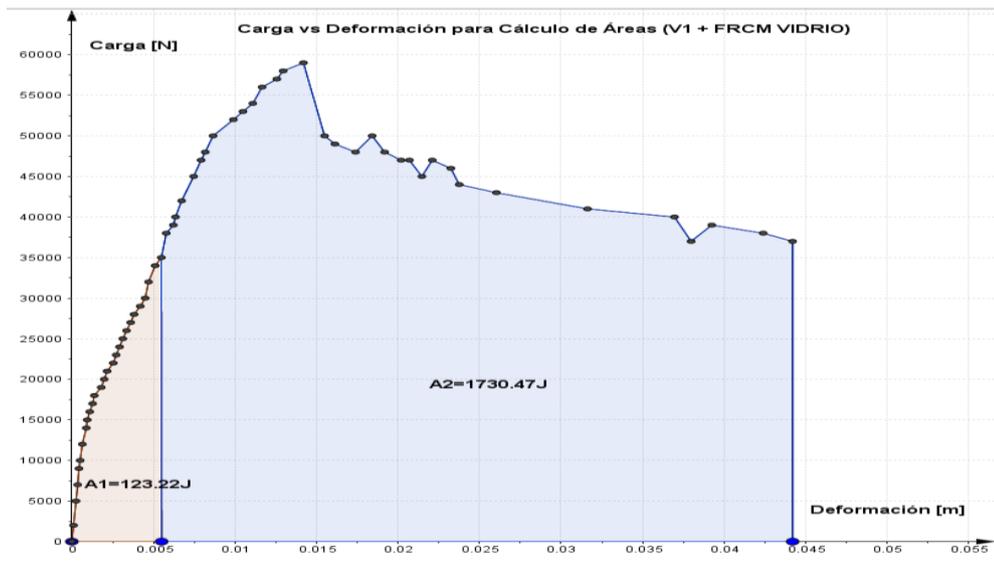


Figura 132 Carga vs Deformación para el Cálculo de Áreas (V1 + FRCM Vidrio).

3.12.2.- Viga + FRCM Vidrio N° 02.

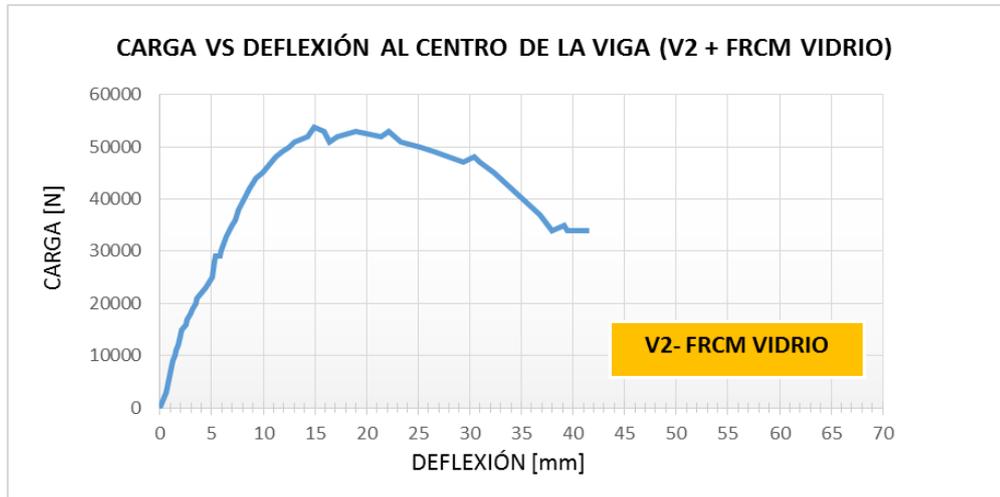


Figura 133 Carga vs Deflexión al Centro de la Viga (V2 + FRCM Vidrio).

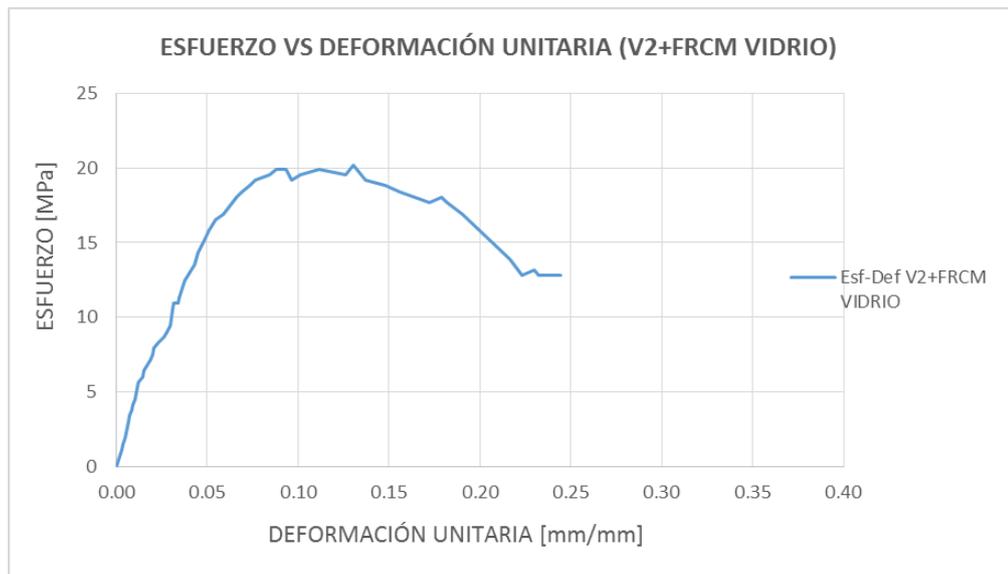


Figura 134 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V2 + FRCM Vidrio).

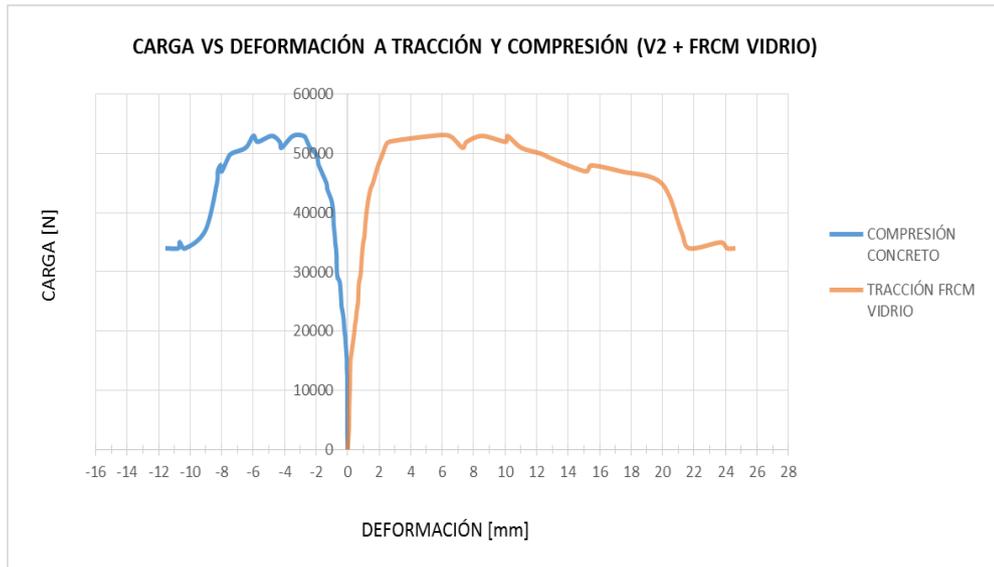


Figura 135 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción del FRM vidrio V2.

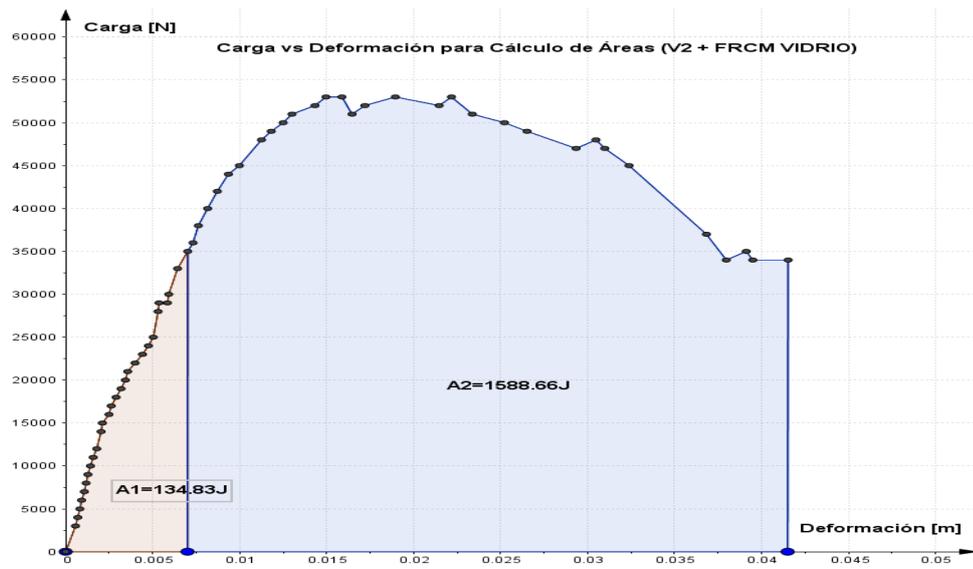


Figura 136 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V2 + FRM Vidrio).

3.12.3.- Viga + FRCM Vidrio N° 03.

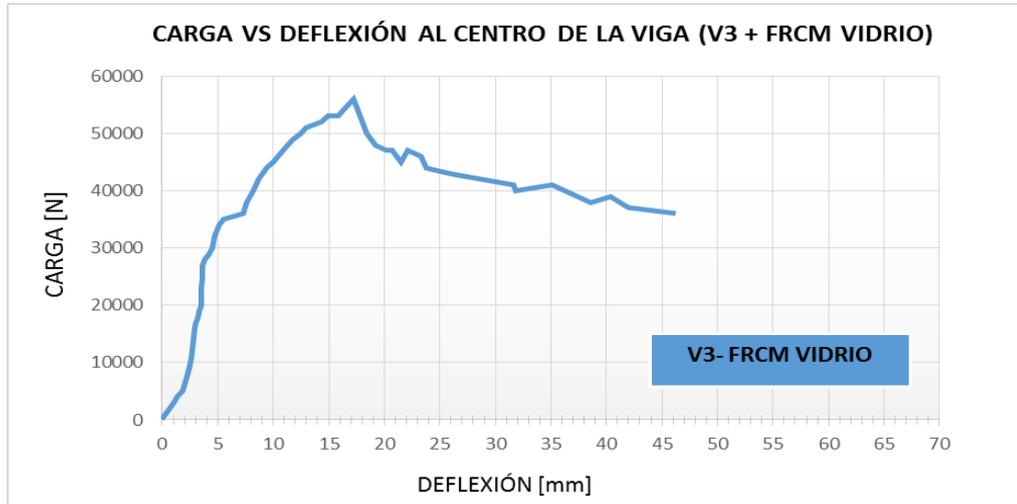


Figura 137 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V3 + FRCM Vidrio).

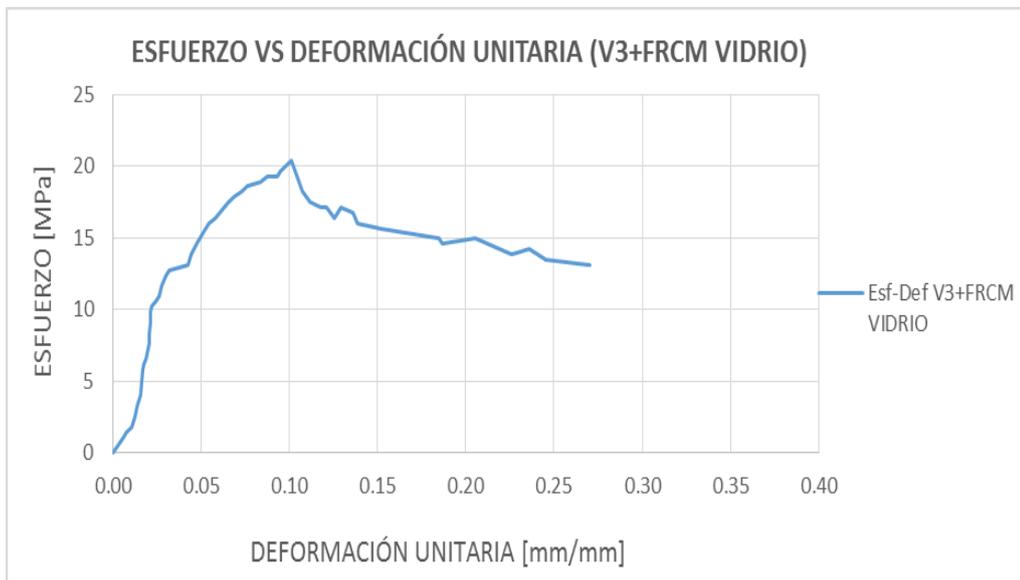


Figura 138 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V3 + FRCM Vidrio).

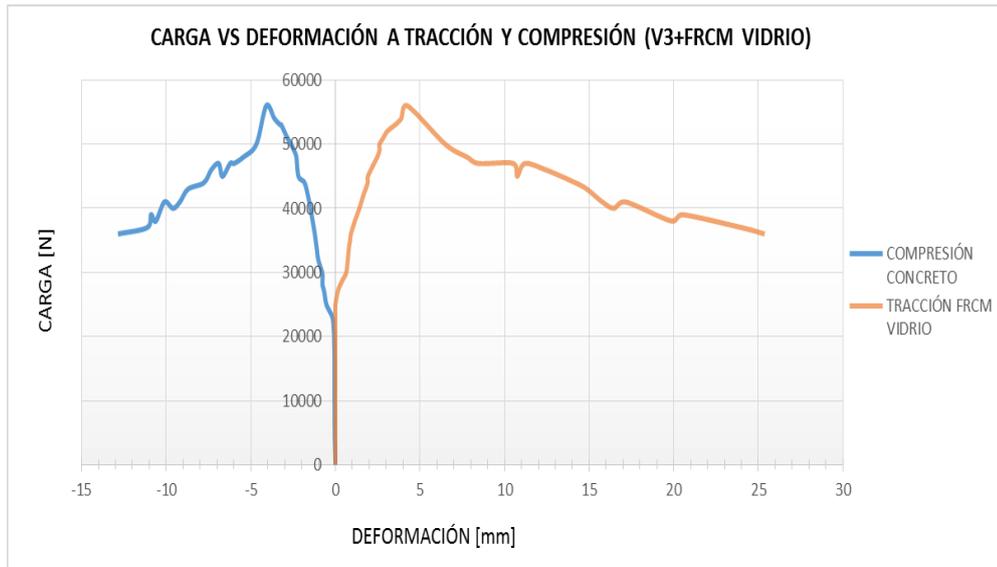


Figura 139 Carga vs Deformación en zona de compresión del concreto y tracción FRCM vidrio V3.

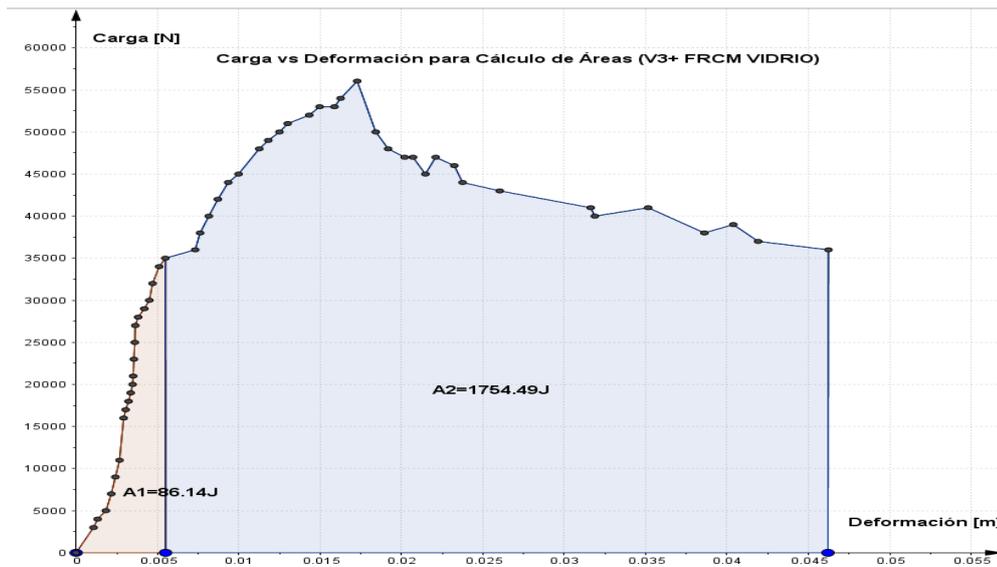


Figura 140 Carga vs Deformación para el cálculo de Áreas (V3 + FRCM Vidrio).

3.12.4.- Viga + FRCM Vidrio N° 04.

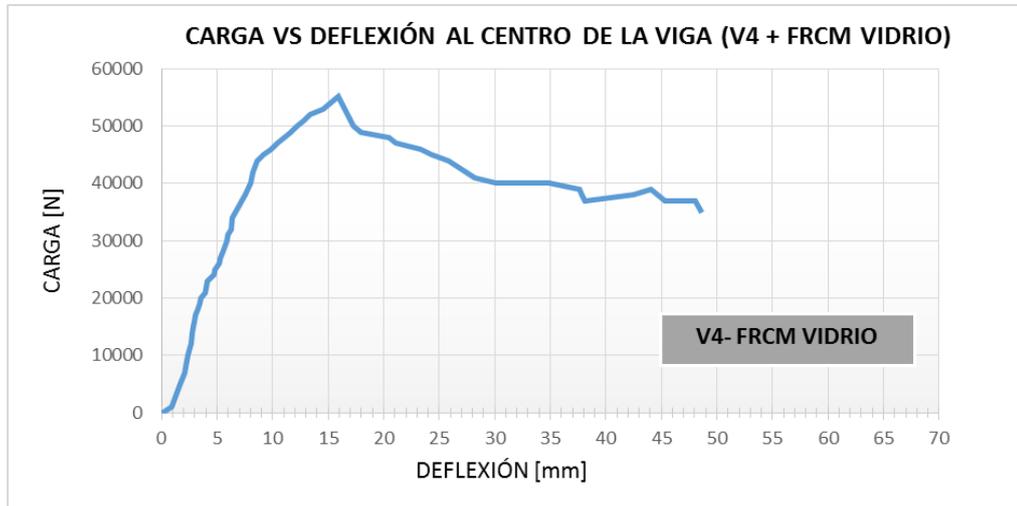


Figura 141 Carga vs Deflexión al centro de la Viga (V4 + FRCM Vidrio).

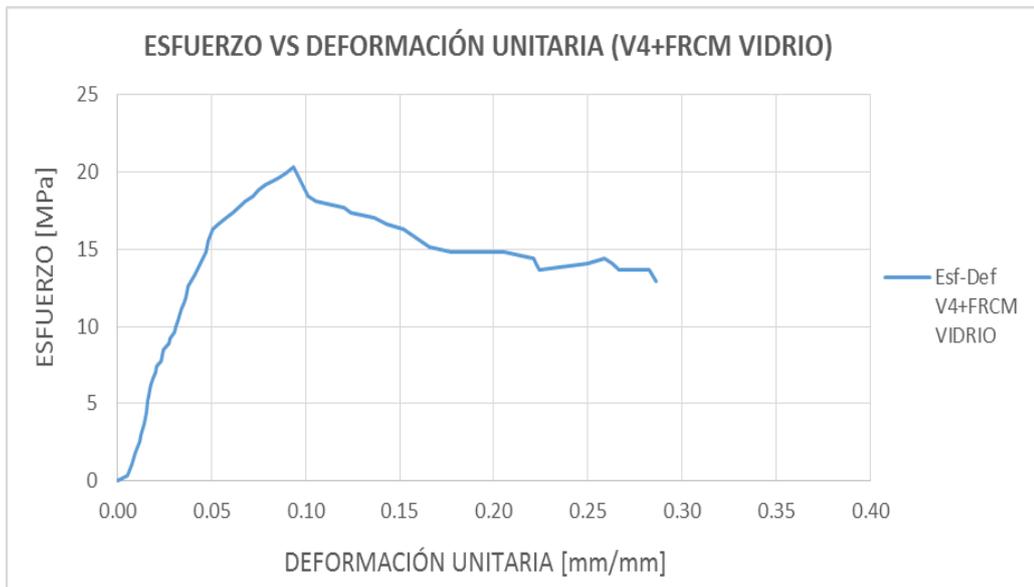


Figura 142 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (V4 + FRCM Vidrio).

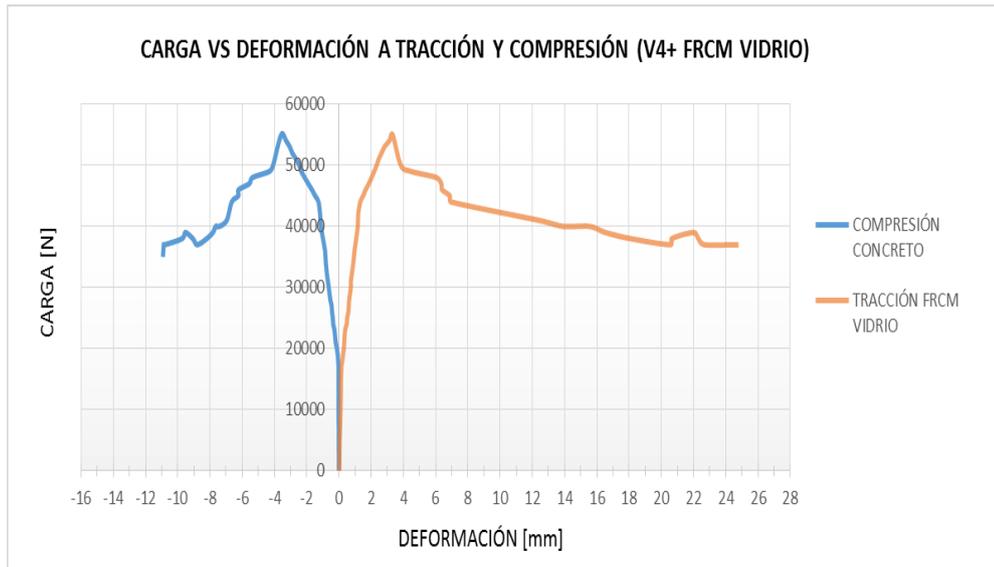


Figura 143 Carga vs Deformación en Zona de Compresión del concreto y Tracción del FRCM vidrio V4.

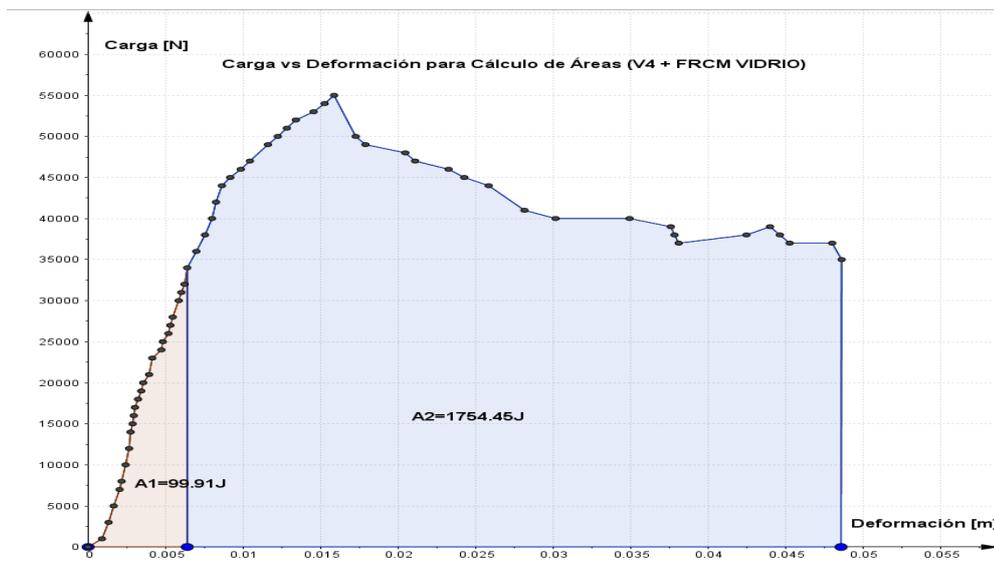


Figura 144 Carga vs Deformación para cálculo de Áreas (V4 + FRCM Vidrio).

3.13.- RESUMEN DE VIGAS + FRCM DE VIDRIO.

3.13.1.- Carga vs Deflexión al centro e las Vigas + FRCM Vidrio.

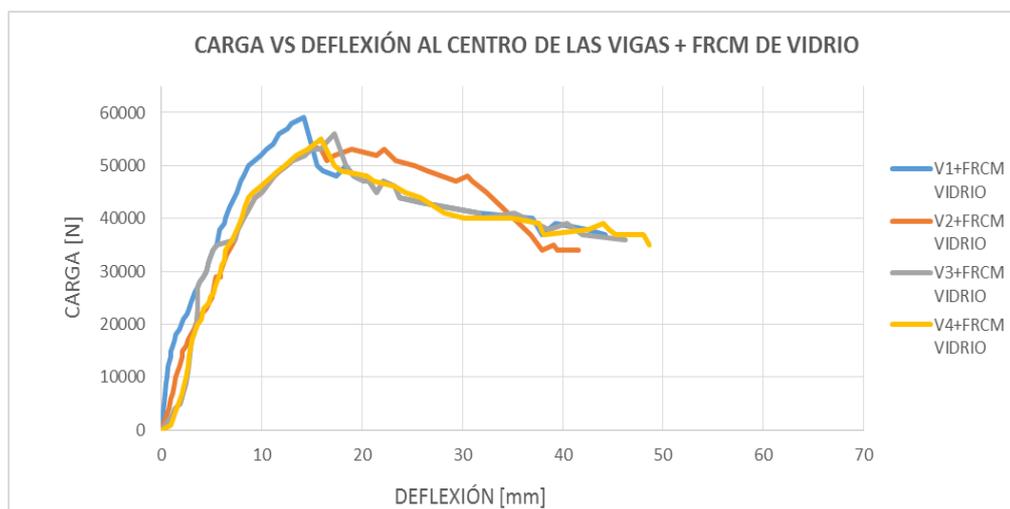


Figura 145 Carga vs Deflexión al centro de las Vigas + FRCM Vidrio.

Análisis:

La viga 1 alcanza una carga máxima de 59053 N con una deformación de 44.196 mm. La viga 3 igual que la 4 tiene una carga máxima entre 55000 y 56000 N y una deformación entre 46 y 48 mm. La viga 2 tiene una carga de 53680 N con una deformación de 41.529 mm.

Interpretación:

La viga 1 alcanza la carga máxima pero con una deformación menor a las otra tres vigas, demostrando que la fibra de vidrio tiende a deformarse 20 mm menos que las vigas con el sistema FRCM de cabuya.

3.13.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de la Vigas + FRCM Vidrio.

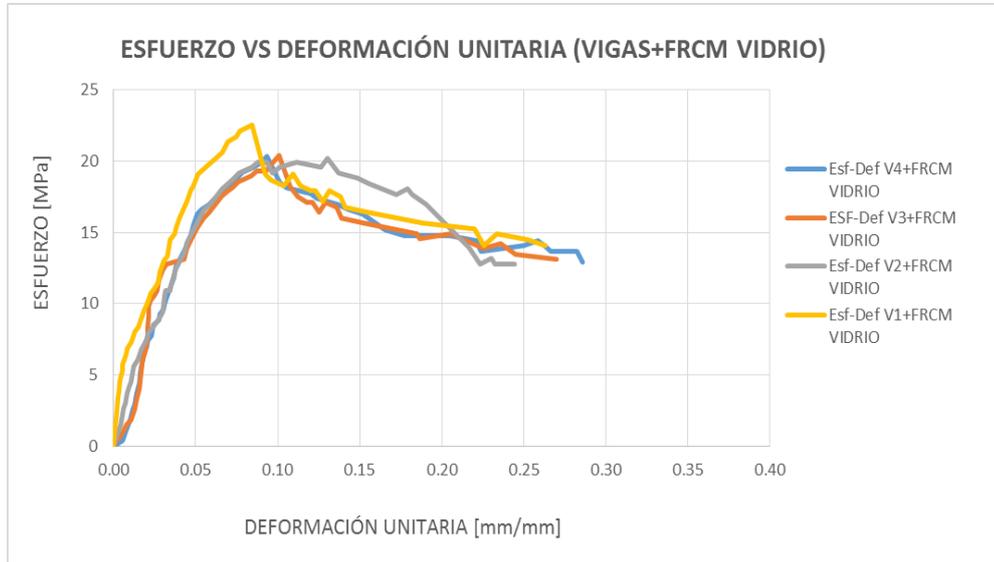


Figura 146 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Vigas + FRCM Vidrio).

Análisis:

La viga 2, 3, 4 alcanzan un esfuerzo máximo de 20 MPa con una deformación entre 24 y 28 mm/mm, contrario a esto la viga 1 alcanza un esfuerzo máximo de 22.52 MPa con una deformación de 0.263 mm/mm.

Interpretación:

Las vigas reforzadas con FRCM de Vidrio alcanzan un esfuerzo máximo promedio de 20.875 MPa y una deformación de 0.266 mm/mm.

3.13.3.- Carga vs Deformación en las zonas de Compresión, Tracción de las Vigas + FRCM Vidrio.

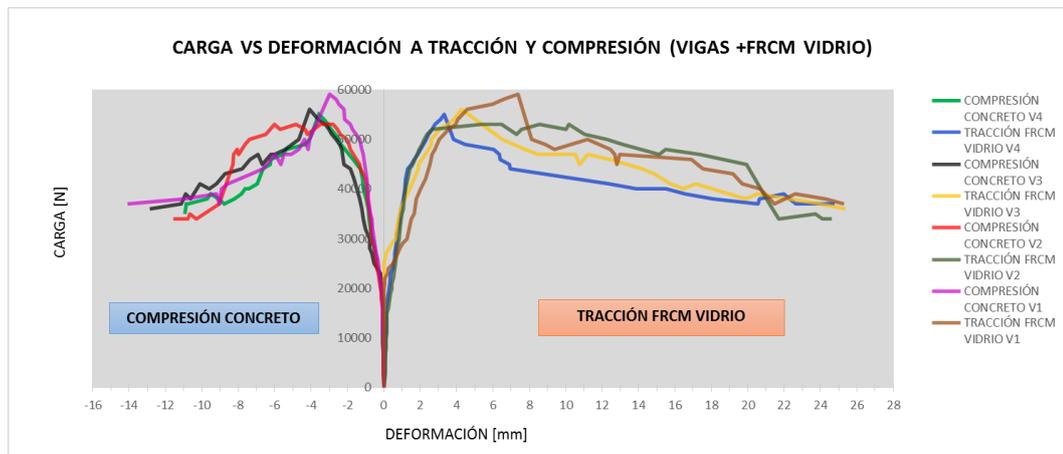


Figura 147 Carga vs Deformación a Tracción y Compresión (Vigas + FRCM Vidrio).

Análisis:

La viga 4 alcanza una deformación menor con -10.922 mm y una deformación a la compresión de 25.19 mm, la viga 1, 2, 3 alcanzan una deformación a la tracción entre 10 y 12 mm y una deformación a la compresión entre 24 y 25 mm.

Interpretación:

El refuerzo FRCM vidrio en vigas permite una mayor deformación a la tracción en comparación a la deformación a la compresión del sistema FRCM Cabuya.

3.14.- RESUMEN DE RESULTADOS DE VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA.

3.14.1.- Ensayo a Flexión Pura en Vigas de Concreto Reforzado.

Tabla 25 Ensayo a Flexión pura en Vigas a escala.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 					
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
ENSAYO A FLEXIÓN PURA EN VIGAS A ESCALA					
TIPO	ESPÉCIMEN	CARGA MÁXIMA [N]	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]
SIN REFUERZO FRM	V1 SR	32081.000	36.942	11.179	0.211
	V2 SR	32177.000	40.538	11.768	0.237
	V3 SR	32183.000	41.107	11.781	0.243
	V4 SR	28828.000	39.726	10.511	0.223
MEDIA		31317.250	39.578	11.310	0.229
DESVIACIÓN ESTANDAR		1660.158	1.847	0.602	0.014
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		5.301	4.666	5.325	6.305
FRM CABUYA	V1+ FRM CABUYA	38723.000	60.427	14.652	0.360
	V2+ FRM CABUYA	35612.000	65.507	13.141	0.385
	V3+ FRM CABUYA	42750.000	65.804	15.951	0.389
	V4+FRM CABUYA	39830.000	60.045	14.619	0.351
MEDIA		39228.750	62.946	14.591	0.371
DESVIACIÓN ESTANDAR		2949.427	3.135	1.148	0.019
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		7.519	4.981	7.870	5.073
FRM VIDRIO	V1+ FRM VIDRIO	59053.000	44.196	22.516	0.263
	V2+ FRM VIDRIO	53680.000	41.529	20.200	0.244
	V3+ FRM VIDRIO	56039.000	46.228	20.413	0.270
	V4+FRM VIDRIO	55123.000	48.641	20.370	0.286
MEDIA		55973.750	45.149	20.875	0.266
DESVIACIÓN ESTANDAR		2270.910	3.021	1.098	0.017
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		4.057	6.690	5.261	6.526

3.14.2.- Gráficas Resumen del Ensayo de Flexión Pura en Vigas.

3.14.2.1.- Resumen de Carga vs Deflexión al centro de las Vigas.

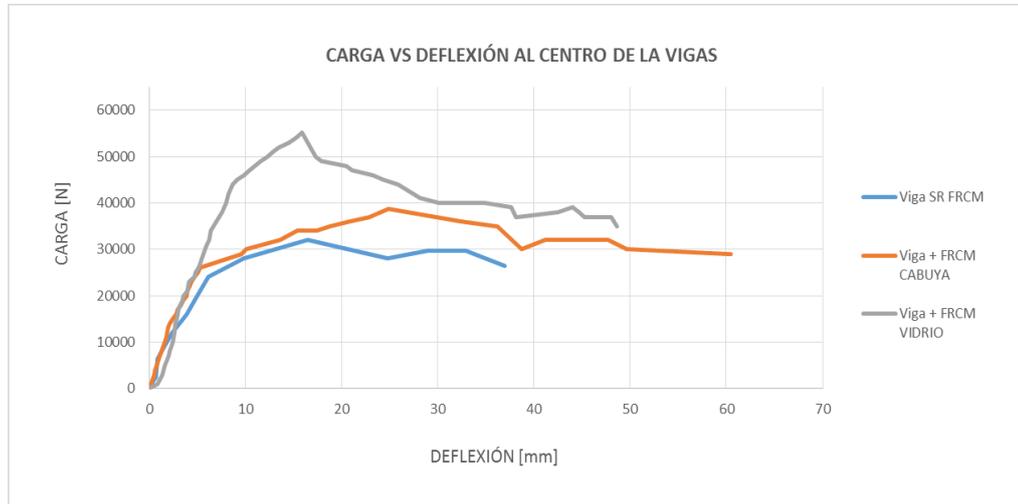


Figura 148 Resumen de carga vs Deflexión al centro de las Vigas.

Análisis:

Las vigas SR FRCM alcanzan una carga de 31317.250 N con una deformación de 39.578 mm. Las vigas con FRCM Cabuya alcanzan una carga de 39228.750 N y una deformación de 62.946 mm. Finalmente las vigas reforzadas FRCM Vidrio alcanzan una carga de 55973.75 N con una deformación de 45.149 mm, todo esto en promedio de valores ensayados.

Interpretación:

Las vigas reforzadas con sistema FRCM de cabuya y vidrio tiende a una mayor deformación a las vigas sin refuerzo, permitiéndoles admitir más carga y tener mayor adherencia entre concreto y sistema FRCM. Las vigas reforzadas con FRCM cabuya alcanzan una mayor deformación.

3.14.2.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas.

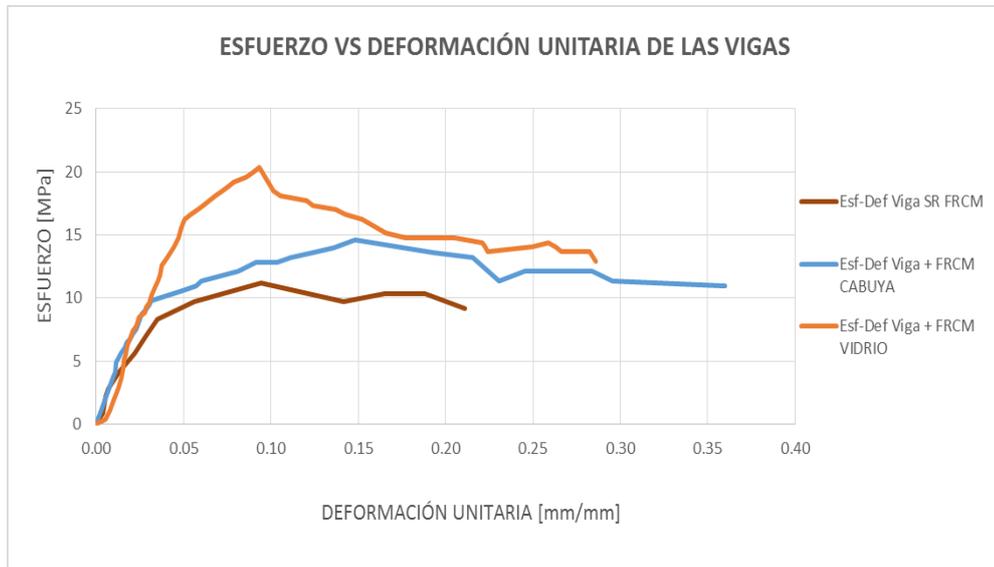


Figura 149 Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las Vigas.

Análisis:

Las vigas con sistema FRCM de cabuya tiene una deformación unitaria mayor a 0.35 mm/mm, con un esfuerzo de 15.95 MPa. Las vigas con sistema FRCM de vidrio tiene una deformación unitaria a 0.30 mm/mm con un esfuerzo de 22.52 MPa así finalmente las vigas sin refuerzo tiene una deformación unitaria de 0.243 mm/mm y un esfuerzo de 11.781 MPa.

Interpretación:

El ensayo de esfuerzo vs deformación tanto de las vigas con sistemas reforzados con sistema FRCM de cabuya son más resistentes a aquellas que cuentan con un sistema FRCM de vidrio y definitivamente estas dos son más resistentes a aquellas que no tiene refuerzo alguno.

3.14.2.3.- Carga vs Deformación en las zonas de Compresión del concreto , Tracción FRCM de las Vigas.

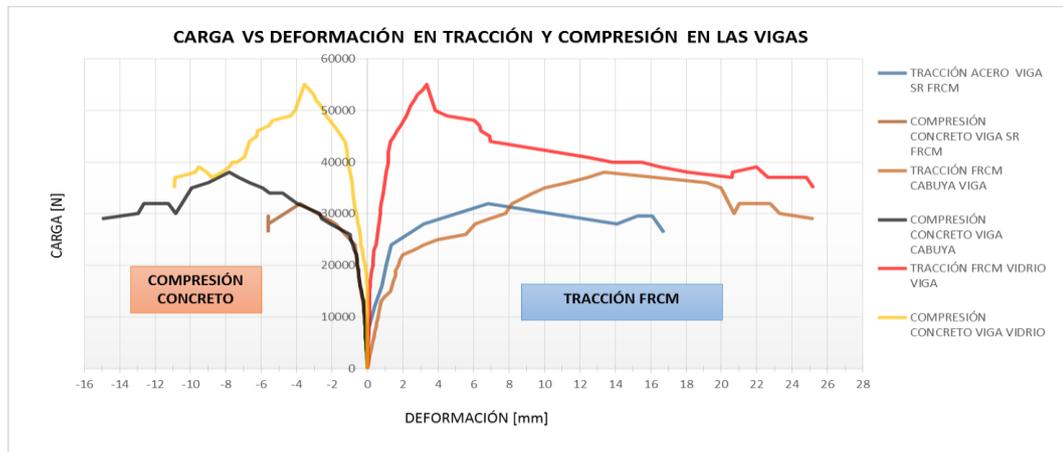


Figura 150 Carga vs Deformación en Tracción y Compresión en las Vigas.

Análisis:

Las vigas sin refuerzo alcanzan una deformación a la compresión de concreto menor a -6 mm y a la tracción con un valor de 16 mm, las vigas reforzadas con sistema FRCM alcanzan una deformación a la compresión de -16 mm y a la tracción mayor a 24 mm.

Interpretación:

Las vigas sin refuerzo tienen una menor deformación a compresión y tracción respecto a las vigas con refuerzo FRCM de cabuya y vidrio, resaltando que el sistema FRCM vidrio supera tanto al sistema FRCM de cabuya como a las vigas sin refuerzo.

3.15.- DUCTILIDAD Y ENERGÍA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA.

Tabla 26 Índices de Ductilidad y Energía en Vigas.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 											
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO											
ÍNDICES DE DUCTILIDAD Y ENERGÍA EN VIGAS											
TIPO	ESPECIMEN	Δy [m]	Δu [m]	Área Total [N*m]	Área post [N*m]	Área elástica [N*m]	Ductilidad de Deformación	Ductilidad de Energía [J/J]	Energía Absorbida [J]	Sección Transversal [m ²]	Energía de Fractura o Tenacidad [J/m ²]
SIN REFUERZO FRCM	V1 SR FRCM	0.006	0.0369	976.520	894.610	81.910	6.016	6.461	976.520	0.022	44186.425
	V2 SR FRCM	0.007	0.041	1073.540	964.690	108.850	5.623	5.431	1073.540	0.022	48576.471
	V3 SR FRCM	0.010	0.041	1049.931	921.520	128.411	4.086	4.588	1049.931	0.022	47508.176
	V4 SR FRCM	0.007	0.040	913.700	849.830	63.870	5.886	7.653	913.700	0.022	41343.891
MEDIA							5.403	6.033	1003.423	0.022	45403.741
DESVIACIÓN ESTÁNDAR							0.893	1.324	72.694	0.000	3289.331
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %							16.523	21.940	7.245	0.000	7.245
FRCM CABUYA	V1+ FRCM CABUYA	0.005	0.060	1860.960	1797.090	63.870	11.896	15.068	1860.960	0.022	84206.335
	V2+ FRCM CABUYA	0.006	0.066	1938.620	1856.600	82.020	10.618	12.318	1938.620	0.022	87720.362
	V3+ FRCM CABUYA	0.007	0.066	2364.870	2231.390	133.480	9.970	9.359	2364.870	0.022	107007.692
	V4+FRCM CABUYA	0.007	0.060	1952.600	1839.200	113.400	8.148	9.109	1952.600	0.022	88352.941
MEDIA							10.158	11.464	2029.263	0.022	91821.833
DESVIACIÓN ESTÁNDAR							1.561	2.811	227.341	0.000	10286.908
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %							15.364	24.518	11.203	0.000	11.203
FRCM VIDRIO	V1+ FRCM VIDRIO	0.005	0.044	1853.690	1730.470	123.220	8.051	8.022	1853.690	0.022	83877.376
	V2+ FRCM VIDRIO	0.007	0.042	1723.490	1588.660	134.830	5.924	6.891	1723.490	0.022	77985.973
	V3+ FRCM VIDRIO	0.005	0.046	1840.630	1754.490	86.140	8.421	11.184	1840.630	0.022	83286.425
	V4+FRCM VIDRIO	0.006	0.049	1854.360	1754.450	99.910	7.600	9.780	1854.360	0.022	83907.692
MEDIA							7.499	8.969	1818.043	0.022	82264.367
DESVIACIÓN ESTÁNDAR							1.102	1.895	63.351	0.000	2866.564
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %							14.697	21.132	3.485	0.000	3.485

3.16.- NOMALIZACIÓN DE DATOS EN BASE A LAS VIGAS SIN REFUERZO DE LOS INDICES DE DUCTIBILIDAD Y ENERGIAS EN VIGAS.

Tabla 27 Normalización de resultados en base de las vigas sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
NORMALIZACIÓN DE RESULTADOS EN BASE DE LAS VIGAS SIN REFUERZO FRCM				
PROBETAS	Ductilidad de Deformación	Ductilidad de Energía	Energía Absorbida	Energía de Fractura o Tenacidad
VIGAS SIN REFUERZO FRCM	1.00	1.00	1.00	1.00
VIGAS CON REFUERZO FRCM + CABUYA	1.88	1.90	2.02	2.02
VIGAS CON REFUERZO FRCM + VIDRIO	1.39	1.49	1.81	1.81

3.17.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS SIN REFUERZO FRCM.

3.17.1.- Columnas sin Refuerzo FRCM N° 01.

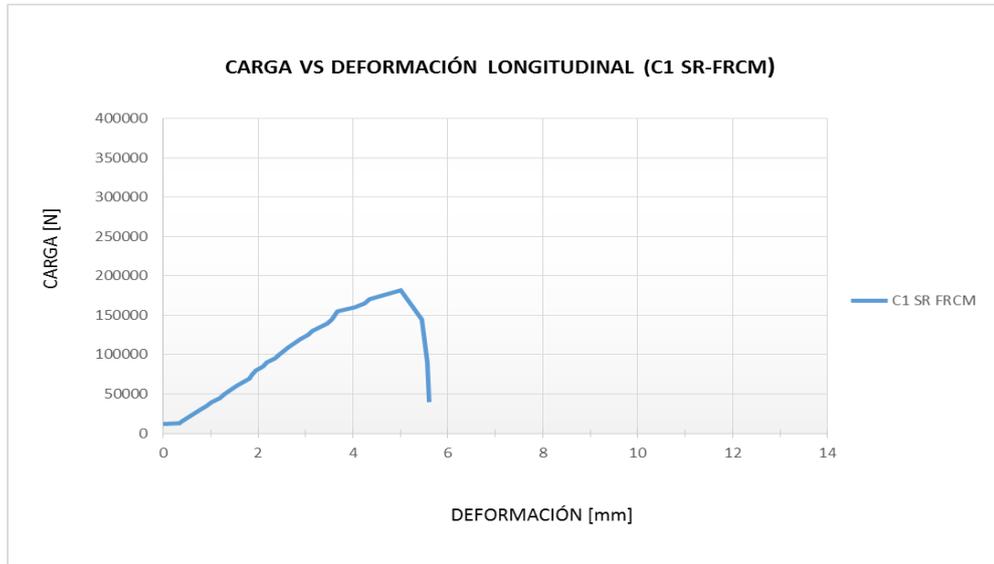


Figura 151 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 SR – FRCM).

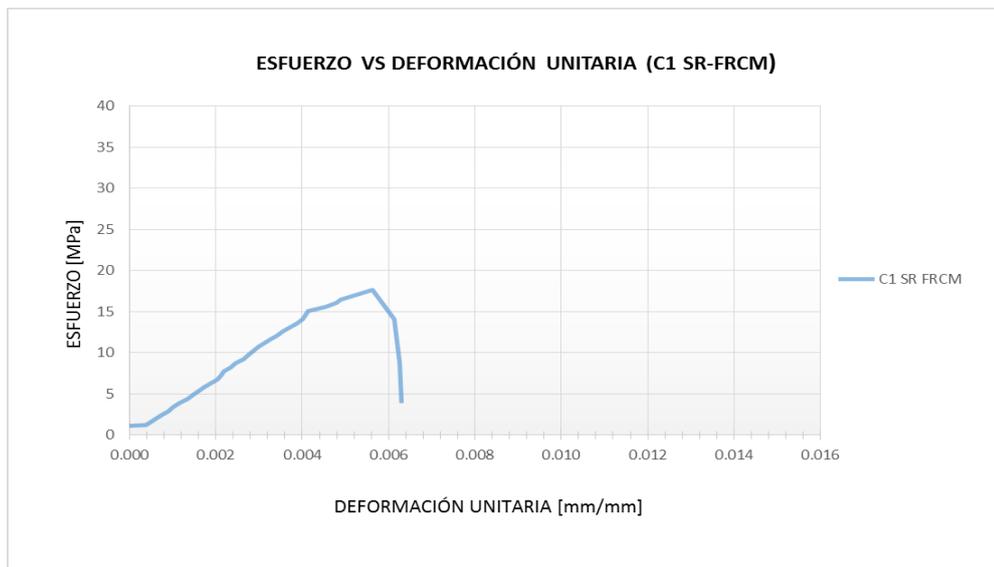


Figura 152 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 SR – FRCM).

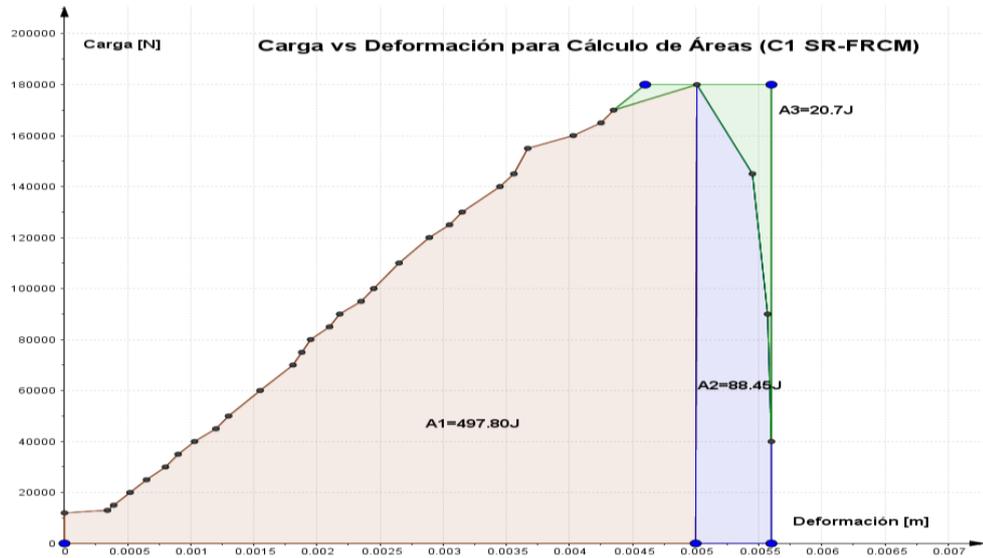


Figura 153 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C1 SR – FRCM).

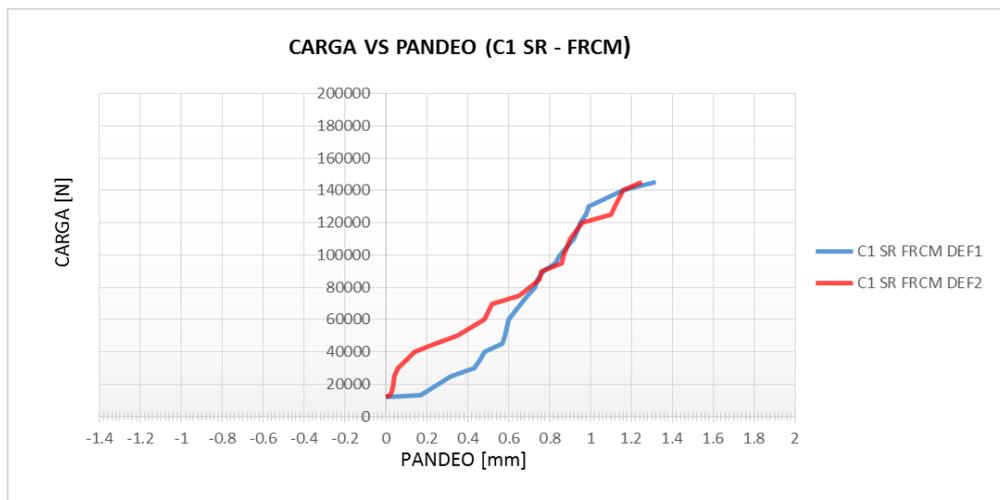


Figura 154 Carga vs Pandeo (C1 SR – FRCM).

3.17.2.- Columna sin Refuerzo FRCM N° 02.

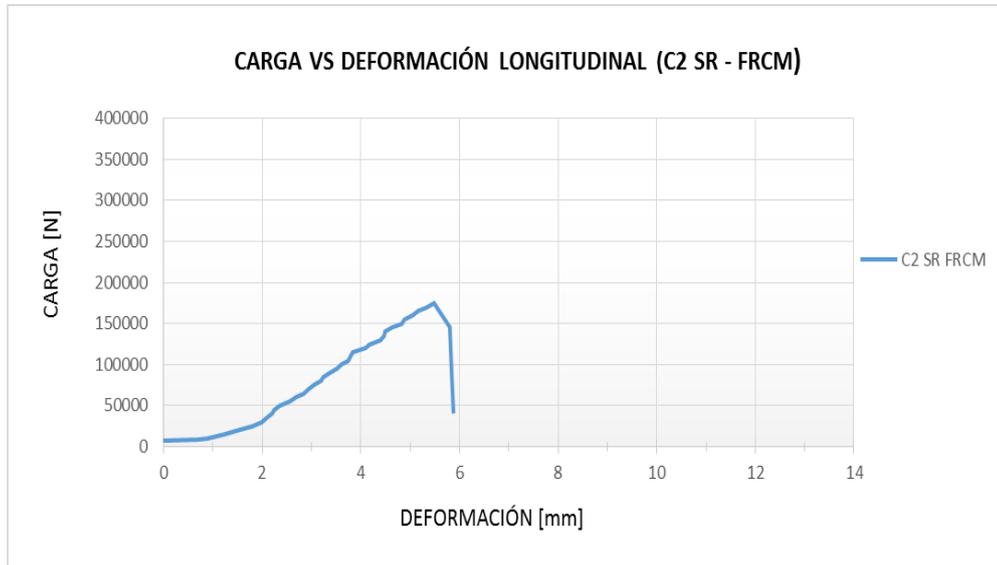


Figura 155 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 SR – FRCM).



Figura 156 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 SR – FRCM).

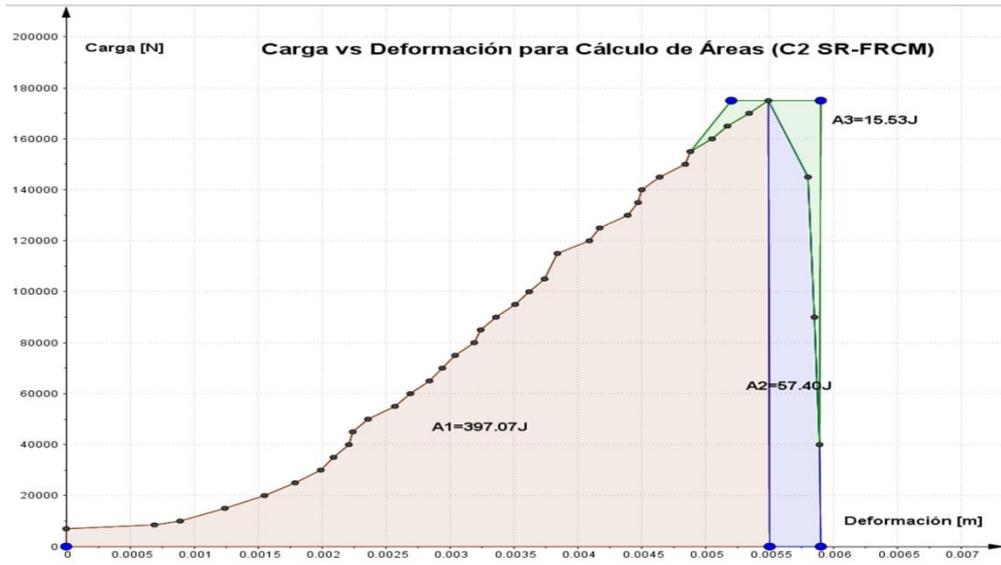


Figura 157 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 SR – FRCM).

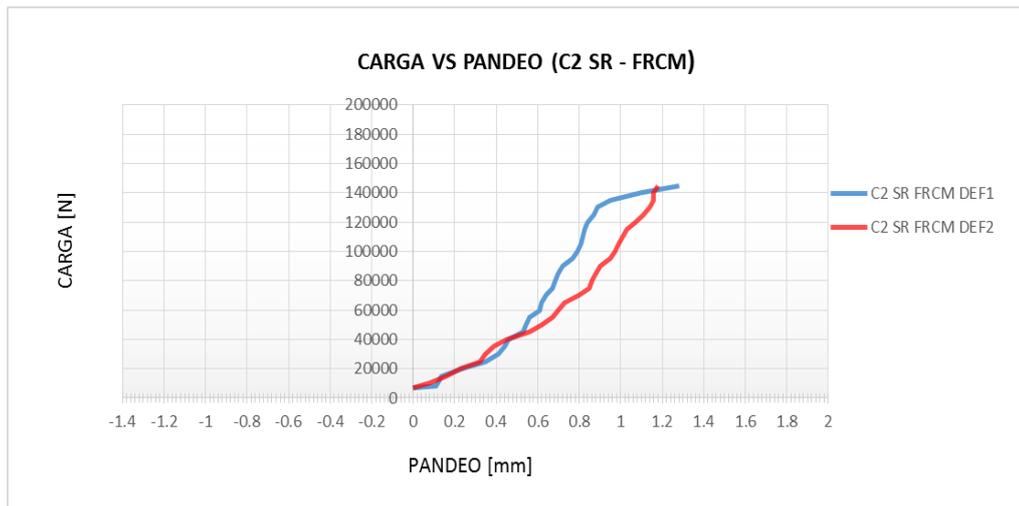


Figura 158 Carga vs Pandeo (C2 SR – FRCM).

3.17.3.- Columna sin Refuerzo FRCM N° 03.



Figura 159 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 SR – FRCM).

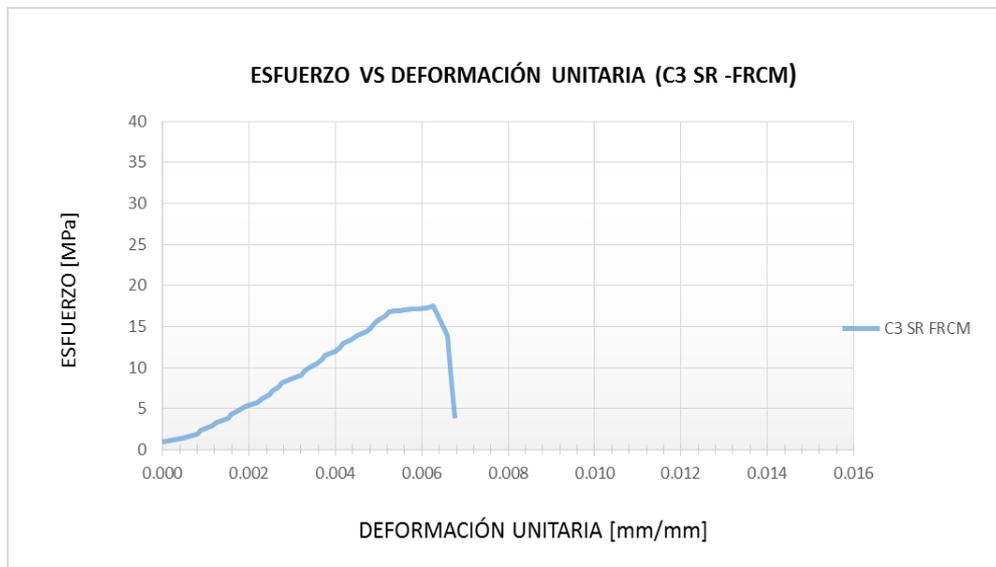


Figura 160 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 SR – FRCM).

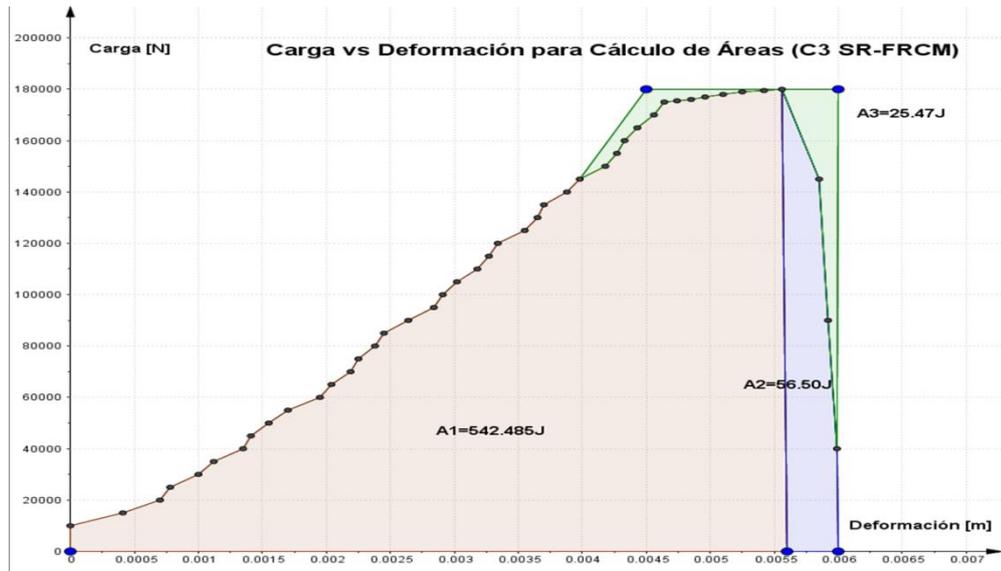


Figura 161 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C3 SR – FRCM).

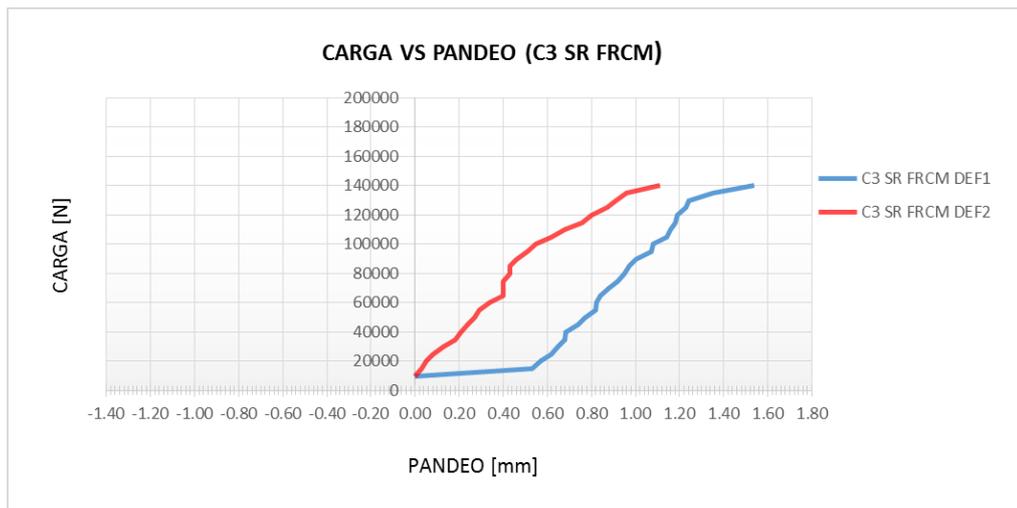


Figura 162 Carga vs Pandeo (C3 SR – FRCM).

3.17.4.- Columna sin Refuerzo FRCM N° 04.



Figura 163 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 SR – FRCM).



Figura 164 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 SR – FRCM).

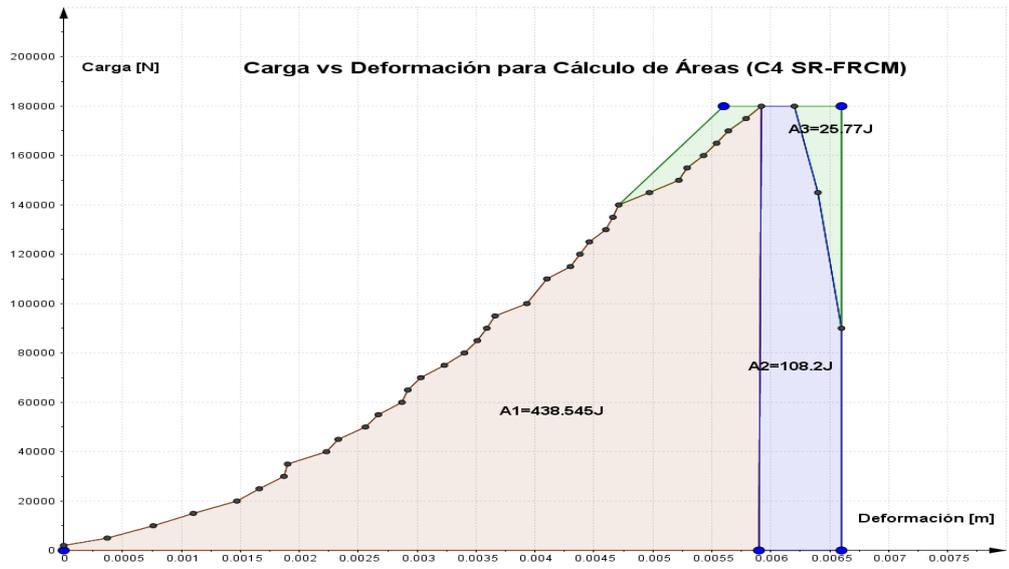


Figura 165 Carga vs Deformación para el cálculo de las Áreas (C4 SR – FRCM).



Figura 166 Carga vs Pandeo (C4 SR – FRCM).

3.18.- RESUMEN DE COLUMNA SIN REFUERZO FRCM.

3.18.1.- Carga vs Deformación Longitudinal en columnas sin refuerzo FRCM.

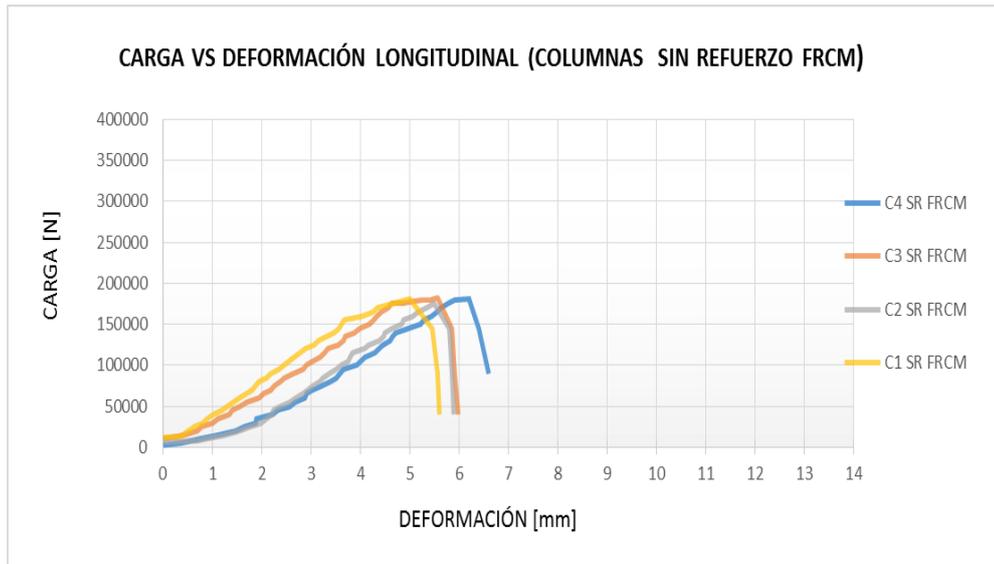


Figura 167 Carga vs Deformación Unitaria de las columnas sin refuerzo FRCM.

Análisis:

La columna 4 alcanza una carga de 181460 N y una deformación de 6.60 mm, la columna 1, 2, 3 tienen una carga similar de 180000 N y una deformación promedio de 5.5 mm.

Interpretación:

Las columnas concéntricas sin refuerzo FRCM alcanzaron una carga máxima promedio de 180147 N y una deformación a la compresión máxima promedio de 6.020 mm, resaltando que la columna 4 alcanza una deformación mayor a las tres restantes.

3.18.2.- Esfuerzo vs Deformación unitaria de las Columnas sin refuerzo FRCM.

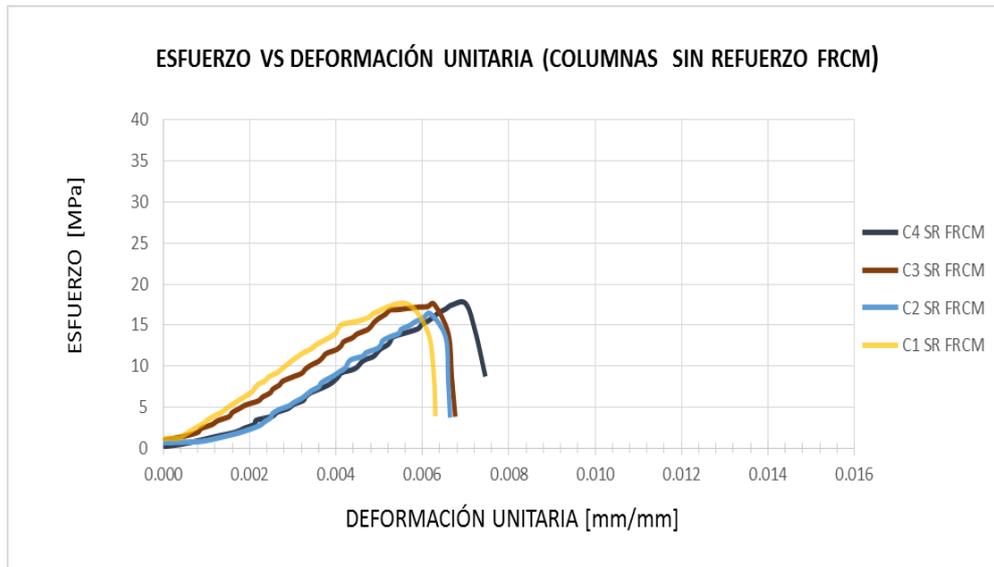


Figura 168 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (columnas sin refuerzo FRCM).

Análisis:

La columna 2 alcanza el esfuerzo máximo menor de 16.38 MPa con una deformación unitaria máxima de 0.206640 mm/mm. La columna 1, 3, 4 tienen un esfuerzo entre 17 y 17.60 MPa y una deformación máxima entre 0.206 y 0.207 mm/mm.

Interpretación:

Las columnas concéntricas sin refuerzo FRCM alcanzan un esfuerzo máximo promedio de 17.281 MPa y una deformación promedio de 0.6789 mm/mm.

3.18.3.- Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas sin refuerzo FRCM.

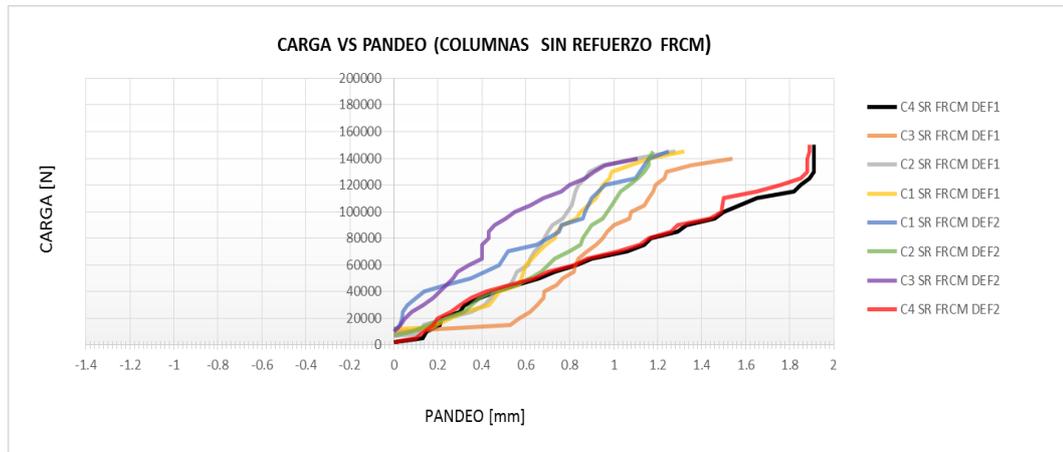


Figura 169 Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas sin refuerzo FRCM.

Análisis:

La columna 3 y 4 con el deformímetro 2 alcanza una deformación mayor a 1.8 mm, contrario de la 1 y 2 que alcanzan una deformación hasta 1.4 mm.

Interpretación:

Las columnas alcanzaron una carga de 180147 N y una deformación al pandeo promedio de 1.513 mm, la columna 4 alcanza la deformación de 1.91 mm en relación a las demás, esto demuestra que la columna actúa a compresión.

3.19.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS + FRCM CABUYA.

3.19.1.- Columna + FRCM Cabuya N° 01.

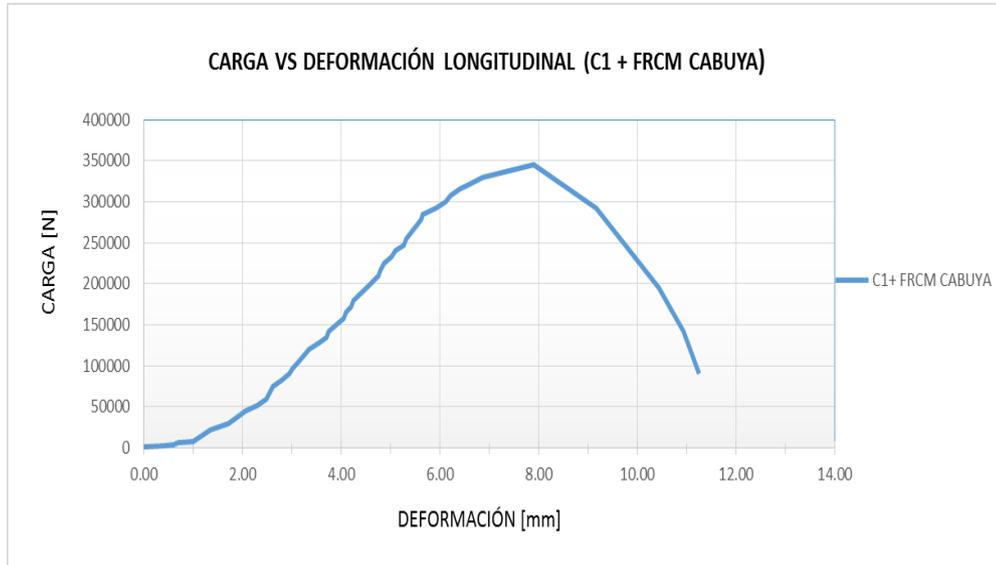


Figura 170 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 + FRCM Cabuya).

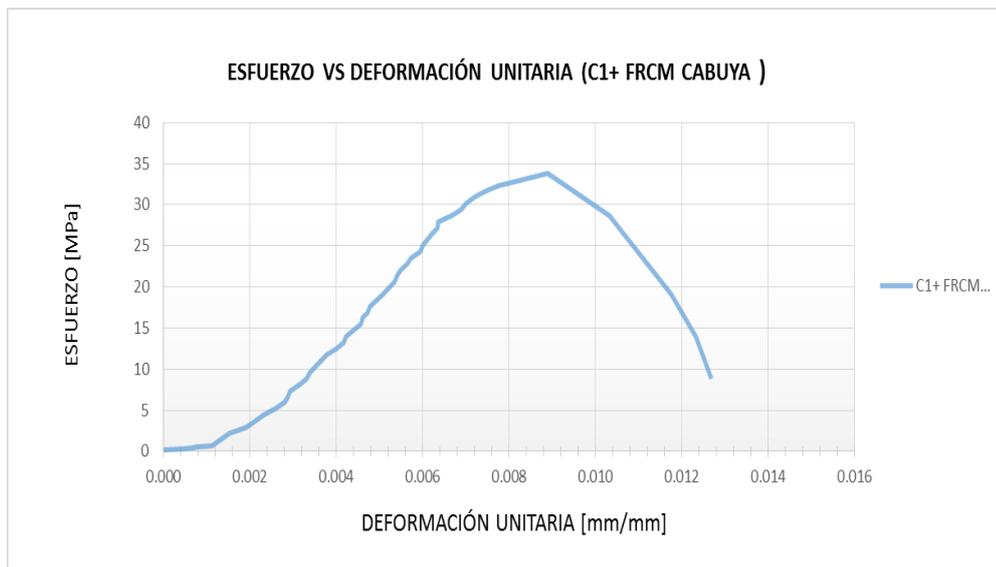


Figura 171 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 + FRCM Cabuya).

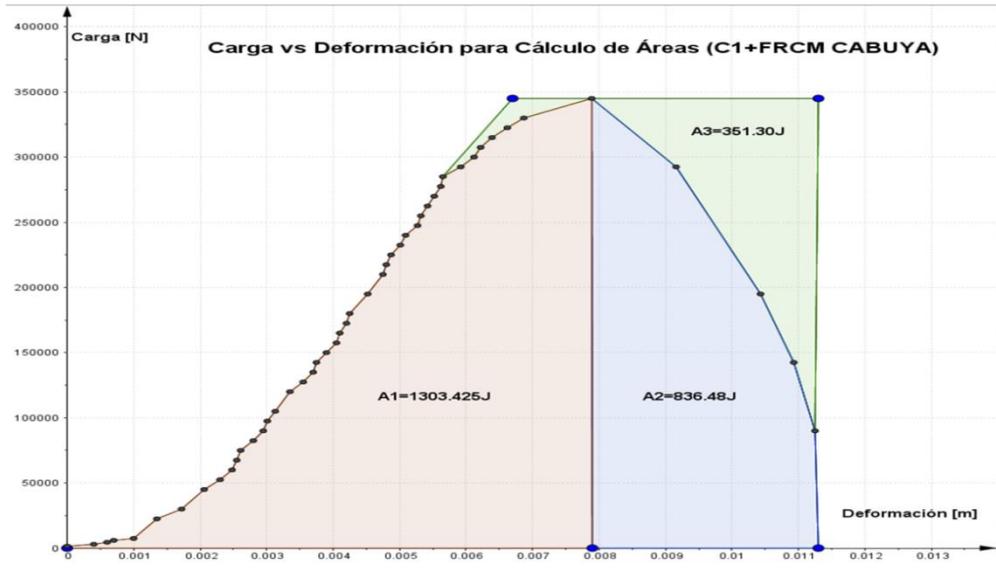


Figura 172 Carga vs Deformación para cálculo de áreas (C1 + FRCM Cabuya).

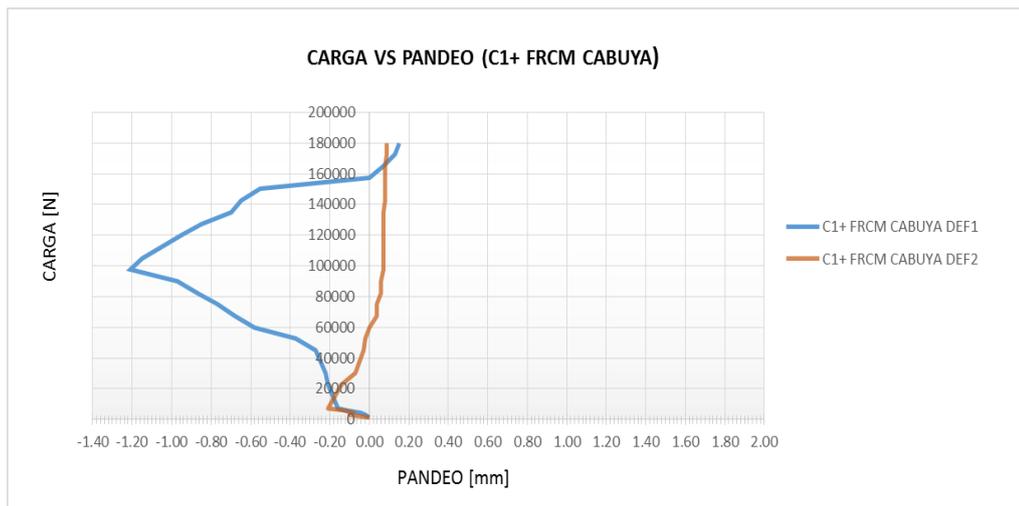


Figura 173 Carga vs Pandeo (C1 + FRCM Cabuya).

3.19.2.- Columna + FRCM Cabuya N° 02.

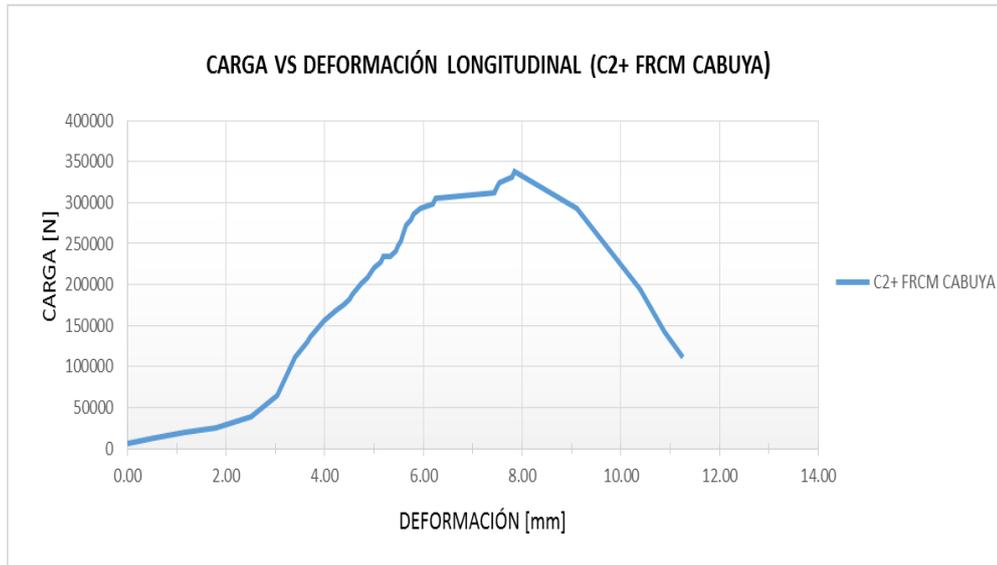


Figura 174 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 + FRCM Cabuya).

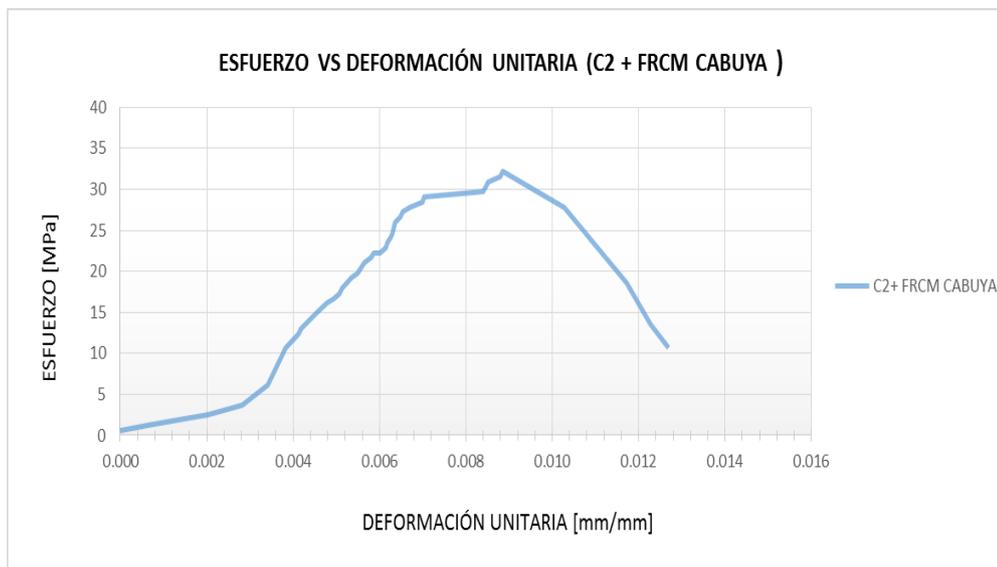


Figura 175 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 + FRCM Cabuya).

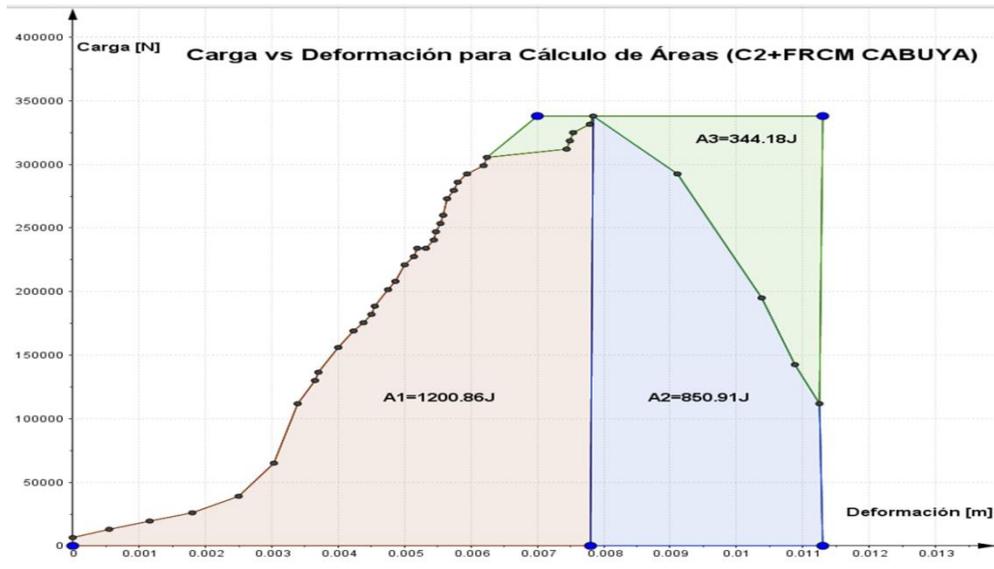


Figura 176 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C2 + FRCM Cabuya).

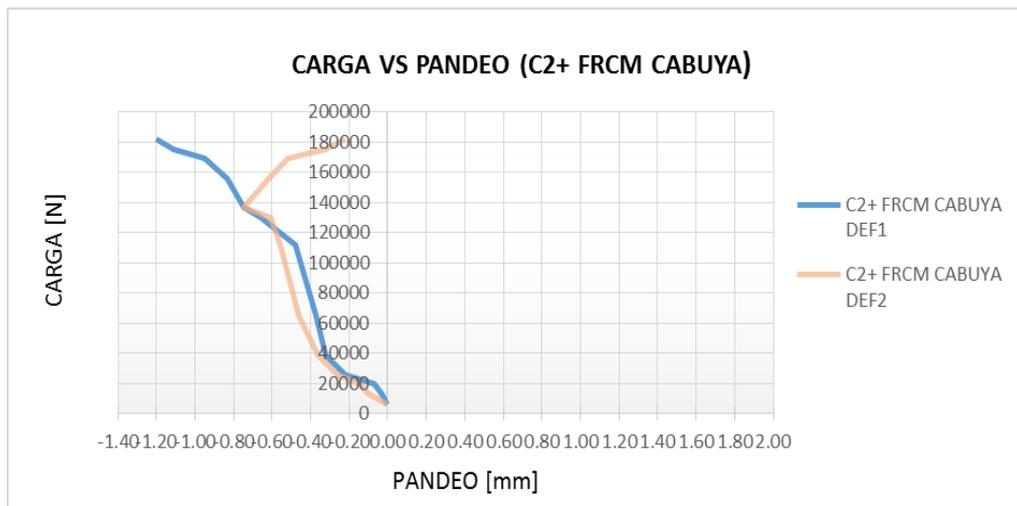


Figura 177 Carga vs Pandeo (C2 + FRCM Cabuya).

3.19.3.- Columna + FRCM Cabuya N° 03.

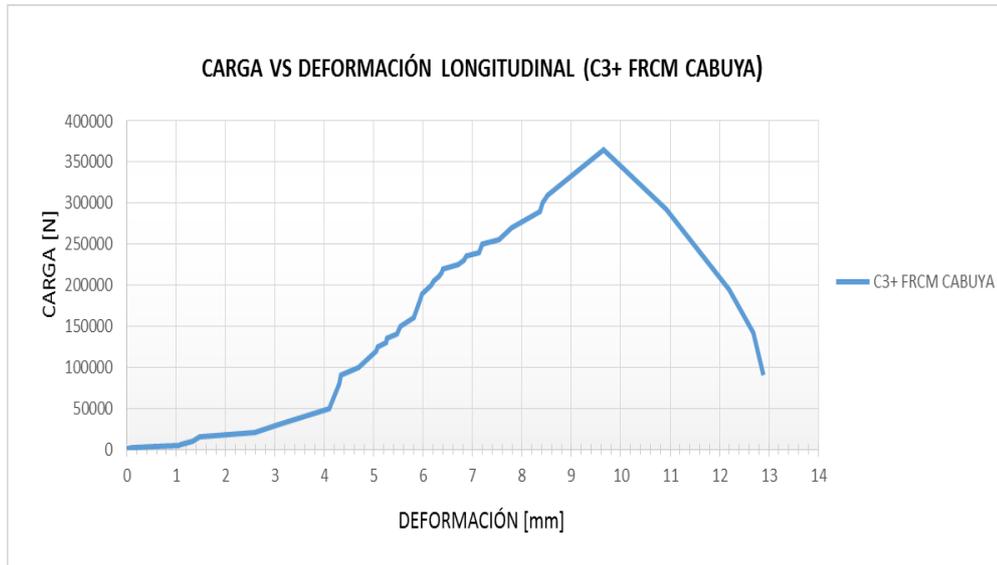


Figura 178 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 + FRCM Cabuya).

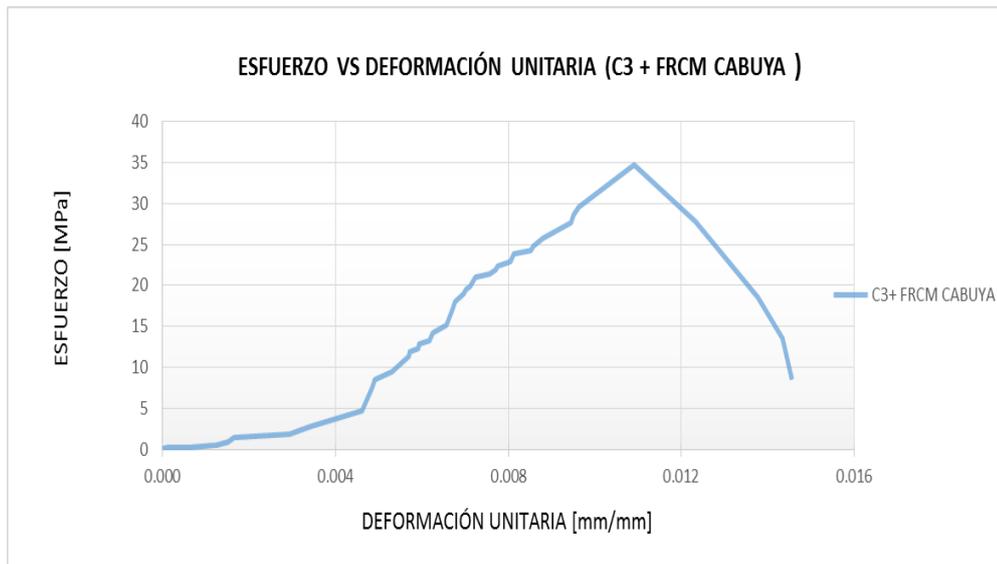


Figura 179 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 + FRCM Cabuya).

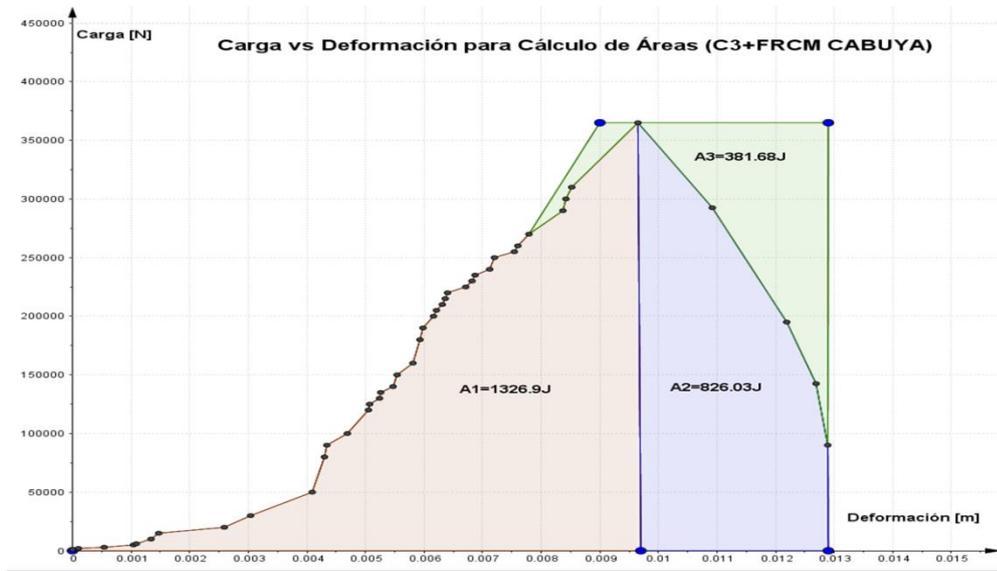


Figura 180 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C3 + FRCM Cabuya).

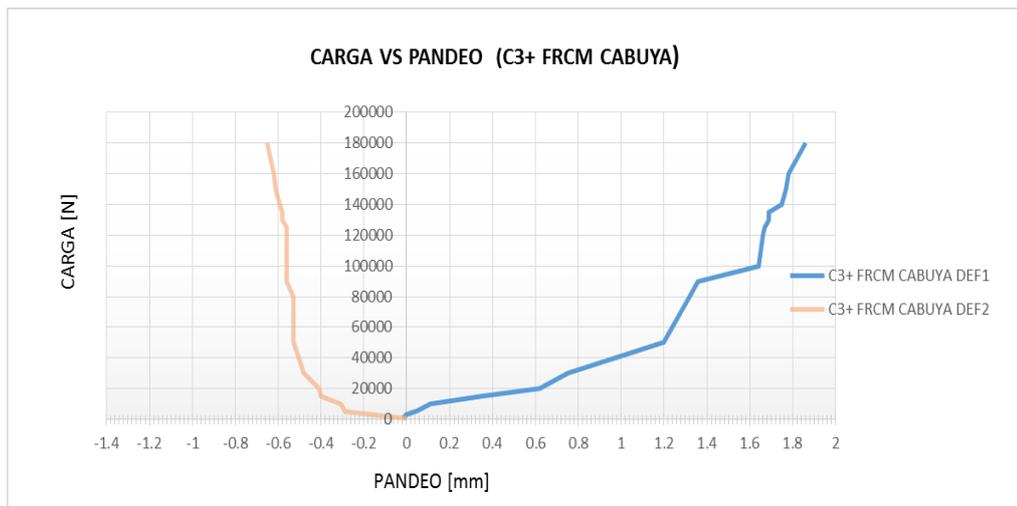


Figura 181 Carga vs Pandeo (C3 + FRCM Cabuya).

3.19.4.- Columna + FRCM Cabuya N° 04.

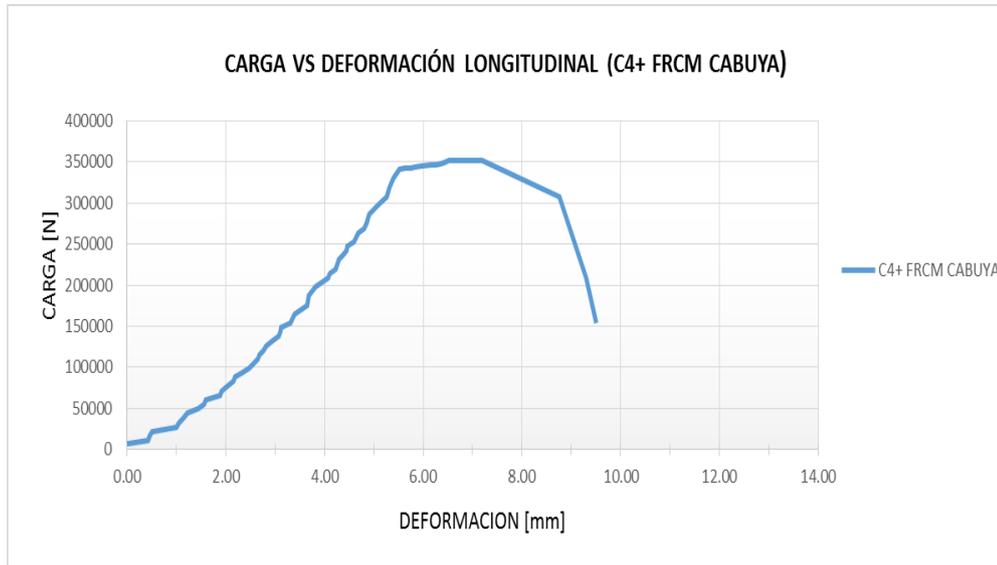


Figura 182 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 + FRCM Cabuya).

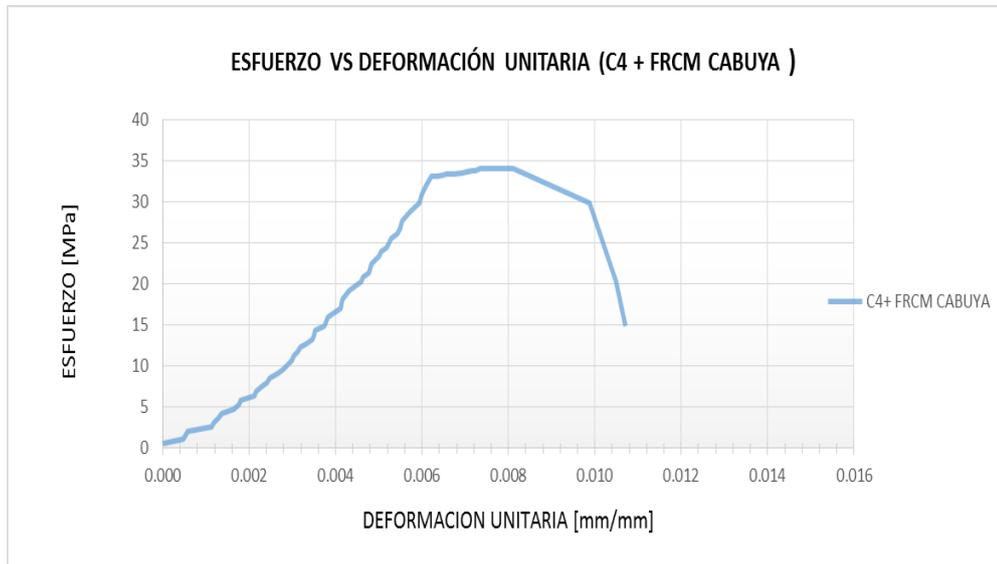


Figura 183 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 + FRCM Cabuya).

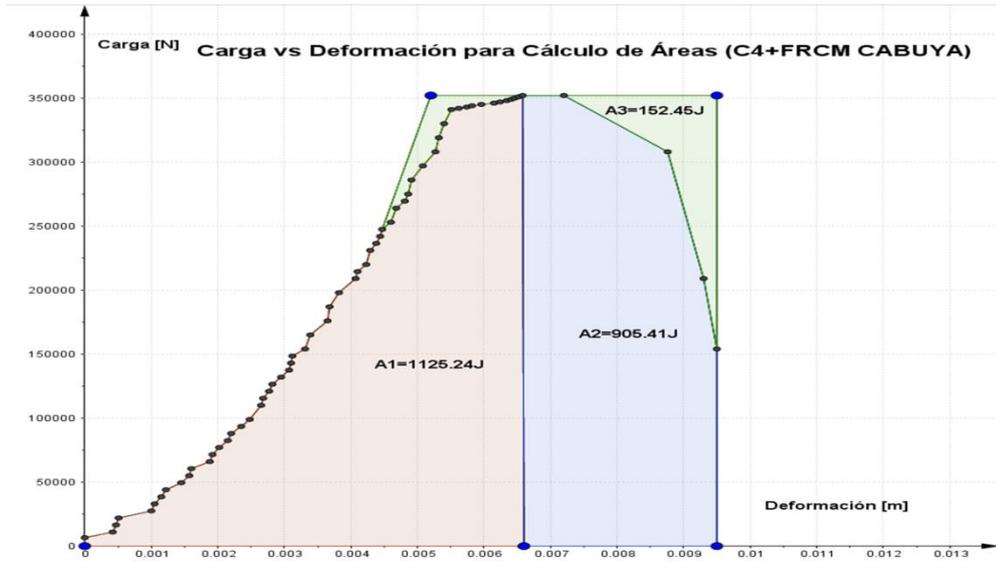


Figura 184 Carga vs Deformación para cálculos de áreas (C4 + FRCM Cabuya).

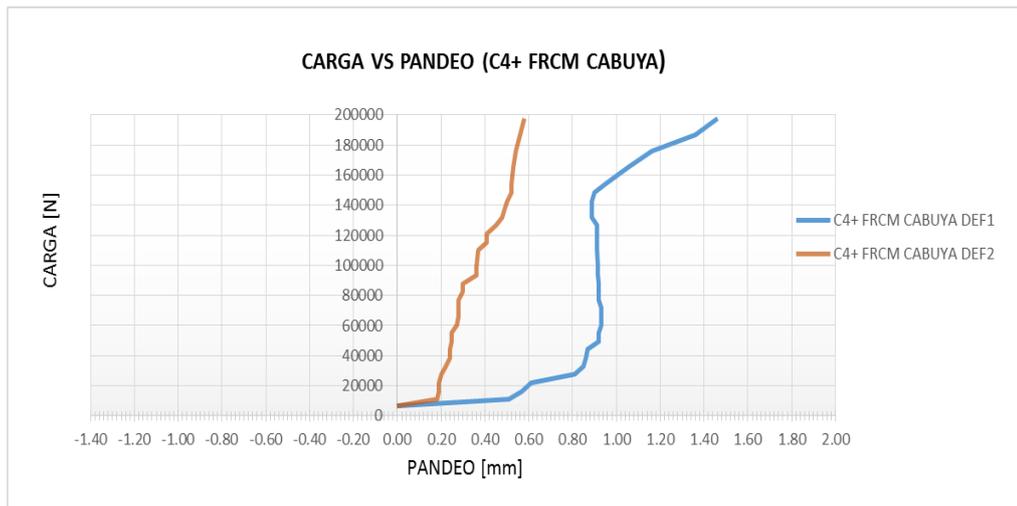


Figura 185 Carga vs Pandeo (C4 + FRCM Cabuya).

3.20.-RESUMEN DE COLUMNAS + FRCM CABUYA.

3.20.1.- Carga vs Deformación longitudinal en Columnas + FRCM Cabuya.

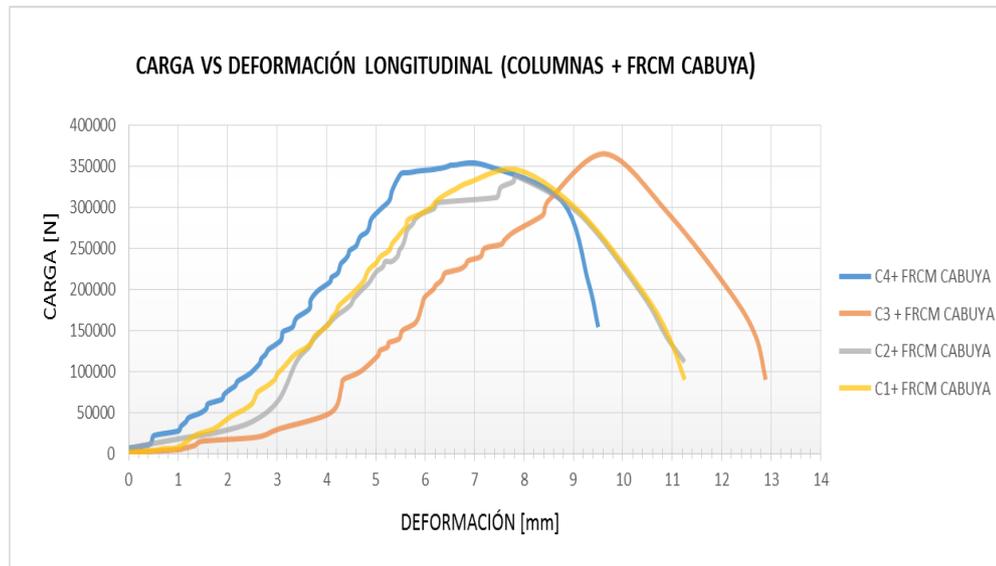


Figura 186 Carga vs deformación Longitudinal (Columnas + FRCM Cabuya).

Análisis:

La columna 3 alcanza una carga máxima de 365025 N y una deformación de 12.89 mm, la columna 4 alcanza una carga máxima de 351452 N con una deformación máxima de 9.5 mm, la columna 2 alcanza una carga de 338122 N y una deformación de 11.15 mm finalmente la columna 1 alcanza una carga de 351452 N y una deformación de 11.325 mm.

Interpretación:

Las columnas con refuerzo FRCM cabuya alcanzan una carga máxima de 349965.75 N y una deformación a la compresión máxima de 11.198 mm.

3.20.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las columnas + FRCM Cabuya.

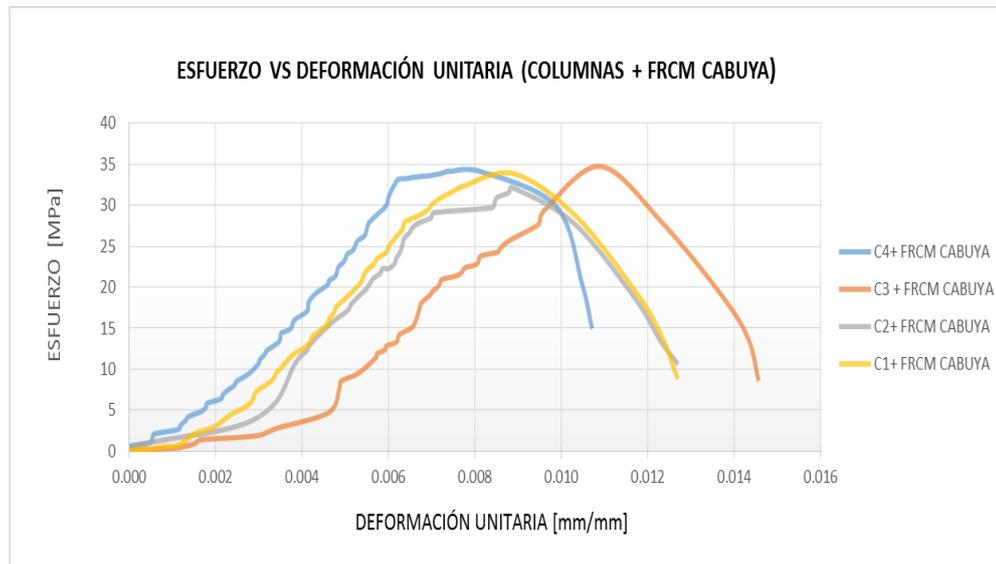


Figura 187 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Columnas + FRCM Cabuya).

Análisis:

La columna 4 alcanza un esfuerzo de 34.115 MPa y una deformación unitaria de 0.01 mm/mm, la columna 1, 3 alcanza un esfuerzo similar de 34 MPa y una deformación de 0.014 mm/mm y la columna 2 alcanza un esfuerzo de 32.184 MPa y una deformación unitaria máxima de 0.013 mm/mm.

Interpretación:

Las columnas reforzadas con sistema FRCM alcanzan un esfuerzo promedio de 33.723 MPa y una deformación unitaria máxima de 0.0126 mm/mm. Demostrando que actúa a compresión tanto el hormigón como es sistema FRCM, aumentando su resistencia en relación a las columnas sin refuerzo.

3.20.3.- Carga vs Deformación de pandeo en las columnas + FRCM Cabuya.

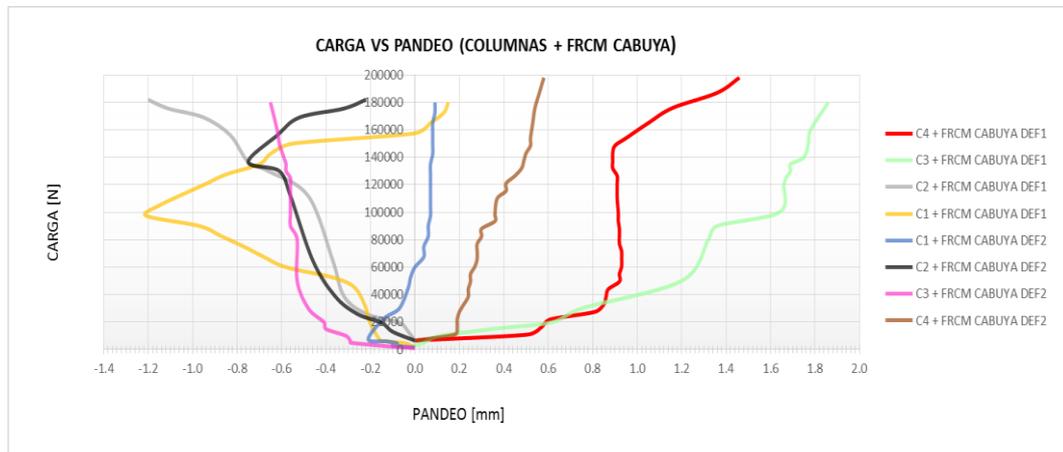


Figura 188 Carga vs Pandeo (Columnas + FRCM Cabuya).

Análisis:

Con el deformímetro uno la columna 3 y 4 alcanzan una deformación entre 1.4 y 2 mm y las mismas columnas con el deformímetro 2 alcanzan una deformación entre 0.2 y 0.4 mm.

Interpretación:

Las columnas reforzadas con sistema FRCM cabuya demuestran un comportamiento no uniforme a compresión debido a que el tejido la elasticidad del tejido que comparte la propiedad con el concreto hasta el llegar al punto de fallo.

3.21.- ENSAYO A COMPRESIÓN EN COLUMNAS + FRCM VIDRIO.

3.21.1.- Columna + FRCM Vidrio N° 01.

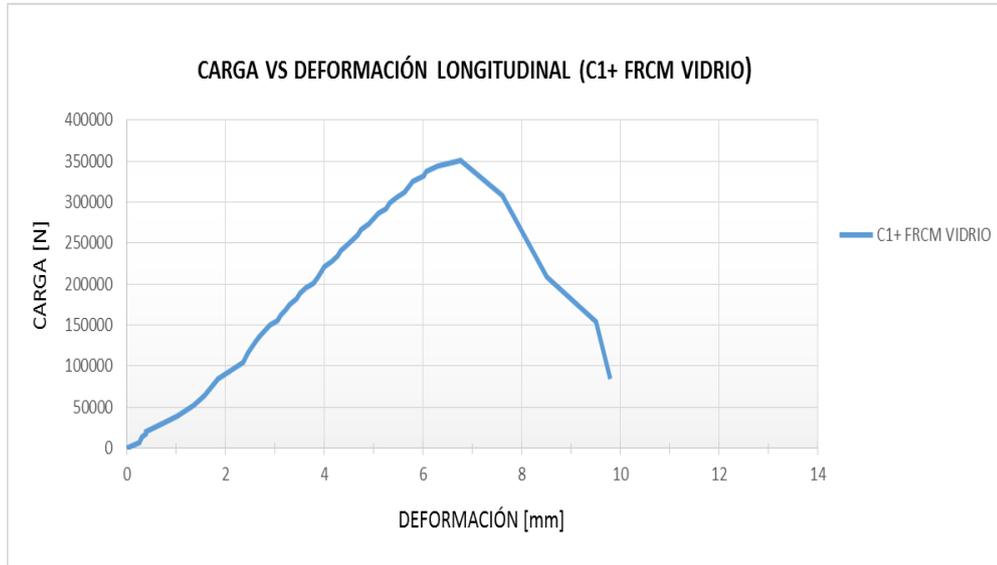


Figura 189 Carga vs Deformación Longitudinal (C1 + FRCM Vidrio).

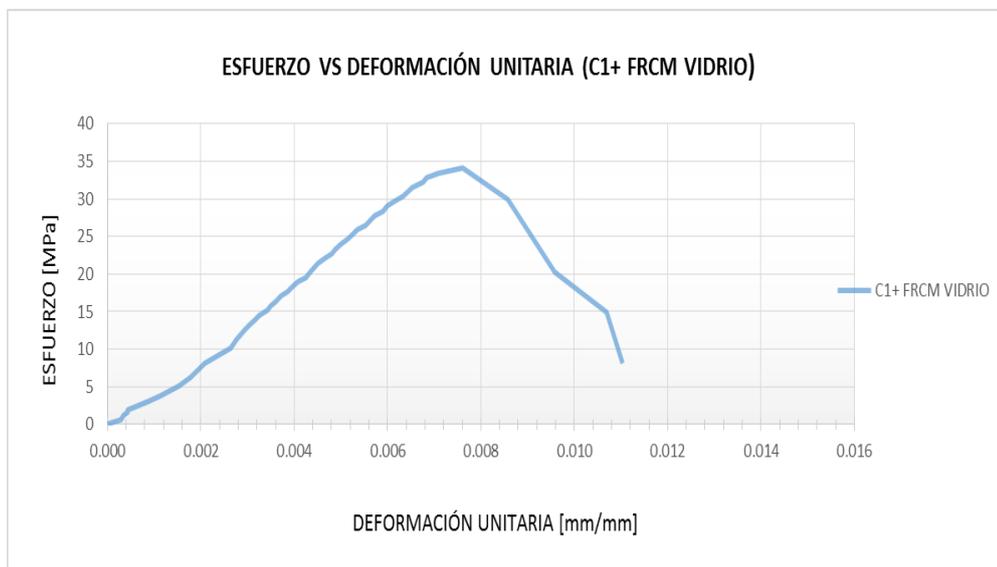


Figura 190 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C1 + FRCM Vidrio).

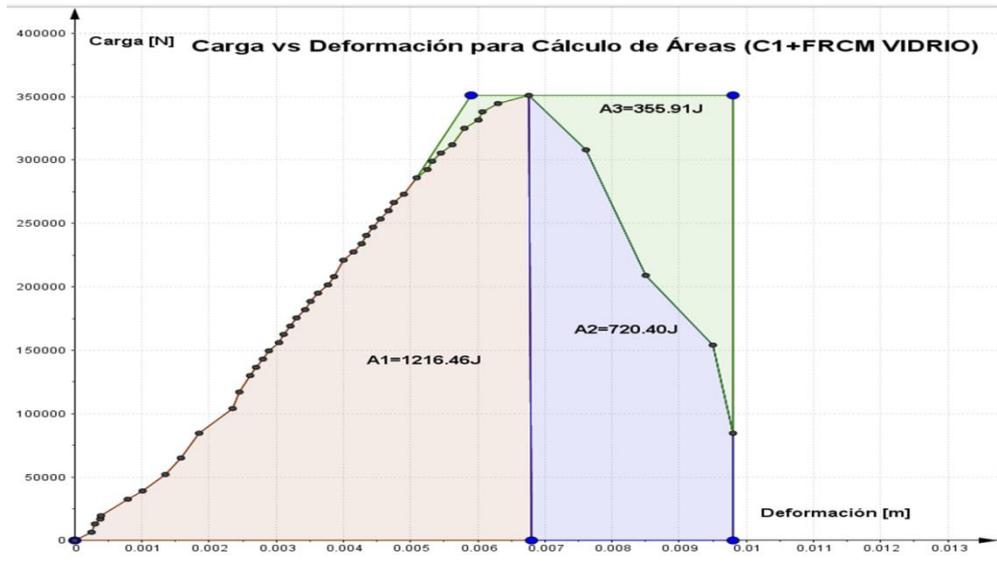


Figura 191 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C1 + FRCM Vidrio).

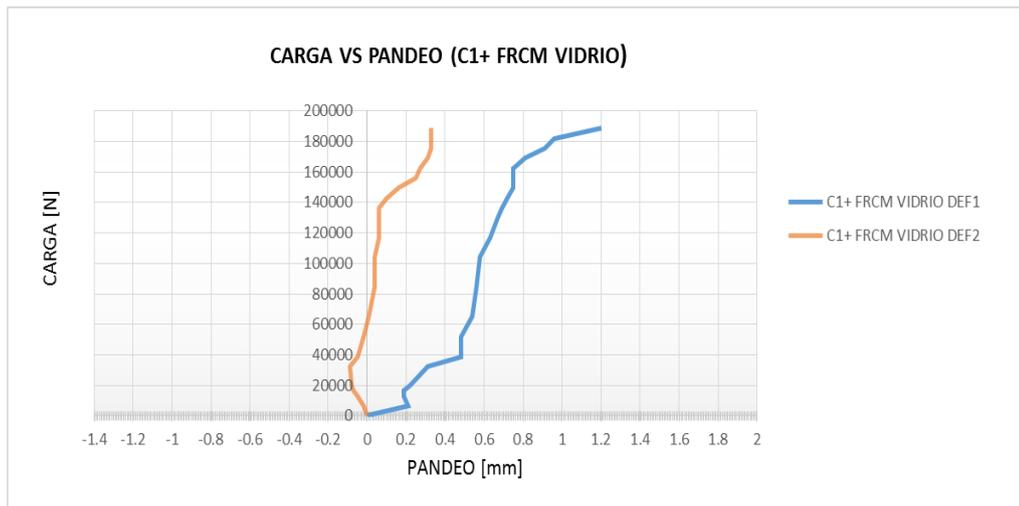


Figura 192 Carga vs Pandeo (C1 +FRCM Vidrio).

3.21.2.- Columna + FRCM Vidrio N° 02.

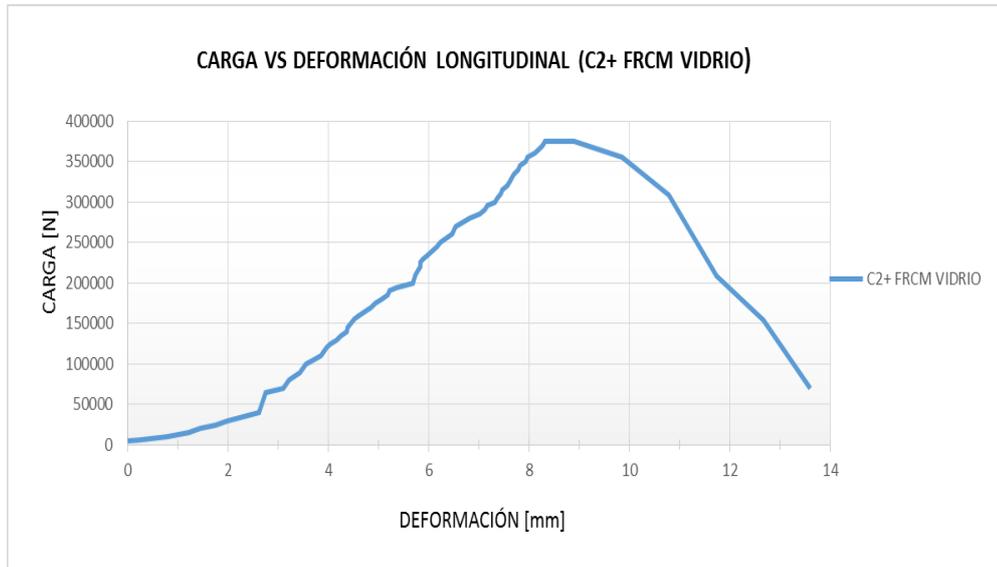


Figura 193 Carga vs Deformación Longitudinal (C2 + FRCM Vidrio).

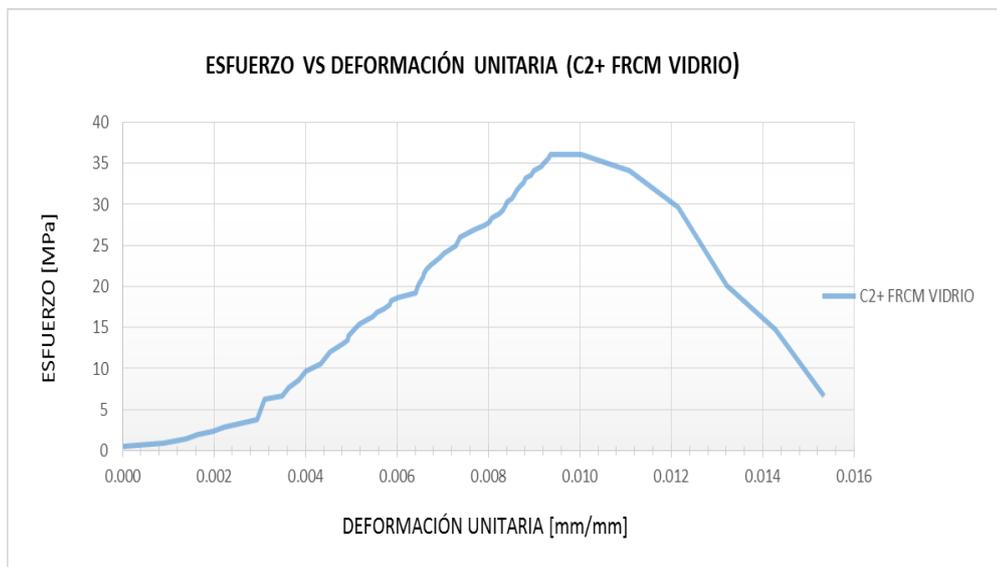


Figura 194 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C2 + FRCM Vidrio).

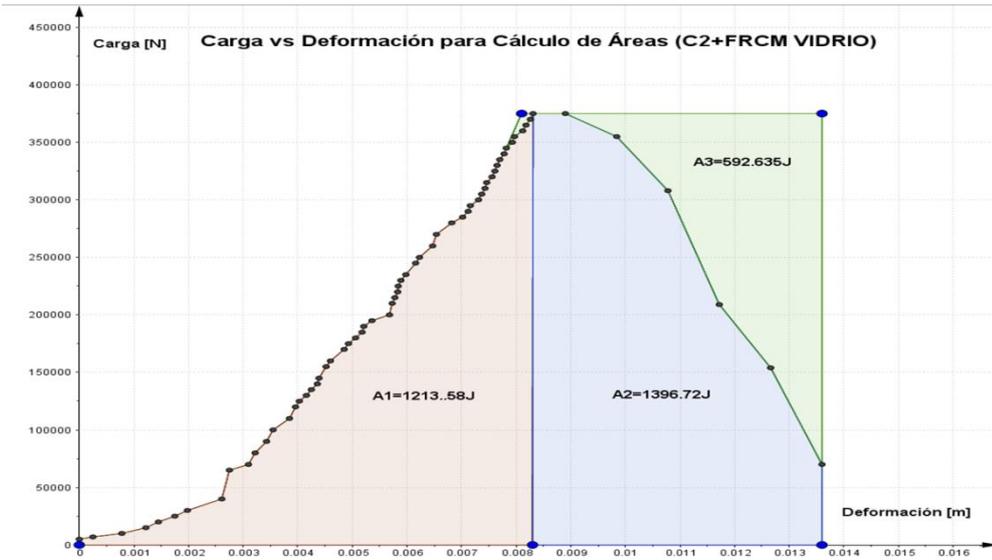


Figura 195 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C2 + FRCM Vidrio).

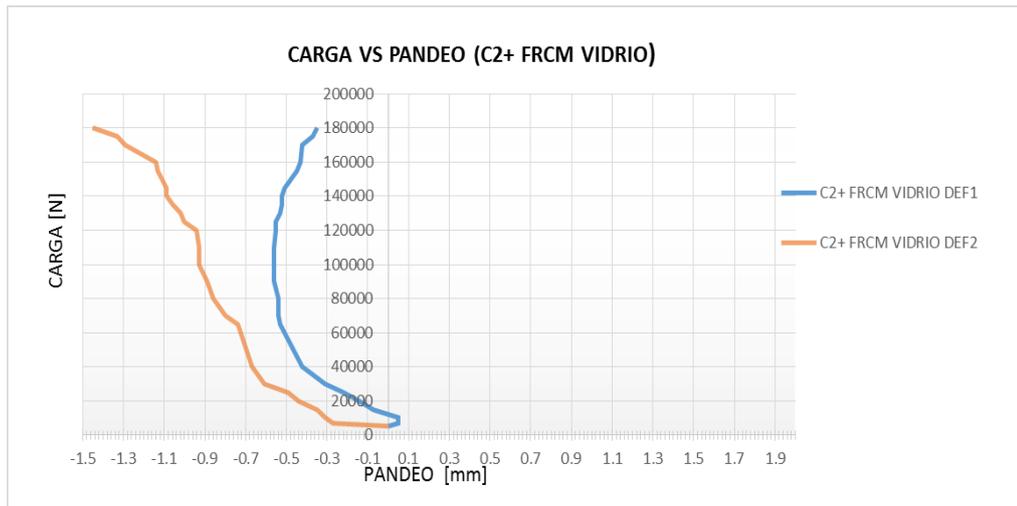


Figura 196 Carga vs Pandeo (C2 + FRCM Vidrio).

3.21.3.- Columna + FRCM Vidrio N° 03.

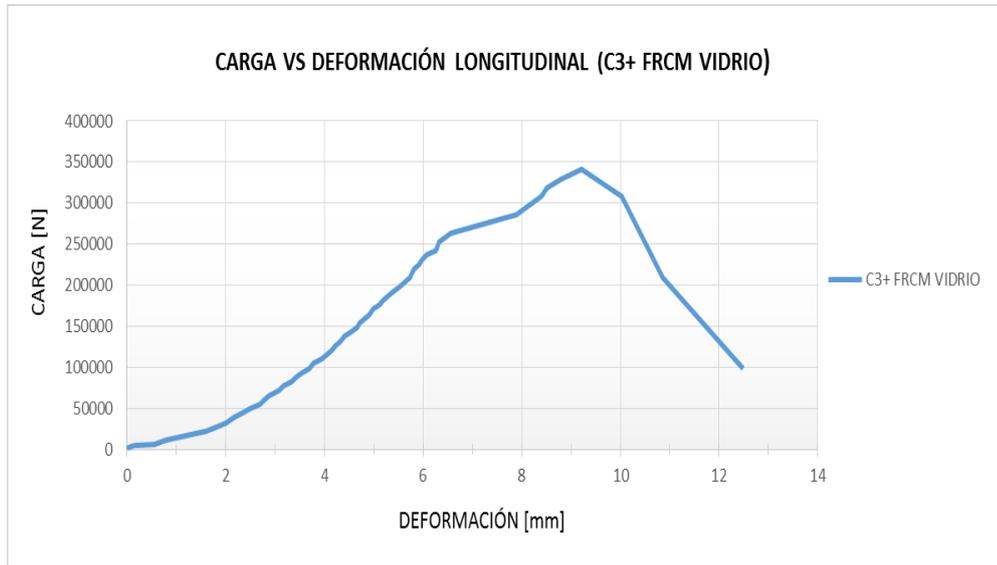


Figura 197 Carga vs Deformación Longitudinal (C3 + FRCM Vidrio).

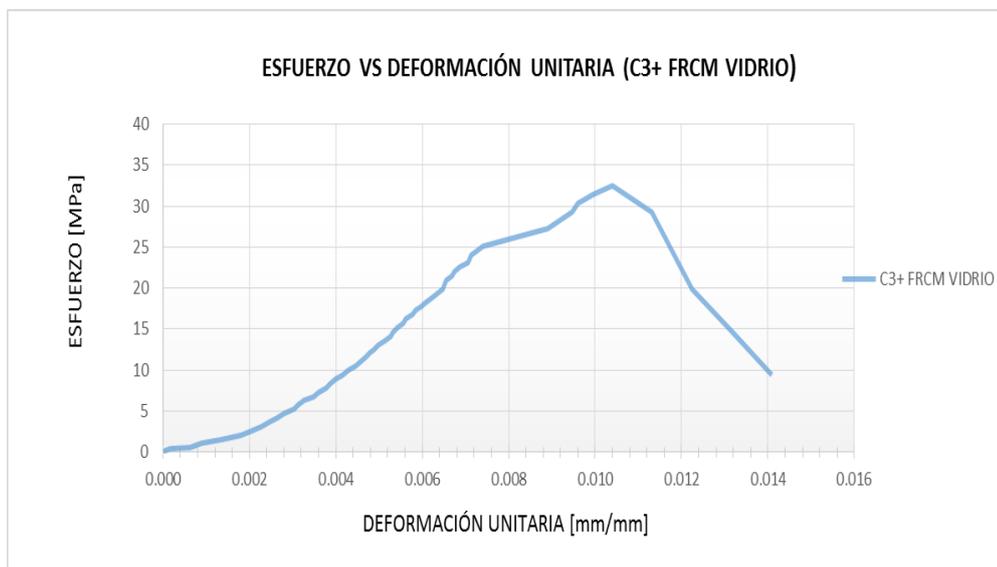


Figura 198 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C3 + FRCM Vidrio).

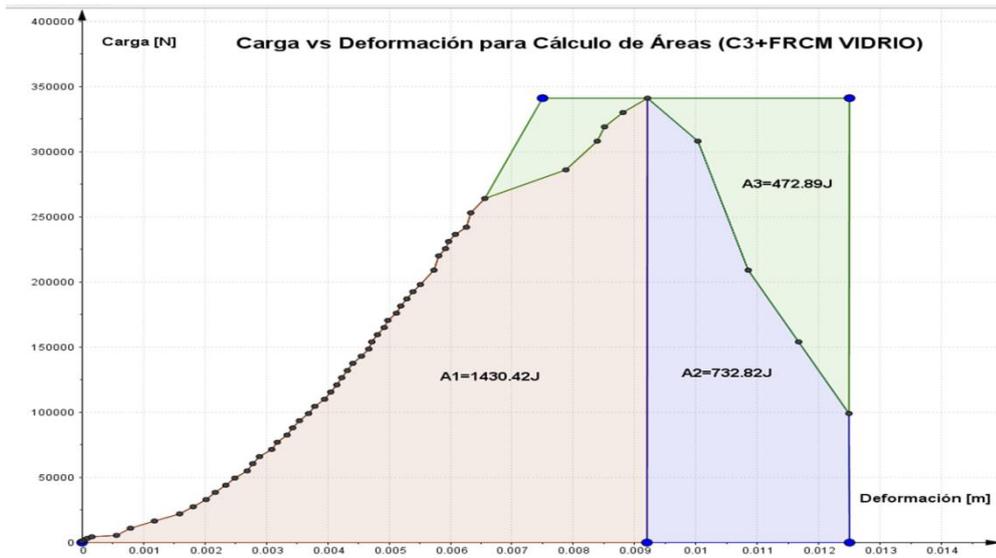


Figura 199 Carga vs Deformación para caculo de áreas (C3 + FRCM Vidrio).

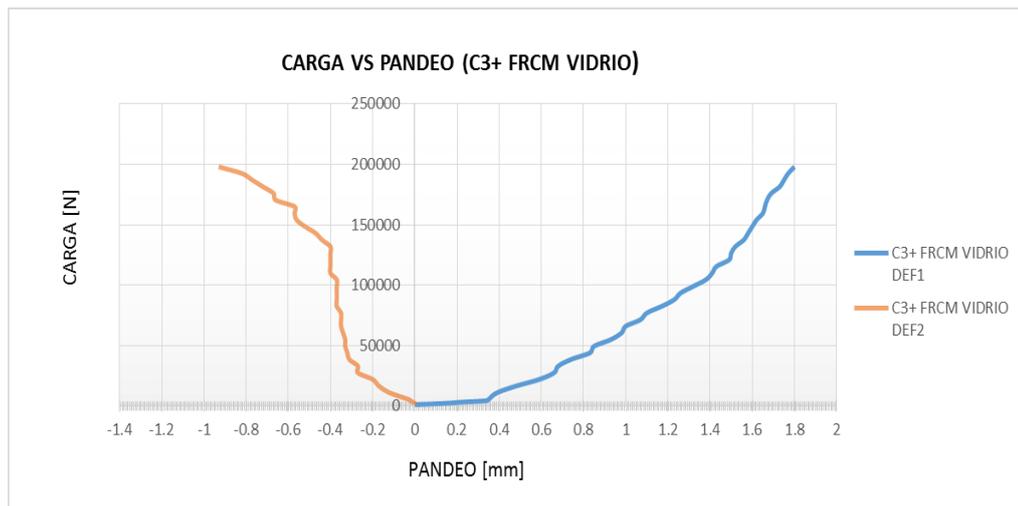


Figura 200 Carga vs Pandeo (C3 + FRCM Vidrio).

3.21.4.- Columna + FRCM Vidrio N°04.

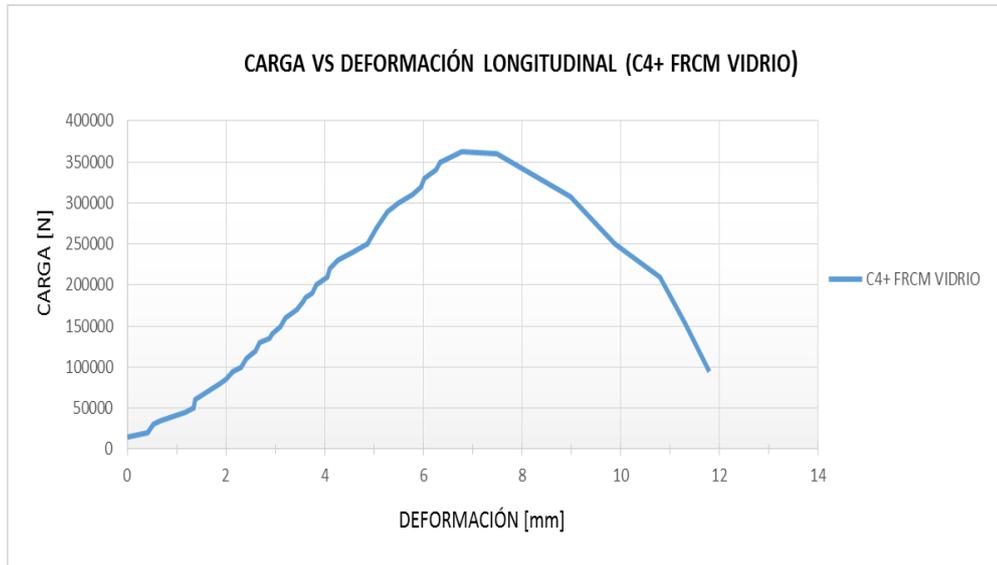


Figura 201 Carga vs Deformación Longitudinal (C4 + FRCM Vidrio).

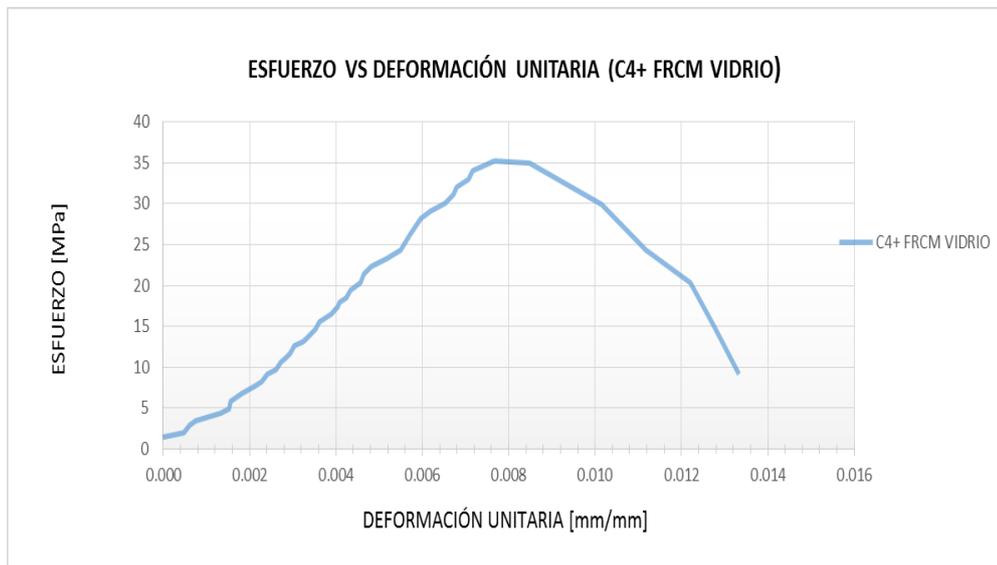


Figura 202 Esfuerzo vs Deformación Unitaria (C4 + FRCM Vidrio).

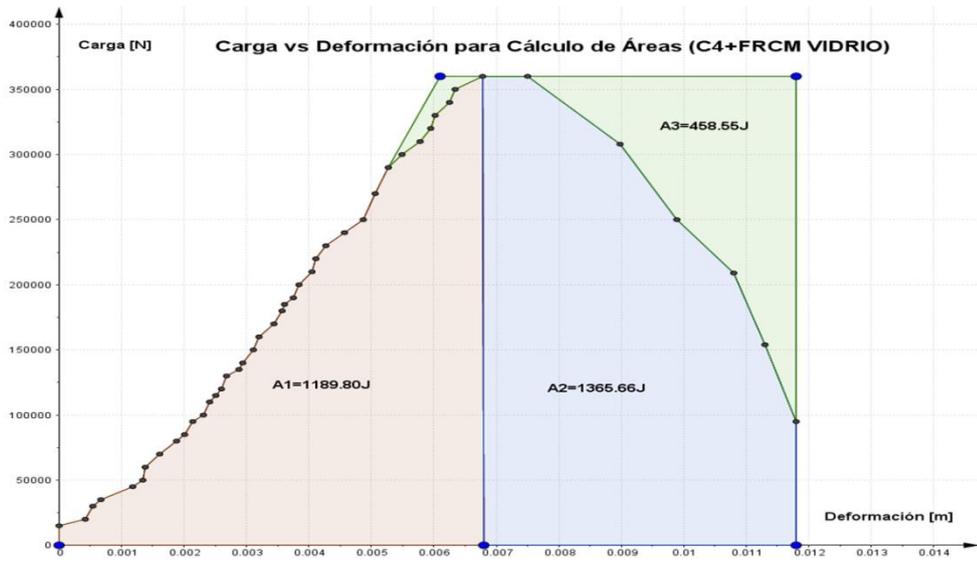


Figura 203 Carga vs Deformación para el cálculo de áreas (C4 + FRCC Vidrio).



Figura 204 Carga vs Pandeo (C4 +FRCC Vidrio).

3.22.- RESUMEN DE COLUMNAS + FRCM VIDRIO.

3.22.1.- Carga vs Deformación longitudinal en columnas + FRCM vidrio.

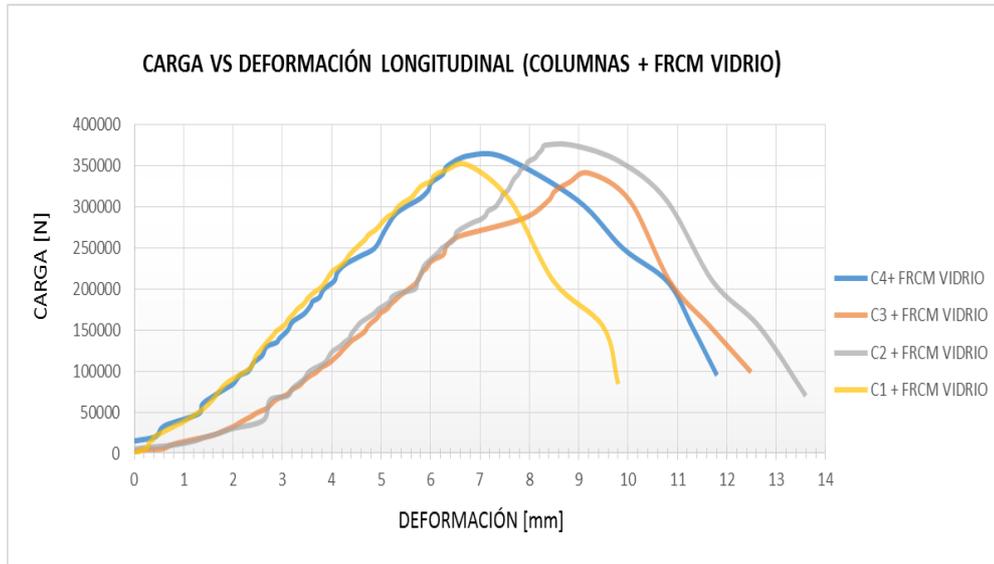


Figura 205 Carga vs Deformación Longitudinal (Columnas + FRCM Vidrio).

Análisis:

La columna 2 alcanza una carga de 375158 N y una deformación de 13.60 mm, la columna 1 y 3 alcanzan una deformación entre 340000 y 350000 y una deformación entre 9 y 12 mm y la columna 4 alcanza una carga de 360000 con una deformación de 11.8 mm, todas con refuerzo FRCM vidrio.

Interpretación:

Las columnas con refuerzo FRCM adquieren una carga promedio de 357484.50 N y una deformación a la compresión promedio de 11.923 mm similar al sistema FRCM cabuya.

3.22.2.- Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las columnas + FRCM Vidrio.

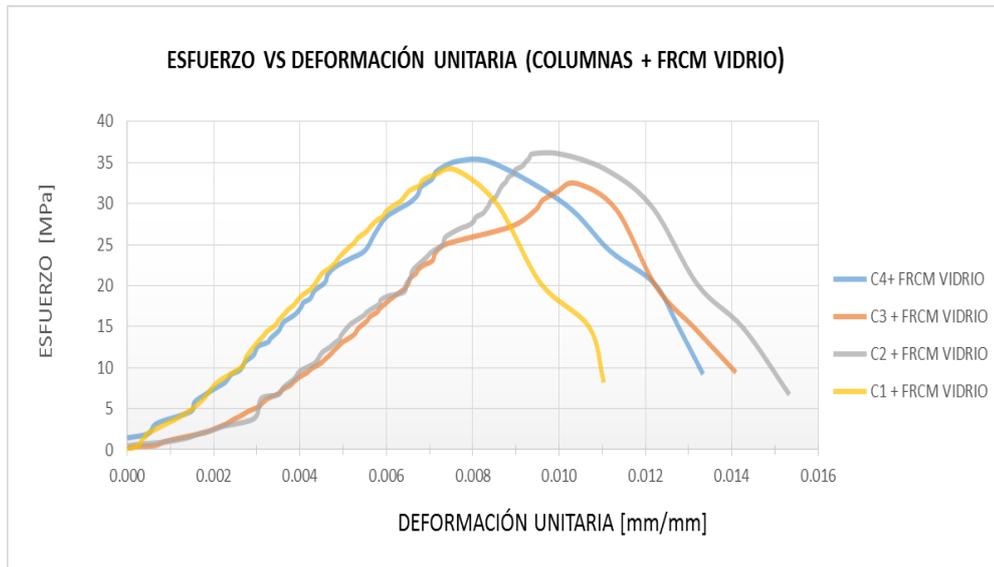


Figura 206 Esfuerzo vs Deformación (Columnas + FRCM Vidrio).

Análisis:

La columna 3 tiene un esfuerzo máximo de 32.47 MPa y una deformación unitaria de 0.014 mm/mm en la columna 1 y 4 su esfuerzo es semejante a 34 y 35 MPa y una deformación entre 0.11 y 0.013 mm/mm así la columna 2 tiene un esfuerzo máximo de 36.06 MPa y una deformación unitaria de 0.015 mm/mm.

Interpretación:

El esfuerzo máximo promedio en las columnas con sistema FRCM vidrio es de 34.456 MPa y una deformación unitaria máxima de 0.01345 mm/mm.

3.22.3.- Carga vs Deformación de Pandeo en las columnas + FRCM Vidrio.

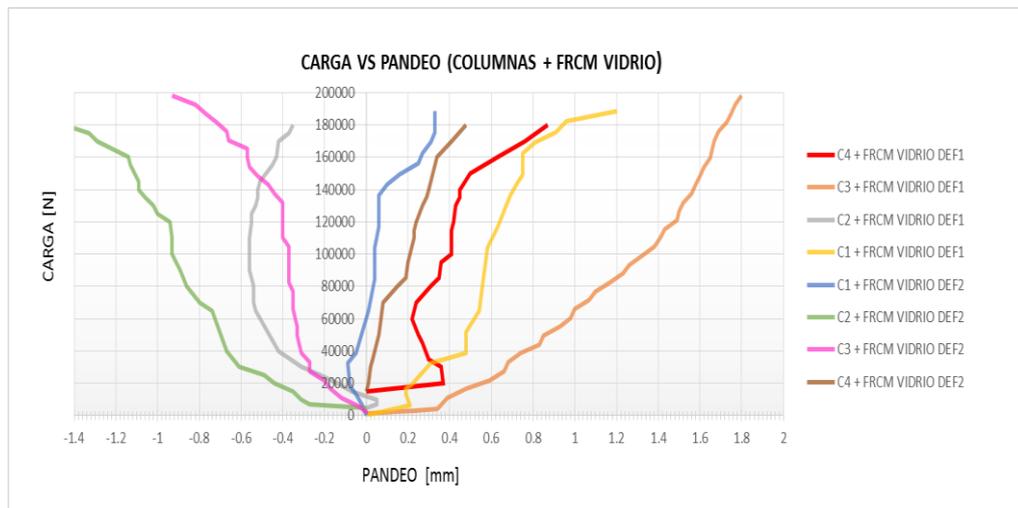


Figura 207 Carga vs Pandeo (Columnas + FRCM Vidrio).

Análisis:

La carga 1.8 N corresponde a la columna 3 con sistema FRCM vidrio y deformímetro 1, la columna 1 y 2 tienen una deformación a pandeo entre 1.20 y 1.50 mm y la 4 llega a una deformación de 0.87 mm.

Interpretación:

Los refuerzos FRCM de vidrio en las columnas demuestran que la fibra no actúa de forma uniforme con valores diferenciales relevantes entre máximo y mínimo, obteniendo un valor promedio menor al sistema FRCM cabuya.

3.23.- RESUMEN DE RESULTADOS DE COLUMNAS SOMETIDAS A UNA CARGA CONCÉNTRICA.

Tabla 28 Ensayo de columnas con carga Concéntrica.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 						
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
ENSAYO DE COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA						
TIPO	ESPECÍMEN	CARGA MÁXIMA [N]	DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN MÁXIMA [mm]	DEFORMACIÓN A PANDEO MÁXIMA [mm]	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]
SIN REFUERZO FRCM	C1 SR	181401.00	5.600	1.320	17.608	0.006299
	C2 SR	175412.00	5.890	1.280	16.375	0.006640
	C3 SR	182315.00	5.990	1.540	17.525	0.006761
	C4 SR	181460.00	6.600	1.910	17.614	0.007458
MEDIA		180147.000	6.020	1.513	17.281	0.006789
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		3184.176	0.421	0.289	0.605	0.000486
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		1.768	6.986	19.081	3.501	7.164485
FRCM CABUYA	C1+ FRCM CABUYA	345264.000	11.250	1.210	33.849	0.012690
	C2+ FRCM CABUYA	338122.000	11.150	1.200	32.184	0.012585
	C3+ FRCM CABUYA	365025.000	12.890	1.860	34.744	0.014565
	C4+FRCM CABUYA	351452.000	9.500	1.460	34.115	0.010710
MEDIA		349965.750	11.198	1.433	33.723	0.012638
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		11421.775	1.385	0.309	1.093	0.001574
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		3.264	12.365	21.594	3.240	12.457084
FRCM VIDRIO	C1+ FRCM VIDRIO	351026.000	9.800	1.200	34.093	0.011036
	C2+ FRCM VIDRIO	375158.000	13.600	1.450	36.062	0.015333
	C3+ FRCM VIDRIO	341206.000	12.490	1.800	32.477	0.014097
	C4+FRCM VIDRIO	362548.000	11.800	0.870	35.192	0.013333
MEDIA		357484.500	11.923	1.330	34.456	0.013450
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		14659.393	1.598	0.393	1.546	0.001808
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %		4.101	13.399	29.563	4.487	13.440602

3.24.- RESUMEN DE GRÁFICAS DE ENSAYOS DE COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA.

3.24.1.- Resumen de Carga vs Deformación Longitudinal en columnas concéntricas.

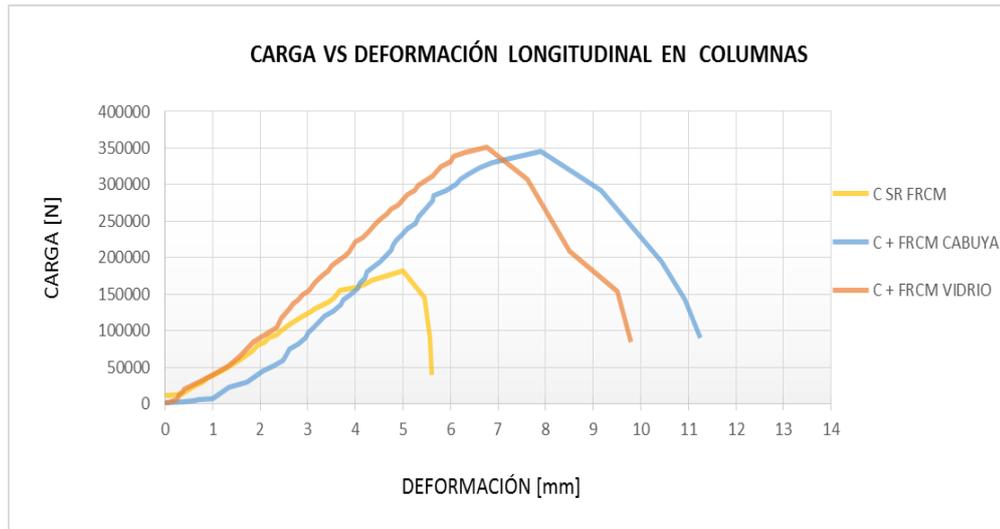


Figura 208 Carga vs Deformación longitudinal en columnas.

Análisis:

Las columnas SR FRCM tiene un valor promedio de 180147 N con una deformación a la compresión máxima de 6.02 mm, las columnas con sistema FRCM cabuya obtiene un valor promedio de carga de 349965.75 N con su deformación correspondiente a 11.198 mm finalmente las columnas con sistema FRCM vidrio tiene valores promedio en carga de 357884.50 N y en deformación de 11.923 mm.

Interpretación:

Las columnas sin refuerzo alguno tiende a soportar una menor carga así mismo su deformación es menor por el hecho de no contar con refuerzo, el refuerzo FRCM de cabuya en las columnas permite soportar una carga mayor y tiene una tendencia a deformarse más que todos los sistemas por la capacidad elástica de la fibra natural de cabuya, con esto el sistema de refuerzo FRCM de vidrio en columnas permite una carga similar al sistema de cabuya, pero a diferencia de este se deforma menos.

3.24.2.- Resumen de Esfuerzo vs Deformación longitudinal en columnas concéntricas.

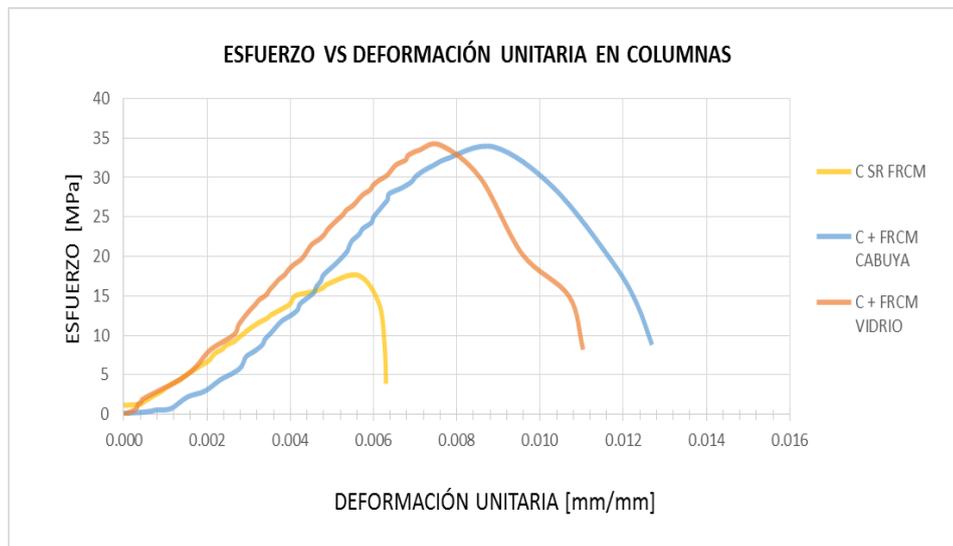


Figura 209 Esfuerzo vs Deformación Unitaria en columnas.

Análisis:

El sistema FRCM de vidrio en columnas con carga concreta permitió alcanzar valor de esfuerzo máximo de 34.456 MPa y una deformación unitaria de 0.0135 mm/mm, las columnas con sistema FRCM de cabuya tiene un esfuerzo 33.723 MPa y una deformación unitaria de 0.013 mm/mm, llegando así a las columnas sin refuerzo con valores de esfuerzo de 17.281 MPa y de deformación de 0.02068 mm/mm.

Interpretación:

Las columnas mediante análisis teórico pueden incrementar su esfuerzo entre el 30 y 40 % mientras que mediante el reforzamiento experimental obtenemos un incremento en porcentaje de más del 95% de aquellas que no poseen refuerzo alguno.

3.25.- DUCTILIDAD Y ENERGIA EN COLUMNAS SOMETIDAS A UNA CARGA.

Tabla 29 Índices de Ductilidad y Energía en Columnas.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 													
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO													
ÍNDICES DE DUCTILIDAD Y ENERGÍA EN COLUMNAS													
TIPO	ESPECIMEN	Δy [m]	Δu [m]	Área Total [N*m]	Área peak [N*m]	Área post [N*m]	Aep* [N*m]	Aep [N*m]	Ductilidad de Deformación	Ductilidad de Energía [J/J]	Capacidad de Absorción de Energía [J]	Índice de Tenacidad a Compresión [J/J]	Reserva de Energía [J/J]
SIN REFUERZO FRM	C1 SR	0.0050	0.0056	586.250	497.800	88.450	20.700	606.950	1.120	0.966	586.250	1.178	0.1777
	C2 SR	0.0055	0.0059	454.470	397.070	57.400	15.530	470.000	1.073	0.967	454.470	1.145	0.1446
	C3 SR	0.0056	0.0060	598.985	542.485	56.500	25.470	624.455	1.071	0.959	598.985	1.104	0.1042
	C4 SR	0.0059	0.0066	546.745	438.545	108.200	25.770	572.515	1.119	0.955	546.745	1.247	0.2467
MEDIA									1.096	0.962	546.613	1.168	0.168
DESVIACIÓN ESTÁNDAR									0.027	0.006	65.331	0.060	0.060
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %									2.490	0.590	11.952	5.164	35.848
FRM CABUYA	C1+ FRM CABUYA	0.0079	0.0113	2139.905	1303.425	836.480	351.300	2491.205	1.430	0.859	2139.905	1.642	0.6418
	C2+ FRM CABUYA	0.0078	0.0113	2051.770	1200.860	850.910	344.180	2395.950	1.449	0.856	2051.770	1.709	0.7086
	C3+ FRM CABUYA	0.0097	0.0129	2152.930	1326.900	826.030	381.680	2534.610	1.330	0.849	2152.930	1.623	0.6225
	C4+FRM CABUYA	0.0066	0.0095	2030.650	1125.240	905.410	152.450	2183.100	1.439	0.930	2030.650	1.805	0.8046
MEDIA									1.412	0.874	2093.814	1.694	0.694
DESVIACIÓN ESTÁNDAR									0.055	0.038	61.580	0.082	0.082
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %									3.917	4.331	2.941	4.854	11.844
FRM VIDRIO	C1+ FRM VIDRIO	0.0068	0.0098	1936.860	1216.460	720.400	355.910	2292.770	1.441	0.845	1936.860	1.592	0.5922
	C2+ FRM VIDRIO	0.0083	0.0136	2610.300	1213.580	1396.720	592.630	3202.930	1.639	0.815	2610.300	2.151	1.1509
	C3+ FRM VIDRIO	0.0092	0.0125	2162.820	1430.000	732.820	472.890	2635.710	1.359	0.821	2162.820	1.512	0.5125
	C4+FRM VIDRIO	0.0068	0.0118	2555.460	1189.800	1365.660	458.550	3014.010	1.735	0.848	2555.460	2.148	1.1478
MEDIA									1.543	0.832	2316.360	1.851	0.851
DESVIACIÓN ESTÁNDAR									0.174	0.017	322.058	0.346	0.346
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %									11.250	2.005	13.904	18.706	40.692

3.26.- NORMALIZACIÓN DE DATOS EN BASE A LAS COLUMNAS SIN ESFUERZO DE LOS ÍNDICES DE DUCTIBILIDAD Y ENERGÍA EN COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA.

Tabla 30 Normalización de resultados en base de las columnas sin refuerzo.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
NORMALIZACIÓN DE RESULTADOS EN BASE DE LAS COLUMNAS SIN REFUERZO FRCM					
PROBETA	Ductilidad de Deformación	Ductilidad de Energía	Capacidad de Absorción de Energía	Índice de Tenacidad a Compresión	Reserva de Energía
COLUMNAS SIN REFUERZO FRCM	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
COLUMNAS CON REFUERZO FRCM CABUYA	1.289	0.908	3.831	1.450	4.126
COLUMNAS CON REFUERZO FRCM VIDRIO	1.409	0.865	4.238	1.584	5.056

3.27.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS NUMÉRICO DE LAS COLUMNAS ENSAYADAS A CARGA AXIAL CONCENTRICA.

3.27.1.- Columnas con sistema FRCM a base de fibras de cabuya.

Tabla 31 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM cabuya (sin considerar el factor de resistencia).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO DE COLUMNAS CONCÉNTRICAS REFORZADAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE CABUYA			
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			
DATOS DE COLUMNA			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
BASE	100	mm	b
ALTURA	100	mm	h
PORCENTAJE DE DAÑO	20.00%		
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	22.415	MPa	fc
DEFORMACIÓN ÚLTIMA A LA COMPRESIÓN	0.003		Eu
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE ACERO LONGITUDINAL	83.12654161	mm ²	As
RELACIÓN DE ACERO DE REFUERZO	0.008		Ps
ESFUERZO DE FLUENCIA	550	MPa	fy
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ACERO	204.995	GPa	Es
RESISTENCIA AXIAL SIN FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA AXIAL	179302.00	N	ϕP_n
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		ϕ
FUERZA AXIAL DAÑADA	179302.000	N	$\phi P_{ncorr} = \phi P_n - 0.2 * A_s * F_y$
REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE REFUERZO DE MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA	0.11740	mm ² /mm	Af
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TRACCIÓN FRCM	15851.00	MPa	Ef
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FRCM	1046.032	MPa	ffd
DEFORMACIÓN UNITARIA POR TRACCIÓN FINAL FRCM	0.09		Efd
CÁLCULOS PRELIMINARES			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RADIO DE ESQUINA	25	mm	R
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		Cf
ÁREA DEL ACERO DE REFUERZO POR UNIDAD DE ANCHURA REDUCIDA	83.12654	mm ²	Ascrr
NUEVA CUANTÍA DE REFUERZO DE ACERO	0.00831		ps new
CALCULAR EL ESFUERZO DE TRACCIÓN EFECTIVA FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
DEFORMACIÓN A TRACCIÓN EFECTIVA	0.012		Efe
NÚMERO DE CAPAS			
NÚMERO DE CAPAS	3		
CALCULAR LA NUEVA RESISTENCIA AXIAL			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
Ka	0.8319		ka
f1	0.9474	MPa	f1
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÁXIMA DE HORMIGÓN CONFINADO	24.8584	MPa	fcc
NUEVO DISEÑO DE RESISTENCIA AXIAL SEGÚN ACI 318-11			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ϕP_{nNew}	204207.6303	N	ϕP_{nNew}
CHEQUEO	OK		
COMPROBAR LIMITACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE PROPORCIONADA POR EL REFUERZO FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
$0.2 * \phi P_n$	35860.4000	N	$0.2 * \phi P_n$
$\phi P_{nNew} - \phi P_n$	24905.6303	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_n$
CHEQUEO	OK		
$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$	24905.630	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$

Tabla 32 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM cabuya.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO DE COLUMNAS CONCÉNTRICAS REFORZADAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE CABUYA			
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			
DATOS DE COLUMNA			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
BASE	100	mm	b
ALTURA	100	mm	h
PORCENTAJE DE DAÑO	20.00%		
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	22.415	MPa	fc
DEFORMACIÓN ÚLTIMA A LA COMPRESIÓN	0.003		Eu
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE ACERO LONGITUDINAL	83.12654161	mm ²	As
RELACIÓN DE ACERO DE REFUERZO	0.008		Ps
ESFUERZO DE FLUENCIA	550	MPa	fy
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ACERO	204.995	GPa	Es
RESISTENCIA AXIAL SIN FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA AXIAL DISEÑO ORIGINAL	115753.7056	N	ϕP_n
FACTOR DE REDUCCIÓN	0.65		ϕ
FUERZA AXIAL DAÑADA	106609.786	N	$\phi P_{ncorr} = \phi P_n - 0.2 * A_s * F_y$
REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE REFUERZO DE MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA	0.11740	mm ² /mm	Af
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TRACCIÓN FRCM	15851.00	MPa	Ef
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FRCM	1046.032	MPa	ffd
DEFORMACIÓN UNITARIA POR TRACCIÓN FINAL FRCM	0.09		Efd
CÁLCULOS PRELIMINARES			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RADIO DE ESQUINA	25	mm	R
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		Cf
ÁREA DEL ACERO DE REFUERZO POR UNIDAD DE ANCHURA REDUCIDA	83.12654	mm ²	Ascorr
NUEVA CUANTÍA DE REFUERZO DE ACERO	0.00831		ps new
CALCULAR EL ESFUERZO DE TRACCIÓN EFECTIVA FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
DEFORMACIÓN A TRACCIÓN EFECTIVA	0.012		Efe
NÚMERO DE CAPAS			
NÚMERO DE CAPAS	3		
CALCULAR LA NUEVA RESISTENCIA AXIAL			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
Ka	0.8319		ka
f1	0.9474	MPa	f1
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÁXIMA DE HORMIGÓN CONFINADO	24.8584	MPa	fcc
NUEVO DISEÑO DE RESISTENCIA AXIAL SEGÚN ACI 318-11			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ϕP_{nNew}	132734.9597	N	ϕP_{nNew}
CHEQUEO	OK		
COMPROBAR LIMITACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE PROPORCIONADA POR EL REFUERZO FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
$0.2 * \phi P_n$	23150.7411	N	$0.2 * \phi P_n$
$\phi P_{nNew} - \phi P_n$	16981.2541	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_n$
CHEQUEO	OK		
$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$	26125.174	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$

3.2.7.2.- Columnas con sistema FRCM a base de fibras de vidrio.

Tabla 33 Método de columnas concéntricas con sistema FRCM vidrio (sin considerar el factor de resistencia).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO DE COLUMNAS CONCÉNTRICAS REFORZADAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE CABUYA			
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			
DATOS DE COLUMNA			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
BASE	100	mm	b
ALTURA	100	mm	h
PORCENTAJE DE DAÑO	20.00%		
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	22.415	MPa	fc
DEFORMACIÓN ÚLTIMA A LA COMPRESIÓN	0.003		Eu
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE ACERO LONGITUDINAL	83.12654161	mm ²	As
RELACIÓN DE ACERO DE REFUERZO	0.008		Ps
ESFUERZO DE FLUENCIA	550	MPa	fy
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ACERO	204.995	GPa	Es
RESISTENCIA AXIAL SIN FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA AXIAL	179302.00	N	ϕP_n
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		ϕ
FUERZA AXIAL DAÑADA	179302.000	N	$\phi P_{ncorr} = \phi P_n - 0.2 * A_s * F_y$
REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE REFUERZO DE MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA	0.06120	mm ² /mm	Af
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TRACCIÓN FRCM	80919.511	MPa	Ef
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FRCM	2217.263	MPa	ffd
DEFORMACIÓN UNITARIA POR TRACCIÓN FINAL FRCM	0.0313		Efd
CÁLCULOS PRELIMINARES			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RADIO DE ESQUINA	25	mm	R
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		Cf
ÁREA DEL ACERO DE REFUERZO POR UNIDAD DE ANCHURA REDUCIDA	83.12654	mm ²	Ascrr
NUEVA CUANTÍA DE REFUERZO DE ACERO	0.00831		ps new
CALCULAR EL ESFUERZO DE TRACCIÓN EFECTIVA FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
DEFORMACIÓN A TRACCIÓN EFECTIVA	0.012		Efe
NÚMERO DE CAPAS			
NÚMERO DE CAPAS	3		
CALCULAR LA NUEVA RESISTENCIA AXIAL			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
Ka	0.8319		ka
f1	2.5213	MPa	f1
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÁXIMA DE HORMIGÓN CONFINADO	28.9174	MPa	fcc
NUEVO DISEÑO DE RESISTENCIA AXIAL SEGÚN ACI 318-11			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ϕP_{nNew}	231579.4367	N	ϕP_{nNew}
CHEQUEO	OK		
COMPROBAR LIMITACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE PROPORCIONADA POR EL REFUERZO FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
$0.2 * \phi P_n$	35860.4000	N	$0.2 * \phi P_n$
$\phi P_{nNew} - \phi P_n$	52277.4367	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_n$
CHEQUEO	NO PASA		
$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$	52277.437	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$

Tabla 34 Primer método de columnas concéntricas con sistema FRCM vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO DE COLUMNAS CONCÉNTRICAS REFORZADAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE CABUYA			
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			
DATOS DE COLUMNA			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
BASE	100	mm	b
ALTURA	100	mm	h
PORCENTAJE DE DAÑO	20.00%		
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	22.415	MPa	fc
DEFORMACIÓN ÚLTIMA A LA COMPRESIÓN	0.003		Eu
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE ACERO LONGITUDINAL	83.12654161	mm ²	As
RELACIÓN DE ACERO DE REFUERZO	0.008		Ps
ESFUERZO DE FLUENCIA	550	MPa	fy
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ACERO	204.995	GPa	Es
RESISTENCIA AXIAL SIN FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RESISTENCIA AXIAL DISEÑO ORIGINAL	115753.7056	N	ϕP_n
FACTOR DE REDUCCIÓN	0.65		ϕ
FUERZA AXIAL DAÑADA	106609.786	N	$\phi P_{ncorr} = \phi P_n - 0.2664 * A_s * F_y$
REFUERZO			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ÁREA DE REFUERZO DE MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA	0.06120	mm ² /mm	Af
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TRACCIÓN FRCM	80919.511	MPa	Ef
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FRCM	2217.263	MPa	ffd
DEFORMACIÓN UNITARIA POR TRACCIÓN FINAL FRCM	0.0313		Efd
CÁLCULOS PRELIMINARES			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
RADIO DE ESQUINA	25	mm	R
FACTOR DE REDUCCIÓN	1		Cf
ÁREA DEL ACERO DE REFUERZO POR UNIDAD DE ANCHURA REDUCIDA	83.12654	mm ²	Ascorr
NUEVA CUANTÍA DE REFUERZO DE ACERO	0.00831		ps new
CALCULAR EL ESFUERZO DE TRACCIÓN EFECTIVA FRCM			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
DEFORMACIÓN A TRACCIÓN EFECTIVA	0.012		Efe
NÚMERO DE CAPAS			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
NÚMERO DE CAPAS	2		
CALCULAR LA NUEVA RESISTENCIA AXIAL			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
Ka	0.8319		ka
f1	1.6809	MPa	f1
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÁXIMA DE HORMIGÓN CONFINADO	26.7499	MPa	fcc
NUEVO DISEÑO DE RESISTENCIA AXIAL SEGÚN ACI 318-11			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
ϕP_{nNew}	141026.0627	N	ϕP_{nNew}
CHEQUEO	OK		
Comprobar limitación de la resistencia al corte proporcionada por el refuerzo FRCM.			
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	NOMENCLATURA
$0.2 * \phi P_n$	23150.7411	N	$0.2 * \phi P_n$
$\phi P_{nNew} - \phi P_n$	25272.3571	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_n$
$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$	34416.277	N	$\phi P_{nNew} - \phi P_{nCorr}$

3.28.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS NÚMÉRICO DE LAS VIGAS ENSAYADAS A FLEXIÓN EN 4 PUNTOS.

3.28.1.- Vigas con sistemas FRCM a base de cabuya.

Tabla 35 Cálculo para el reforzamiento de vigas con sistema FRCM con fibra de cabuya.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO PARA EL REFORZAMIENTO DE VIGAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE CABUYA			
GEOMETRÍA			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
b	130	mm	ANCHO DE LA VIGA
h	170	mm	ALTURA DE LA VIGA
Lo	1400	mm	LONGITUD DE LA VIGA
c _c	20	mm	RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO (inferior)
c' _c	20	mm	RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO (superior)
PROPIEDADES DEL CONCRETO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϵ_{cu}	0.003		DEFORMACIÓN DE COMPRESIÓN FINAL
ρ_c	0.002236	g/mm ³	DENSIDAD DEL CONCRETO
w _{dl}	49.4156	g/mm	CARGA MUERTA POR MILÍMETRO DE CONCRETO
M ₀	12106822	g.mm	MOMENTO DE LA CARGA MUERTA
f' _c	22.415	MPa	FUERZA DE COMPRESIÓN
E _c	21525.11726	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN ($E_c = \rho^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c}$)
f' _{ct}	2.651291006	MPa	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ($f'_{ct} = 0.56 * \sqrt{f'_c}$)
APROXIMACIONES ANALÍTICAS A LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϵ_{c0}	0.001780694		DEFORMACIÓN UNITARIA A COMPRESIÓN MÁXIMA
σ_{rc}	20.1735	MPa	ESFUERZO DE COMPRESIÓN MÁXIMA
$\sigma_c(\epsilon_c)$	20.17232715	MPa	ECUACIÓN DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
DEFINICIÓN DE PROPIEDADES INTERNAS Y EXTERNAS DEL REFUERZO			
REFUERZO DE ACERO			
DIAMETRO (mm)	AREA	UNIDAD	
8	50.26548246	mm ²	AREA DE ACERO
PROPIEDADES DE REFUERZO DE CIZALLAMIENTO SECUNDARIO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_v	4.2	mm	DIÁMETRO DEL ESTRIBO
S _v	37.5	mm	ESPACIAMIENTO DEL ESTRIBO
f _{yt}	550	MPa	LÍMITE ELÁSTICO
A _v	27.7088472	mm ²	AREA DE REFUERZO TRANSVERSAL
PROPIEDADES INTERNAS DE REFUERZO DE ACERO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_s	8	mm	DIAMETRO DE LA VARILLA
num. Bar	2		NÚMERO DE VARILLAS
f _y	550	MPa	LÍMITE DE ELASTICIDAD ESPECÍFICO DEL ACERO DE REFUERZO
E _s	158501.115	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO
A _s	100.5309649	mm ²	AREA DE ACERO LONGITUDINAL
d	141.8	mm	DISTANCIA DE LA FIBRA DE COMPRESIÓN EXTREMA AL CENTRÓIDE DEL REFUERZO DE TRACCIÓN
ϵ_{sy}	0.003470007		DEFORMACIÓN UNITARIA DE FLUENCIA
ϵ_{sh}	0.15475		DEFORMACIÓN UNITARIA DE ENDURECIMIENTO
$\epsilon_{std} = \epsilon_{sy}$	0.003470007		DEFORMACIÓN DE DISEÑO
ns	7.363542464		RELACIÓN DE ACERO AL MÓDULO DE CONCRETO
PROPIEDADES INTERNAS DE REFUERZO DE ACERO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_s	8	mm	DIAMETRO DE LA VARILLA
num. Bar	2		NÚMERO DE VARILLAS
f _y	550	MPa	LÍMITE DE ELASTICIDAD ESPECÍFICO DEL ACERO DE REFUERZO
E _s	158501.115	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO
A _s	100.5309649	mm ²	AREA DE ACERO LONGITUDINAL
d'	28.2	mm	DISTANCIA DE LA FIBRA DE COMPRESIÓN EXTREMA AL CENTRÓIDE DEL REFUERZO SUPERIOR

APROXIMACIÓN ANALÍTICA DE LA CUERVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$\varepsilon_s + \varepsilon_s$	550		
f_y	550	MPa	
$f_s(\varepsilon_s)$	550	MPa	
PROPIEDADES DEL MATERIAL FRCM			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
E_f	15851	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA CARACTERIZACIÓN
ε_{fu}	0.06		DEFORMACIÓN ULTIMA DE LA CARACTERIZACIÓN
$\sigma_{\varepsilon_{fu}}$	0.017		Desviación estandar de la deformación ultima
n	3		NÚMERO DE CAPAS
A_{funit}	0.1174	mm ²	AREA DE FRCM MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA
b _f =b	130	mm	ANCHO DE LA CAPA
A _f	45.786	mm ²	AREA 1 DE FRCM
df=h	170	mm	DISTANCIA AL CENTRO DEL AREA 1 DEL FRCM
F_{tu}	1046.032	MPa	ÚLTIMO ESFUERZO DE LA PRUEBA DE CARACTERIZACIÓN
$\sigma_{F_{tu}}$	0.625		DESVIACIÓN ESTANDAR DEL ÚLTIMO ESFUERZO DE LA PRUEBA DE CARACTERIZACIÓN
$f_{fu} = F_{tu}$	1046.032		ESFUERZO ÚLTIMO
ε_{fd}	0.043		DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN ÚLTIMA
ε_{fe1}	0.012		
APROXIMACIÓN ANALÍTICA DE LA CUERVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$f_{fi}(\varepsilon_{fi})$	951.06		ECUACIÓN DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
nf	0.736395524		RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL FRCM Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO
Calcular la deformación en cada material para Ubicación del eje neutro y modo de fallo Nivel de esfuerzo eficaz en el refuerzo FRCM			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
x	26.26289477	mm	UBICACIÓN DEL EJE NEUTRO
$\frac{\varepsilon_{fe1} * x}{(h - x)}$	0.002192577		
$\varepsilon_c(x)$	0.002192577		
d'	28.2		
$\varepsilon_{fe}(x)$	0.012		DEFORMACIÓN DEL CONCRETO
$\varepsilon_s(x)$	0.009645702		DEFORMACIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO
$\varepsilon'_s(x)$	0.000161721		DEFORMACIÓN EN EL ACERO COMPRIMIDO
$E_s \varepsilon_s(x)$	1528.854499		
$\sigma_s(x)$	550	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DE COMPRESIÓN DEL ACERO
$E_s \varepsilon'_s(x)$	25.63290848		
$\sigma'_s(x)$	25.63290848	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DE COMPRESIÓN DEL ACERO
$\sigma_f(x)$	190.212	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DEL FRCM
CALCULAR LA FUERZA INTERNA RESULTANTE Y COMPROBAR EL EQUILIBRIO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$\varepsilon_{c1}(x, y)$	8.34857E-05		DEFORMACIÓN EN EL CONCRETO
$C_c(x)$	3673.238	N	FUERZA DE COMPRESIÓN EN EL CONCRETO
$T_{tot}(x)$	66577.97836	N	FUERZA DE TRACCIÓN EN EL REFORZAMIENTO
$C_{tot}(x) = C_c(x)$	3673.238	N	
f1(x)	-62904.74036	N	EQUILIBRIO ESTÁTICO
x01	28.36	mm	VALOR ANTICIPADO DE LA PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO
xu	5.325410782	mm	PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO
$\frac{\varepsilon_{fe1} * xu}{(h - xu)}$	0.000388068		
$\varepsilon_c(xu)$	0.000388068		DEFORMACIÓN EN EL CONCRETO EN BASE A Xu
$\varepsilon_{c1}(xu, y)$	7.2871E-05		
DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Mn	9587681.819	N.mm	MOMENTO NOMINAL (Martinez, 2016; Universidad de Chile)
Pn	41090.06494	N	CARGA NOMINAL
$\varepsilon_r = \varepsilon_c(xu)$	0.009945038		
Ø	0.9		FACTOR DE REDUCCIÓN
ØPn	36981.05844	N	FACTOR DE REDUCCIÓN POR CARGA NOMINAL
COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA A CORTE			
Vu	20545.03247	N	
λ	1		
Vc	14836.71916	N	
Min. Ref. Corte	REQUERIDO		
Vs	57627.01316	N	
Ø	1		
Vn	72463.73232	N	
Chequeo a Corte	OK		

3.2.8.2.- Vigas con sistema FRCM a base de fibra de vidrio.

Tabla 36 Cálculo para el reforzamiento de vigas con sistema FRCM con fibra de vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
CÁLCULO PARA EL REFORZAMIENTO DE VIGAS CON SISTEMA FRCM CON FIBRA DE VIDRIO			
GEOMETRÍA			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
b	130	mm	ANCHO DE LA VIGA
h	170	mm	ALTURA DE LA VIGA
Lo	1400	mm	LONGITUD DE LA VIGA
c _c	20	mm	RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO (inferior)
c _c	20	mm	RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO (superior)
PROPIEDADES DEL CONCRETO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϵ_{cu}	0.003		DEFORMACIÓN DE COMPRESIÓN FINAL
ρ_c	0.002236	g/mm ³	DENSIDAD DEL CONCRETO
w _{dt}	49.4156	g/mm	CARGA MUERTA POR MILIMETRO DE CONCRETO
M _o	12106822	g.mm	MOMENTO DE LA CARGA MUERTA
f _c	22.415	MPa	FUERZA DE COMPRESIÓN
E _c	21525.11726	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN ($E_c = \rho^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f_c}$)
f _{ct}	2.651291006	MPa	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ($f_{ct} = 0.56 * \sqrt{f_c}$)
APROXIMACIONES ANALÍTICAS A LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϵ_{c0}	0.001780694		DEFORMACIÓN UNITARIA A COMPRESIÓN MÁXIMA
σ_{c0}	20.1735	MPa	ESFUERZO DE COMPRESIÓN MÁXIMA
$\sigma_c(\epsilon_c)$	20.17232715	MPa	ECUACIÓN DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
DEFINICIÓN DE PROPIEDADES INTERNAS Y EXTERNAS DEL REFUERZO			
REFUERZO DE ACERO			
DIAMETRO (mm)	AREA	UNIDAD	
8	50.26548246	mm ²	AREA DE ACERO
PROPIEDADES DE REFUERZO DE CIZALLAMIENTO SECUNDARIO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_v	4.2	mm	DIÁMETRO DEL ESTRIBO
S _v	37.5	mm	ESPACIAMIENTO DEL ESTRIBO
f _{yt}	550	MPa	LÍMITE ELÁSTICO
A _v	27.7088472	mm ²	AREA DE REFUERZO TRANSVERSAL
PROPIEDADES INTERNAS DE REFUERZO DE ACERO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_s	8	mm	DIÁMETRO DE LA VARILLA
num. Bar	2		NÚMERO DE VARILLAS
f _y	550	MPa	LÍMITE DE ELASTICIDAD ESPECÍFICO DEL ACERO DE REFUERZO
E _s	158501.115	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO
A _s	100.5309649	mm ²	AREA DE ACERO LONGITUDINAL
d	141.8	mm	DISTANCIA DE LA FIBRA DE COMPRESIÓN EXTREMA AL CENTRÓIDE DEL REFUERZO DE TRACCIÓN
ϵ_{sy}	0.003470007		DEFORMACIÓN UNITARIA DE FLUENCIA
ϵ_{sh}	0.15475		DEFORMACIÓN UNITARIA DE ENDURECIMIENTO
$\epsilon_{std} = \epsilon_{sy}$	0.003470007		DEFORMACIÓN DE DISEÑO
ns	7.363542464		RELACIÓN DE ACERO AL MÓDULO DE CONCRETO
PROPIEDADES INTERNAS DE REFUERZO DE ACERO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
ϕ_s	8	mm	DIÁMETRO DE LA VARILLA
num. Bar	2		NÚMERO DE VARILLAS
f _y	550	MPa	LÍMITE DE ELASTICIDAD ESPECÍFICO DEL ACERO DE REFUERZO
E _s	158501.115	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO
A _s	100.5309649	mm ²	AREA DE ACERO LONGITUDINAL
d	28.2	mm	DISTANCIA DE LA FIBRA DE COMPRESIÓN EXTREMA AL CENTRÓIDE DEL REFUERZO DE TRACCIÓN

APROXIMACIÓN ANALÍTICA DE LA CUERVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$\varepsilon_s + E_s$	550		
f_y	550	MPa	
$f_s (\varepsilon_s)$	550	MPa	
PROPIEDADES DEL MATERIAL FRCM			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
E_f	80919.511	MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA CARACTERIZACIÓN
ε_{fu}	0.313		DEFORMACIÓN ULTIMA DE LA CARACTERIZACIÓN
$\sigma \varepsilon_{fu}$	0.085		Desviación estandar de la deformación ultima
n	2		NÚMERO DE CAPAS
A_{funit}	0.0612	mm ²	ÁREA DE FRCM MALLA POR UNIDAD DE ANCHURA
bf=b	130	mm	ANCHO DE LA CAPA
Af	15.912	mm ²	ÁREA 1 DE FRCM
df=h	170	mm	DISTANCIA AL CENTRO DEL AREA 1 DEL FRCM
F_{tu}	2217.263	MPa	ÚLTIMO ESFUERZO DE LA PRUEBA DE CARACTERIZACIÓN
$\sigma_{F_{tu}}$	266.45		DESVIACIÓN ESTANDAR DEL ÚLTIMO ESFUERZO DE LA PRUEBA DE CARACTERIZACIÓN
$f_{fu} = F_{tu}$	2217.263		ESFUERZO ÚLTIMO
ε_{fd}	0.228		DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN ÚLTIMA
ε_{fe1}	0.012		
APROXIMACIÓN ANALÍTICA DE LA CUERVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$f_{fi}(\varepsilon_{fi})$	25327.80694		ECUACIÓN DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
nf	3.759306396		RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL FRCM Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO
Calcular la deformación en cada material para Ubicación del eje neutro y modo de fallo Nivel de esfuerzo eficaz en el refuerzo FRCM			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
x	26.26289477	mm	UBICACIÓN DEL EJE NEUTRO
$\frac{\varepsilon_{fe1} * x}{(h - x)}$	0.002192577		
$\varepsilon_c(x)$	0.002192577		
d'	28.2		
$\varepsilon_{fe}(x)$	0.012		DEFORMACIÓN DEL CONCRETO
$\varepsilon_s(x)$	0.009645702		DEFORMACIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO
$\varepsilon'_s(x)$	0.000161721		DEFORMACIÓN EN EL ACERO COMPRIMIDO
$E_s \varepsilon_s(x)$	1528.854499		
$\sigma_s(x)$	550	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DE COMPRESIÓN DEL ACERO
$E_s \varepsilon'_s(x)$	25.63290848		
$\sigma'_s(x)$	25.63290848	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DE COMPRESIÓN DEL ACERO
$\sigma_f(x)$	971.034132	MPa	ESFUERZO EN EL NIVEL DEL FRCM
CALCULAR LA FUERZA INTERNA RESULTANTE Y COMPROBAR EL EQUILIBRIO			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$\varepsilon_{c1}(x,y)$	8.34857E-05		DEFORMACIÓN EN EL CONCRETO
$C_c(x)$	3673.238		FUERZA DE COMPRESIÓN EN EL CONCRETO
$T_{tot}(x)$	73320.02683		FUERZA DE TRACCIÓN EN EL REFORZAMIENTO
$C_{tot}(x) = C_c(x)$	3673.238		
f1(x)	-69646.78883		EQUILIBRIO ESTÁTICO
x01	28.36		VALOR ANTICIPADO DE LA PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO
xu	5.325410782		PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO
$\frac{\varepsilon_{fe1} * xu}{(h - xu)}$	0.000388068		
$\varepsilon_c(xu)$	0.000388068		DEFORMACIÓN EN EL CONCRETO EN BASE A Xu
$\varepsilon_{c1}(xu,y)$	7.2871E-05		
DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Mn	10697925.88	N.mm	MOMENTO NOMINAL (Martinez,2016; Universidad de Chile)
Pn	45848.25378	N	CARGA NOMINAL
$\varepsilon_t = \varepsilon_s(xu)$	0.009945038		
ϕ	0.9		FACTOR DE REDUCCIÓN
ϕPn	41263.4284	N	FACTOR DE REDUCCIÓN POR CARGA NOMINAL
COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA A CORTE			
Vu	22924.12689	N	
λ	1		
Vc	14836.71916	N	
Min. Ref. Corte	REQUERIDO		
Vs	57627.01316	N	
ϕ	1		
Vn	72463.73232	N	
Chequeo a Corte	OK		

3.29.- COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Hipótesis: Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de columnas y vigas de concreto armado.

VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN'

La hipótesis estadística es:

H₀= Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya NO tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado.

H_a= Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado.

COLUMNAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN AXIAL

Las hipótesis estadísticas son:

H₀= Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya NO tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de columnas de concreto armado.

H_a= Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de columnas de concreto armado.

3.30.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE ESFUERZO COLUMNAS SOMETIDAS A CARGA AXIAL CONCÉNTRICA

Tabla 37 Esfuerzo vs Variable

ESFUERZO	VARIABLE DEPENDIENTE
1	COLUMNA SIN REFUERZO FRCM
2	COLUMNA CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE CABUYA
3	COLUMNA CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE VIDRIO

Tabla 38 Esfuerzos de las columnas

σ_{SR}	σ_{FRCMC}	σ_{FRCMV}
17.614	34.744	36.062
17.608	34.115	35.192
17.525	33.849	34.093
16.375	32.184	32.477

Tabla 39 Descripción, media, desviación típica.

DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	N
CSRFCM	17.2805	0.60503	4
CCRFRCMC	33.7230	1.09247	4
CCRFRCMV	34.4560	1.54587	4

Tabla 40 Análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	754.521194	2	377.260597	286.5794422	7.10239E-09	4.256494729
Dentro de los grupos	11.847833	9	1.316425889			
Total	766.369027	11				

Tabla 41 Esfuerzo en intervalos.

COMPARACIÓN POR ESFUERZOS						
(I)ESFUERZO		Diferencia de medias (I-J)	Error tip.	Sig. ^b	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^b	
					Limite inferior	Limite superior
1	2	-16,443*	.273	.000	-17.767	-15.118
1	3	-17,175*	.525	.000	-19.725	-14.626
2	1	16,443*	.273	.000	15.118	17.767
2	3	-.733	.273	.224	-2.058	.592
3	1	17,175*	.525	.000	14.626	19.725
3	2	.733	.273	.224	-.592	2.058

Tabla 42 Resumen de ANOVAS esfuerzos de las columnas

TABLA DE RESUMEN DE ANOVAS COLUMNAS					
ESFUERZOS					
NÚMERO	DESCRIPCIÓN	F	F. CRÍTICO	SIG.	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
1	ESFUERZOS 1-2-3	286.579442	4.25649473	-	SI
2	ESFUERZOS 1-2	-	-	0	SI
3	ESFUERZOS 1-3	-	-	0	SI
4	ESFUERZOS 2-3	-	-	0.224	NO

ANÁLISIS DE HIPÓTESIS CON ANOVAS:

Mediante el análisis ANOVA pudimos determinar que según los valores de los esfuerzos determinados en el ensayo de compresión axial en columnas concéntricas (sin refuerzo FRCM, refuerzo FRCM con fibra de cabuya, refuerzo FRCM con fibra de vidrio), el valor de F es superior al valor de F. Crítico, por lo que podemos deducir que hay diferencia significativa.

Mediante el programa SPSS pudimos determinar que en la tabla de comparación por esfuerzos el valor de la significancia es menor a 0.05 en las comparaciones entre columna sin refuerzo FRCM y columna con refuerzo FRCM con tejido de cabuya; columna sin refuerzo FRCM y columna con refuerzo FRCM con tejido de vidrio por lo cual si existe diferencia significativa entre las medias de los esfuerzos, con excepción de la comparación entre columna con refuerzo FRCM con tejido de cabuya y columna con refuerzo FRCM con tejido de vidrio la cual nos da un valor superior a 0.05 lo cual nos dice que no existe diferencia significativa. Se acepta la hipótesis H_a debido a que **NO EXISTE UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA** entre los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio.

3.31.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE DEFORMACIÓN UNITARIA COLUMNAS SOMETIDAS A CARGA AXIAL CONCÉNTRICA

Tabla 43 Deformación unitaria.

DEFORMACIÓN UNITARIA	VARIABLE DEPENDIENTE
1	COLUMNA SIN REFUERZO FRCM
2	COLUMNA CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE CABUYA
3	COLUMNA CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE VIDRIO

Tabla 44 Deformaciones unitarias de las columnas

ϵ SR	ϵ FRCMC	ϵ FRCMV
0.007458	0.014565	0.015333
0.006761	0.01071	0.014097
0.00664	0.01269	0.01333
0.006299	0.012585	0.011036

Tabla 45 Descripción, media, desviación típica.

DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	N
CSRFCM	.0068	.00049	4
CCRFRCMC	.0126	.00157	4
CCRFRCMV	.0134	.00181	4

Tabla 46 Análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.000105609	2	5.28044E-05	26.47166558	0.00016987	4.256494729
Dentro de los grupos	1.79528E-05	9	1.99475E-06			
Total	0.000123562	11				

Tabla 47 Comparación por deformaciones unitarias.

COMPARACIÓN POR DEFORMACIONES UNITARIAS						
(I)DEFORMACIONES UNITARIAS	Diferencia de medias (I-J)	Error tip.	Sig. ^b	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^b		
				Límite inferior	Límite superior	
1 2	-.006*	.001	.010	-.009	-.003	
1 3	-.007*	.001	.007	-.010	-.003	
2 1	.006*	.001	.010	.003	.009	
2 3	-.001	.001	1.000	-.006	.004	
3 1	.007*	.001	.007	.003	.010	
3 2	.001	.001	1.000	-.004	.006	

Tabla 48 Tabla de resumen de Anovas de deformación unitaria de columnas.

TABLA DE RESUMEN DE ANOVAS COLUMNAS					
DEFORMACIÓN UNITARIA					
NÚMERO	DESCREPCIÓN	F	F. CRÍTICO	SIG.	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
1	DEF-UNIT. 1-2-3	26.4716656	4.25649473	---	SI
2	DEF-UNIT. 1-2	---	---	0.010	SI
3	DEF-UNIT. 1-3	---	---	0.007	SI
4	DEF-UNIT. 2-3	---	---	1.000	NO

ANÁLISIS DE LA HIPÓTESIS:

Mediante el análisis ANOVA pudimos determinar que según los valores de las deformaciones unitarias determinadas en el ensayo de compresión axial en columnas concéntricas (sin refuerzo FRCM, refuerzo FRCM con fibra de cabuya, refuerzo FRCM con fibra de vidrio), el valor de F es superior al valor de F. Crítico, por lo que podemos deducir que hay diferencia significativa.

Mediante el programa SPSS pudimos determinar que en la tabla de comparación por deformaciones unitarias el valor de la significancia es menor a 0.05 en las comparaciones entre columna sin refuerzo FRCM y columna con refuerzo FRCM con tejido de cabuya; columna sin refuerzo FRCM y columna con refuerzo FRCM con tejido de vidrio por lo cual si existe diferencia significativa entre las medias de las deformaciones unitarias, con excepción de la comparación entre columna con refuerzo FRCM con tejido de cabuya y columna con refuerzo FRCM con tejido de vidrio la cual nos da un valor superior a 0.05 lo cual nos dice que no existe diferencia significativa. Se acepta la hipótesis H_a debido a que **NO EXISTE UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA** entre los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio.

3.32.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE ESFUERZO EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA

Tabla 49 Esfuerzo vs Variable dependiente V.

ESFUERZO	VARIABLE DEPENDIENTE
1	VIGAS SIN REFUERZO FRCM
2	VIGAS CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE CABUYA
3	VIGAS CON REFUERZO FRCM CON TEJIDO DE VIDRIO

Tabla 50 Esfuerzos de vigas sometidas a flexión pura

σ VSR	σ VFRCMC	σ VFRCMV
11.781	15.951	22.516
11.768	14.652	20.413
11.179	14.619	20.37
10.511	13.141	20.2

Tabla 51 Descripción, media, desviación típica V.

DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	N
VSRFRCM	11.30975	0.60198	4
VCRFRCMC	14.59075	1.14841	4
VCRFRCMV	20.87475	1.09802	4

Tabla 52 Análisis de varianza V.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	188.990456	2	94.495228	98.19674049	7.71705E-07	4.256494729
Dentro de los grupos	8.66074625	9	0.962305139			
Total	197.6512023	11				

Tabla 53 Comparación por esfuerzos V.

COMPARACIÓN POR ESFUERZOS						
(I)ESFUERZO		Diferencia de medias (I-J)	Error tip.	Sig. ^b	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^b	
					Limite inferior	Limite superior
1	2	-3,281*	.341	.007	-4.938	-1.624
1	3	-9,565*	.444	.001	-11.724	-7.406
2	1	3,281*	.341	.007	1.624	4.938
2	3	-6,284*	.321	.001	-7.843	-4.725
3	1	9,565*	.444	.001	7.406	11.724
3	2	6,284*	.321	.001	4.725	7.843

Tabla 54 Tabla de resumen de ANOVAS de esfuerzos de vigas sometidas a flexión pura

TABLA DE RESUMEN DE ANOVAS VIGAS					
ESFUERZOS					
NÚMERO	DESCRIPCIÓN	F	F. CRÍTICO	SIG.	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
1	ESFUERZOS 1-2-3	98.1967405	4.25649473	-	SI
2	ESFUERZOS 1-2	-	-	.007	SI
3	ESFUERZOS 1-3	-	-	.001	SI
4	ESFUERZOS 2-3	-	-	.001	SI

ANÁLISIS DE HIPÓTESIS:

Mediante el análisis ANOVA pudimos determinar que según los valores de los esfuerzos determinados en el ensayo de flexión pura en vigas (sin refuerzo FRCCM, refuerzo FRCCM con fibra de cabuya, refuerzo FRCCM con fibra de vidrio), el valor de F es superior al valor de F. Crítico, por lo que podemos deducir que hay diferencia significativa.

Mediante el programa SPSS pudimos determinar que en la tabla de comparación por esfuerzos el valor de la significancia es menor a 0.05 en las comparaciones entre vigas sin refuerzo FRCCM y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de cabuya; vigas sin refuerzo FRCCM y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de vidrio; vigas con refuerzo FRCCM con tejido de cabuya y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de vidrio por lo cual si existe diferencia significativa entre las medias de los esfuerzos. Se rechaza la hipótesis H_a y se acepta la hipótesis H_0 debido a que **SI EXISTE UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA** entre los sistemas FRCCM a base de tejidos de cabuya y vidrio.

3.33.- ANÁLISIS DE ANOVA DE LOS VALORES DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA

Tabla 55 Deformación vs variable dependiente V.

DEFORMACIÓN UNITARIA	VARIABLE DEPENDIENTE
1	VIGAS SIN REFUERZO FRMC
2	VIGAS CON REFUERZO FRMC CON TEJIDO DE CABUYA
3	VIGAS CON REFUERZO FRMC CON TEJIDO DE VIDRIO

Tabla 56 Deformaciones unitarias de vigas sometidas a flexión pura.

SR	FRMC	FRMV
11.781	15.951	22.516
11.768	14.652	20.413
11.179	14.619	20.370
10.511	13.141	20.200

Tabla 57 Descripción, media, desviación típica V.

DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	N
VSRFRMC	0.2285	0.014364	4
VCRFRMC	0.3712	0.018625	4
VCRFRMV	0.2657	0.017404	4

Tabla 58 Análisis de varianza V.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.0438605	2	0.02193025	76.84339108	2.20296E-06	4.256494729
Dentro de los grupos	0.0025685	9	0.000285389			
Total	0.046429	11				

Tabla 59 Comparación por deformación unitarias V.

COMPARACIÓN POR DEFORMACIONES UNITARIAS						
(I)ESFUERZO		Diferencia de medias (I-J)	Error tip.	Sig. ^b	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-,143*	.003	.000	-.155	-.130
1	3	-,037*	.003	.002	-.050	-.025
2	1	,143*	.003	.000	.130	.155
2	3	,105*	.004	.000	.087	.124
3	1	,037*	.003	.002	.025	.050
3	2	-,105*	.004	.000	-.124	-.087

Tabla 60 Tabla resumen de ANOVAS de Deformaciones de vigas sometidas a flexión pura.

TABLA DE RESUMEN DE ANOVAS VIGAS					
DEFORMACIÓN UNITARIA					
NÚMERO	DESCREPCIÓN	F	F. CRÍTICO	SIG.	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA
1	DEF-UNIT. 1-2-3	76.8433911	4.25649473	---	SI
2	DEF-UNIT. 1-2	---	---	0.000	SI
3	DEF-UNIT. 1-3	---	---	0.002	SI
4	DEF-UNIT. 2-3	---	---	0.000	SI

ANÁLISIS DE HIPÓTESIS:

Mediante el análisis ANOVA pudimos determinar que según los valores de los esfuerzos determinados en el ensayo de flexión pura en vigas (sin refuerzo FRCCM, refuerzo FRCCM con fibra de cabuya, refuerzo FRCCM con fibra de vidrio), el valor de F es superior al valor de F. Crítico, por lo que podemos deducir que hay diferencia significativa.

Mediante el programa SPSS pudimos determinar que en la tabla de comparación por deformaciones unitarias el valor de la significancia es menor a 0.05 en las comparaciones entre vigas sin refuerzo FRCCM y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de cabuya; vigas sin refuerzo FRCCM y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de vidrio; vigas con refuerzo FRCCM con tejido de cabuya y vigas con refuerzo FRCCM con tejido de vidrio por lo cual si existe diferencia significativa entre las medias de las deformaciones unitarias. Se rechaza la hipótesis H_a y se acepta la hipótesis H_0 debido a que **SI EXISTE UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA** entre los sistemas FRCCM a base de tejidos de cabuya y vidrio.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

4.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS.

- Las propiedades físicas de las fibras son: la densidad de la cabuya (sacos) con un valor de 1.48 g/cm^3 y, la densidad de la fibra de vidrio Combimat 1050 con un valor de 2.72 g/cm^3 con un diferencia de 1.24 g/cm^3 . La masa por unidad de área de fibra de cabuya (sacos) es de 415.30 g/m^2 y la masa por unidad de área de fibra de vidrio Combimat 1050 es de 1055.60 g/m^2 con un diferencia 640.30 g/m^2 . La densidad lineal de la Cabuya (Sacos) se puede identificar es 714.67 g/km y la densidad lineal de vidrio Combimat 1050 se puede identificar es 594.00 g/km con diferencia de 120.67 g/km . El porcentaje de absorción de la fibra de cabuya es de 44.59% y la porcentaje de absorción de la fibra de vidrio Combimat 1050 es de 22.14% con una diferencia de 22.45% .
- La propiedad mecánica relevante en las fibras es el ensayo de tracción de tejido obteniendo el esfuerzo máximo de fibra de cabuya (sacos) con resina es de 400.239 MPa y en la fibra de vidrio Combimat 1050 su esfuerzo máximo es de 1423.148 MPa teniendo una diferencia de 1022.91 MPa . y el ensayo de tracción en hilos también es fundamental en fibras de cabuya (sacos) con resina la carga es de 184.152 N y sin resina es de 209.93 N a diferencia que de la fibra de vidrio Combimat 1050 es de 287.227 N demostrando que la es superior al hilo de Cabuya.

4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO (MATRIZ CEMENTICIA).

Se realizó diferentes ensayos para determinar el mortero óptimo que se utilizó con el sistema FRCM. El mortero 1:1,10 presenta un estado totalmente fluido con un porcentaje de 115%, un tiempo de Fraguado final de 178.20 min, una densidad de mortero en estado fresco de 2.08 g/cm³, un contenido de Aire de 3.44% a diferencia del mortero 1: 1.25 que tiene un flujo de mortero de 125.5 %, tiempo de fraguado final 198.00 min y una densidad del mortero en estado fresco de 2.05 g/ cm³.

- La resistencia a la flexión en morteros determino un esfuerzo máximo de 5.887 MPa en el mortero 1: 1,25 y un esfuerzo máximo de 8. 119 MPa en el mortero 1:1.10 y una deflexión máxima de 0.595mm en mortero 1:1.25 y 0.011mm en mortero 1:1,10.
- La resistencia a la compresión en morteros a los 28 días su carga máxima en mortero 1:1.25 es de 36834.204 N y la carga máxima en mortero 1:1.10 es de 37003.442 N habiendo una diferencia de 169.238 N favorable en el mortero 1:1.10.

4.3.- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

- Las propiedades físicas son: la densidad en estado endurecido (28 días) en los de fibra de cabuya (saco) 3 layers su valor es de 1.763 g/ cm³ y en los de fibra de vidrio Combimat 1050 2 layers es de 2.013 g/ cm³ con una diferencia de 0.25 g/ cm³ y el % de Absorción en estado endurecido de la fibra de vidrio Combimat 1050 2 layers es de 13.415 % y en la fibra de cabuya (saco) 3layers es de 12.182 % con diferencia de 1.233 %.
- El ensayo de tracción en material compuesto de fibra de Cabuya (sacos) 3 layers con un valor de esfuerzo máximo de 7.688 MPa y la fibra de vidrio

Combimat 1050 con un valor de 8.481 MPa teniendo una diferencia de 0.793 MPa teniendo valores similares de esfuerzo. El ensayo de flexión en tres puntos de las fibras proporcionó valores de carga máxima de 590.759N en la fibra de cabuya (sacos) y la fibra de vidrio Combimat 1050 un valor de 618.013 N con una diferencia de 27.254 N.

- El ensayo de tracción muestra la curva esfuerzo – deformación donde a partir de la ruptura de la matriz cementicia, los tejidos empiezan a trabajar superando el esfuerzo generado por el mortero, es decir existe una transferencia de esfuerzos.

4.4.- CARGA DE DISEÑO EXPERIMENTAL FRENTE A CARGA TEÓRICA EN VIGAS.

- El diseño original de la viga corresponde a someterla a una carga total de 55973.75 N, el área de acero destinada para cubrir esta carga es de 2.133 cm² (3 Ø 10 mm + 1 Ø 8 mm), pero en el diseño experimental planteado en la investigación se reduce el acero a (2 Ø 8 mm) de modo que la viga presente deficiencia a la flexión y esta se pueda cubrir con el material compuesto FRCM de modo que se puede llegar a la carga de diseño original. En el caso de vigas sin refuerzo FRCM se obtuvo una resistencia de 31317.25 N en promedio lo que indica una reducción de carga del 76.09% con respecto al diseño original, mientras que las vigas reforzadas con sistema FRCM con fibra de cabuya obtuvo una resistencia de 39228.75 N en promedio lo que indica un incremento de la carga en un 25% con respecto al ensayo de flexión, mientras que las vigas reforzadas con sistema FRCM con fibra de vidrio se obtuvo una resistencia de 55973.75 N en promedio lo que indica un incremento de la carga en un 78,73% con respecto al ensayo de flexión.

4.5.- COMPARACIÓN DE LA DUCTILIDAD EN VIGAS.

- La ductilidad de deformación que se observa en las vigas sin el sistema de refuerzo FRCM es relativamente baja si la relacionamos con las vigas en las que se aplica el sistema FRCM.
- La ductilidad de deformación es de 5.403 en vigas no reforzadas con FRCM, mientras que las vigas reforzadas con sistema FRCM con fibra de vidrio es de 7.499 y las vigas reforzadas con sistema FRCM con fibra de cabuya es de 10.158.
- Si la viga presenta una capacidad de seguir deformándose no linealmente en el rango plástico esta adquiere mayor ductilidad, podemos observar como las vigas con el sistema de refuerzo FRCM adquieren una capacidad de deformación mayor que las vigas sin refuerzo, lo que indica la mayor ductilidad que el sistema FRCM ofrece al aplicarlo en elemento flexionante.

4.6.- INDICES DE ENERGÍA EN VIGAS.

Las propiedades de energía se definen como la capacidad que tiene un material para almacenar energía, en forma de deformación plástica, antes de romperse.

- En base al concepto de energía, notoriamente se observa como el sistema FRCM tiene la capacidad de absorber de un 102.23% cuando se trata de refuerzo con tejido de cabuya, mientras que la capacidad de absorber energía es de 81.43% cuando se trata de un refuerzo con tejido de vidrio.

4.7.- CARGA DE DISEÑO EXPERIMENTAL FRENTE A CARGA TEÓRICA EN COLUMNAS.

- El diseño original de la columna corresponde a que el área de acero destinada para cubrir esta carga es de 0.8 cm^2 ($6\emptyset 4.2 \text{ mm}$), pero en el diseño experimental planteado en la investigación se reduce el área de acero a ($6 \emptyset 4.2 \text{ mm}$) de modo que la columna presente deficiencia a la carga axial y esta se pueda cubrir con el material compuesto FRCM. En el caso de las columnas sin refuerzo FRCM se obtuvo una resistencia de 180147.00 N en promedio, mientras que las columnas reforzadas con sistema FRCM con fibra de cabuya obtuvo una resistencia de 345264.00 N en promedio lo que indica un incremento de la carga en un 91.66% , con respecto al ensayo de compresión, mientras que las vigas reforzadas con sistema FRCM con fibra de vidrio obtuvo una resistencia de 351026.00 N en promedio lo que indica un incremento de la carga en un 94.86% , con respecto al ensayo de compresión.

4.8.- COMPARACIÓN DE LA DUCTILIDAD.

- En el sistema de refuerzo planteado en las columnas, la ductilidad de deformación es relativamente baja en comparación de las columnas reforzadas con sistema FRCM.
- Cuando no tenemos sistemas de refuerzo la ductilidad de deformación es 1.096 , mientras que al tener un sistema de refuerzo FRCM con fibra de cabuya tenemos la ductilidad de deformación de 1.412 que equivale a 28.876% superior, en cambio que al tener un sistema de refuerzo FRCM con fibra de vidrio tenemos la ductilidad de deformación de 1.543 que equivale a 40.862% superior.

4.9.- INDICES DE ENERGÍA EN COLUMNAS.

- A pesar de que los índices de ductilidad demuestran un carácter frágil en las columnas, mediante la energía absorbida, se determina como la columna reforzada con un encamisado absorbe más energía y se opone a su rotura, con respecto a la energía absorbida de los modelos no reforzados con FRCM existe una diferencia del 283.053% de energía en columnas reforzadas con sistema FRCM con fibra de cabuya y de 323.766% de energía en columnas reforzadas con sistemas FRCM con fibra de vidrio.

4.10.- ANÁLISIS NUMÉRICO.

- La resistencia de las vigas reforzadas con sistema FRCM a base de tejidos de cabuya es de 33989.25744 N y en vigas reforzadas con sistemas FRCM a base de tejidos de vidrio es de 40483.10895 encontrando una diferencia de 6493.85151 N. aquí se puede ver claramente que la fibra de vidrio si le supera a la cabuya con un porcentaje de 17%.
- La resistencia de las columnas reforzadas con sistema FRCM a base de tejidos de cabuya es de 121467.83N y en columnas de sistema FRCM a base de tejidos de vidrio es de 137077.3601 N encontrando una diferencia del 11.39%.
- Las columnas sometidas a carga axial sin refuerzo FRCM arrojaron resultados similares, en la parte teórica con un valor de 179302 N y en lo experimental un valor de 180147 N con una diferencia de 845 N alcanzando un porcentaje de diferencia de 0.47%, las columnas reforzadas con sistema FRCM cabuya (3 Layers) nos dan los siguientes resultados, en la parte teórica el valor de 204207.68 N y en la parte experimental un valor de

349965.75 N con una diferencia de 145758.07 N alcanzando un porcentaje de diferencia de 71.38% debido a que las columnas fueron ensayadas hasta alcanzar a la falla de rotura en cambio el análisis numérico considera factores de reducción de carga, las columnas reforzadas con sistema FRCM vidrio (2 layers) nos dan los siguientes resultados, en la parte teórica el valor de 231579.44 N y en lo experimental un valor de 357484.5 N con una diferencia de 125905.06 N alcanzando un porcentaje de diferencia de 54.37% de igual manera las columnas reforzadas con sistema FRCM vidrio fueron ensayadas hasta alcanzar la falla por este motivo existe casi el doble de diferencia debido que el cálculo numérico utiliza factores de reducción de carga.

- Las vigas reforzadas con sistema FRCM cabuya (3 Layers) nos dan los siguientes resultados, en la parte teórica el valor de 36981.58 N y en la parte experimental un valor de 39228.75 N con una diferencia de 2247.17 N alcanzando un porcentaje de diferencia de 6.08%, las vigas reforzadas con sistema FRCM vidrio (2 layers) nos dan los siguientes resultados, en la parte teórica el valor de 41263.428 N y en lo experimental un valor de 56973.75 N con una diferencia de 14710.32N alcanzando un porcentaje de diferencia de 35.65% debido que se utiliza factores de reducción de resistencia en los elementos ensayados.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES.

- Los sistemas de refuerzo FRCM (matriz cementicia con mortero 1:1.10 y tejido de fibra cabuya; matriz cementicia con mortero 1:1.10 y tejido de fibra vidrio), poseen buenas características para el reforzamiento y fortalecimiento de elementos estructurales.
- La forma de colocación del refuerzo en los elementos estructurales es de gran importancia, ya que al utilizar un encamisado del sistema FRCM en columnas y refuerzo tipo U para las vigas, se evita el problema de desprendimiento del refuerzo y se mejora la adherencia, esto es favorable ya que permite que el refuerzo permanezca fijo al sustrato y que el elemento trabaje de una forma monolítica con el refuerzo FRCM.
- Los espacios entre fibras de los tejidos permite que la matriz penetre entre los hilos del tejido. Sin embargo, podría mejorar la penetrabilidad del tejido aumentando los espacios entre hilo e hilo. Esto permite que se reduzcan las discontinuidades del material, con el fin de que se disminuyan los deslizamientos de la fibra con respecto a la matriz y se mejore el comportamiento general del refuerzo.
- La densidad en los materiales compuesto con fibra de cabuya es 12.42% mayor que en los materiales compuestos con fibra de vidrio. Sin embargo, si se aumentara la cantidad de tejido de vidrio en el material compuesto se obtendrá un material más pesado, en el caso del FRCM de vidrio.
- Las características del material compuesto FRCM depende de las propiedades mecánicas de los tejidos de fibra de cabuya y fibra de vidrio respectivamente, específicamente la resistencia a esfuerzos de tracción.

- Los ensayos de caracterización de las probetas de material compuesto nos permitieron establecer la cantidad de fibra óptima a ser adicionada en el sistema de refuerzo de los elementos estructurales.
- El material compuesto que presentó las mejores propiedades mecánicas tanto de tracción como de flexión fue la correspondiente a la configuración de la fibra de vidrio Combimat 1050 con 2 layers ya que esta permitió al compuesto superar las propiedades mecánicas de la del tejido del saco de cabuya con 3 layers en aproximadamente el 10.31% en el esfuerzo máximo a la tracción, 166.16% en el módulo de elasticidad, 4.62% en el esfuerzo máximo a la flexión.
- El uso de fibras de cabuya genera múltiples ventajas para el medio ambiente, ya que constituyen un recurso natural y renovable, además de poseer baja densidad, alta rigidez y capacidad de biodegradarse, es un buen material para el reforzamiento de elementos estructurales, pero se requiere estudios que permitan generar una prolongación de la vida útil de la fibra, ya que al ser un material orgánico al estar en contacto con el agua y los demás componentes del material compuesto, estas tenderán a deteriorarse con el tiempo.
- El uso de la fibra de vidrio genera ventajas para el reforzamiento de los elementos estructurales, ya que al ser una fibra sintética es un material que ya ha sido usado previamente para refuerzos con sistemas FRP. Este material se deteriora con el tiempo en menor medida que las fibras naturales.
- El número de tejidos necesarios para el material compuesto depende del servicio que preste la estructura a reparar, por ejemplo, para elementos no estructurales sería suficiente un tejido; pero para elementos estructurales donde se requiera recuperar resistencia y ductilidad, como pilares, muros, vigas de marcos, arriostramientos, fundaciones, pedestales, etc., el número de tejidos debe ser cuidadosamente estudiado.

- Encontrando la carga teórica de las columnas y observando que la diferencia entre sistemas FRCM a base de tejidos de cabuya y vidrio es mínima se puede utilizar el sistema FRCM cabuya, debido que ayuda a incrementar la resistencia del elemento estructuras y su costo es menor y evita la reacción explosiva de las columnas sometidas a carga axial.
- Los sistemas de reforzamiento FRCM a base de fibra de cabuya nos dieron resultados satisfactorios tanto en compresión, como en flexión. En compresión el sistema FRCM a base de fibras de cabuya nos dio un incremento de la capacidad de carga de 94.27% en comparación al sistema FRCM a base de fibras de vidrio que nos dio un incremento de su capacidad de carga de 98.44%. En flexión el sistema FRCM a base de fibras de cabuya nos dio un incremento de la capacidad de carga de 25.262% en comparación con el sistema FRCM a base de fibras de vidrio nos dio un incremento de su capacidad de carga de 78.731%.
- Al realizar el análisis de precios unitarios de los materiales compuestos, pudimos evidenciar que el sistema de reforzamiento FRCM a base de fibra de cabuya es un 16.05% más económico que un sistema de reforzamiento FRCM a base de fibras de vidrio.
- Al realizar el ensayo bajo carga axial pura de las columnas reforzadas, pudimos evidenciar que obtuvimos resultados similares, ya que el sistema FRCM a base de fibras de vidrio tiene una capacidad de carga 4.17% mayor que un sistema FRCM a base de cabuya, pero el costo de refuerzo de cabuya es 16.05% más económico, por lo que concluimos que sería una excelente opción de reforzamiento para columnas.
- Al realizar el ensayo de flexión bajo carga axial pura, pudimos evidenciar que el sistema FRCM a base de fibras de vidrio tiene una capacidad de carga 53.469% mayor que un sistema FRCM a base de cabuya, el costo de refuerzo de cabuya es 16.05% más económico, por lo que concluimos que usar el sistema FRCM a base de fibra de vidrio sería la mejor opción, aunque no se descarta usar el sistema FRCM a base de fibras de cabuya, ya que tiene

varios beneficios positivos en comparación a la fibra de vidrio como: se distribuye mejor las cargas en el sistema de refuerzo, es un material ecológico que no contaminan el ambiente, posee mejor adherencia, es más dúctil .

- El uso del encamisado FRCM a base de fibras de cabuya y vidrio en las columnas concéntricas nos ayudó a evitar que en el ensayo de compresión axial pura, la columna ensayada tenga un comportamiento explosivo, como se pudo observar cuando ensayamos columnas sin refuerzo FRCM, aunque se pudo evidenciar que el sistema FRCM a base de fibra de vidrio se desprendió de la columna y en el sistema FRCM a base de fibra de cabuya no ocurrió lo mismo, por lo que concluimos que la fibra de cabuya brinda una mejor adherencia al sistema de refuerzo FRCM.
- Después de los resultados obtenidos podemos concluir que la implementación de fibra natural de cabuya en sistemas de reforzamiento FRCM sería muy positiva, tanto en vigas como en columnas, sería un gran aporte en elementos estructurales, tomando en cuenta también que es un material ecológico y accesible.
- La diferencia entre vigas con sistema FRCM cabuya y sistemas FRCM vidrio es significativa, debido que es una fibra más rígida y de mayor resistencia que la de cabuya, lo que se traduce en un incremento de resistencia en elementos sujetos a cargas de flexión, en cambio la fibra de cabuya es una fibra natural y se está planteando como una alternativa de reforzamiento debido a que tiene varias ventajas tales como la distribución de carga y una mejor capacidad de deformación, en el caso de las vigas no se cumple la hipótesis, sin embargo existe un gran incremento de la resistencia del sistema FRCM cabuya con relación a las vigas sin refuerzo FRCM, en caso de las columnas si se cumple la hipótesis debido a que la cabuya y vidrio ensayados a compresión concéntrica absorben mayor energía dentro de la zona de confinamiento.
- Mediante el método ANOVA se determinó según la tabla de comparación de esfuerzos y deformaciones unitarias el valor de significancia es menor a 0.05

en las comparaciones de columnas sin refuerzo FRCM y columnas con refuerzo FRCM con tejido de cabuya; columnas sin refuerzo FRCM y columnas con refuerzo FRCM con tejido de vidrio por lo cual si existe diferencia significativa entre las medias de los esfuerzos y deformaciones unitarias, con excepción de la comparación entre columnas con refuerzo FRCM con tejido de cabuya y columnas con refuerzo FRCM vidrio la cual nos da un valor superior a 0.05 dando como resultado que no existe diferencia significativa.

- Con el método ANOVA en vigas según la tabla de comparación por esfuerzos y deformaciones unitarias el valor de la significancia es menor a 0.05 en la comparación de vigas sin refuerzo FRCM con las vigas con refuerzo FRCM cabuya, la comparación de vigas sin refuerzo FRCM y con las vigas con refuerzo FRCM vidrio y la comparación de vigas con refuerzo FRCM cabuya con vigas con refuerzo FRCM vidrio dando como resultado que si existe diferencia significativa entre las medias de los esfuerzos como también en las deformaciones unitarias.
- Las columnas sin refuerzo FRCM no presentan una diferencia significativa entre la carga teórica vs la experimental, en cambio las columnas con refuerzo FRCM cabuya y vidrio presenta una diferencia significativa entre lo teórico y lo experimental debido a que las columnas fueron llevadas a la falla y los tejidos permiten una mejor distribución de la energía.
- Las vigas reforzadas con sistema FRCM cabuya no presentan una diferencia entre lo teórico y lo experimental en cambio las vigas con sistema FRCM vidrio si presentan una diferencia entre lo teórico y experimental debido que en la parte teórica se utilizan factores de reducción de carga que no se considera en los ensayos experimentales.

5.2.- RECOMENDACIONES.

- Para poder trabajar con fibras naturales en el sistema de refuerzo FRCM, se debe tener un tejido con una adecuada separación entre hilos, tanto en forma transversal como longitudinal, para que la matriz cementicia pueda penetrar entre los espacios del tejido, generando así una mejor adherencia entre las capas.
- Cuando se trabaje con fibras naturales embebidas en una matriz de cemento se requiere un tratamiento superficial previo a su instalación, debido al deterioro que estas pueden experimentar con el paso del tiempo, en nuestro caso las fibras se impregnaron de resina poliéster, adquiriendo con ello nuevas propiedades de resistencia, adherencia con la matriz y durabilidad.
- En el momento de la colocación la fibra de vidrio se debe tratar con mucho cuidado a la fibra, ya que tiende a desintegrarse y dañarse.
- El mortero utilizado para la matriz cementicia en un sistema compuesto FRCM debe poseer una alta resistencia a la compresión, además de tener un grado de fluidez óptimo que permita un manejo de mezcla adecuado al momento de la elaboración del material compuesto para ello el uso de un plastificante le ayuda al mortero a adquirir el flujo adecuado.
- Seleccionar correctamente el modo de colocación del refuerzo en los elementos estructurales es muy importante, ya que al utilizar métodos como el encamisado o reforzamiento en forma de U mejoramos la adherencia y evitamos la laminación o desprendimiento del refuerzo y nos ahorramos utilizar sistemas de adherencia, lo cual sería más costoso.
- Para la instalación de un sistema de refuerzo FRCM se debe tener en cuenta, en primer lugar, las condiciones ambientales a las que se encontrará sometido éste antes y durante la instalación, ya que las temperaturas pueden afectar la correcta colocación del refuerzo.

- Es muy importante bañar las fibras en la lechada de cemento antes de su instalación, para evitar que las fibras absorban el agua del mortero.
- En el momento de los ensayos de compresión y flexión, es de suma importancia colocar alineado, nivelado y aplomado correctamente a las vigas y columnas para que los resultados sean los correctos y no se distorsionen.
- La elección adecuada del método de colocación del sistema de refuerzo FRCM en los elementos estructurales, nos beneficiara para poder obtener resultados satisfactorios, ya que existen métodos que mejoran su comportamiento mecánico y propiedades como adherencia y ductilidad.
- Se debe tener presente todos los gastos que se realizaron para elaborar el material compuesto, para que el análisis de precios unitarios sea el correcto y efectuar un adecuado análisis costo-beneficio.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1.- TITULO DE LA PROPUESTA.

“Mejoramiento de la resistencia de elementos de concreto armado mediante encamisado y U continua usando sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de cabuya”

6.2.- INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de técnicas alternativas para la rehabilitación estructural es de importancia crítica para la seguridad y preservación de la infraestructura civil mundial. Los sistemas compuestos de matriz cementicia reforzada con tejido (FRCM) han surgido como una metodología de reparación sostenible adecuada para el fortalecimiento y rehabilitación de la infraestructura, incluida la restauración histórica. Con este fin, se llevó a cabo un programa experimental para investigar el método de caracterización para determinar las propiedades de los materiales necesarios para el diseño y evaluar su desempeño.

El uso de materiales compuestos en la industria de fortalecimiento, rehabilitación y reparación ha ido ganando popularidad debido a su capacidad para promover la seguridad y la sostenibilidad de la infraestructura civil. Los sistemas de matriz cementicia reforzada con tejido (FRCM) han surgido recientemente como una alternativa de reparación viable para restaurar la integridad del concreto deteriorado o estructuralmente deficiente, a falta de reemplazarlo. El éxito del sistema FRCM ha sido impulsado por su demostrado rendimiento estructural, resistencia al calor inherente y excelente compatibilidad con el sustrato de concreto. El potencial completo de FRCM aún no ha sido validado totalmente. En consecuencia, se ha efectuado la evaluación experimental de un sistema FRCM basado en fibra de cabuya y vidrio, reforzando modelos a escala de columnas y vigas, el método de colocación del refuerzo es: un encamisado en columnas y U continua en vigas, para posteriormente ensayarlos a compresión pura y flexión respectivamente, todos los

ensayos experimentales se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo.

El objetivo global es validar experimentalmente el potencial de FRCM de fibra de cabuya como sistema de reparación de las infraestructuras como un medio para ampliar el conocimiento actual de los sistemas FRCM. Debido a que es un sistema ecológico y su costo-beneficio es importante en comparación en sistemas FRCM a base de tejidos de vidrio.

6.3.- OBJETIVOS.

6.3.1.- GENERAL.

- Mejorar la resistencia de elementos de concreto armado mediante encamisado y U continua usando sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de cabuya.

6.3.2.- ESPECÍFICOS.

- Someter a pruebas de flexión a 4 puntos y compresión concéntrica a 8 vigas y 8 columnas de concreto armado reforzadas con sistemas FRCM de tejidos de cabuya para analizar experimentalmente su comportamiento mecánico.
- Realizar el análisis de precios unitarios de materiales compuestos FRCM a base de tejidos de fibras naturales de cabuya y compararlo con el análisis de precios unitarios de materiales compuestos FRCM a base de tejidos de fibras de vidrio.
- Elaborar el análisis de costo-beneficio de los elementos de concreto armado sometidos a flexión y compresión pura que han sido reforzados usando materiales compuestos FRCM (utilizando el método de encamisado y U continua) a base de tejidos de fibras naturales de cabuya y compararlo con

el análisis de costo-beneficio del uso de material compuesto FRCM a base de tejidos de fibras de vidrio.

6.4.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA.

6.4.1.- Refuerzo Axial.

El elemento reforzado para aumentar su capacidad a compresión debe ser encamisado figura 211, a modo de confinamiento, de modo transversal a la dirección de la carga axial a la que se encuentra sometida.

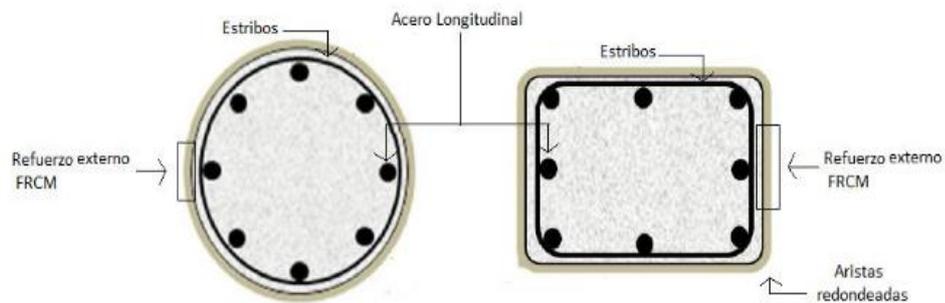


Figura 210 Disposición FRCM Encamisado, columnas.
Fuente: Arboleda 2012.

6.4.2.- Esquema típico de refuerzo de columnas sometidas a compresión pura usando FRP.

Diferentes esquemas de refuerzo con tejidos FRP se investigan y desarrollan con base en el tipo de material, forma y proceso de aplicación, pero pueden ser clasificados dentro de cinco categorías.

- a. Telas saturadas en obra.
- b. Pre-impregnados en forma de tiras o tejido.
- c. Cables o tiras prefabricadas.
- d. Cascarones prefabricados.

e. Procesos de infusión de resina.

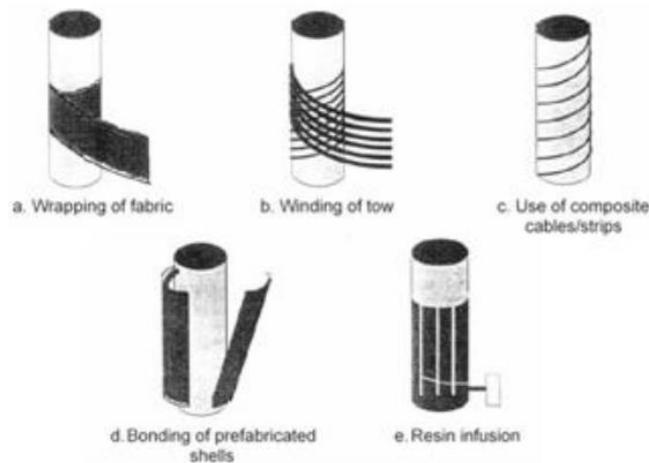


Figura 211 Métodos de encamisado para las columnas.
Fuente: Arboleda 2012.

En la primera técnica la columna es envuelta por una o varias capas de FRP en forma de espiral o anillos, esto se utiliza mucho en columnas de edificios y pilas de puentes. Cuando se aplican dos o más capas de FRP a una columna, las juntas de traslape se disponen de tal forma que se localicen en las caras opuestas como se muestra en la figura 213. El traslape mínimo para tejidos FRP no debe ser menor de 20cm.

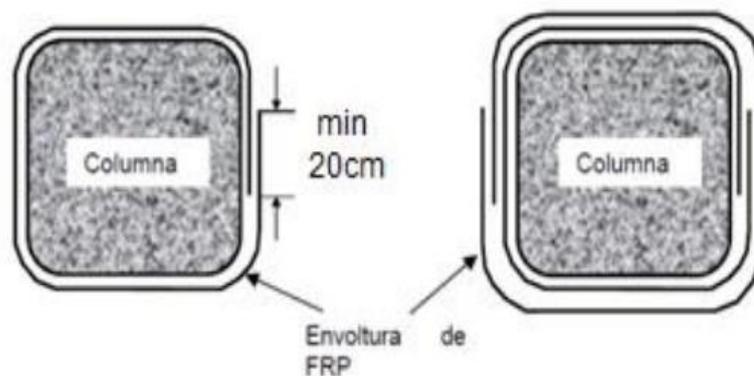


Figura 212 Traslape mínimo para tejidos FRP.
Fuente: Arboleda 2012.

En el caso de tiras pre-impregnadas se utiliza sprays de resina para impregnar los tejidos, se envuelven en espiral o anillos, por lo que el sistema es muy parecido al primero con tejidos saturados en obra.

El método de envolver cables o tiras prefabricadas no se encuentra desarrollado completamente por lo que no se recomienda su uso.

La técnica de pegar cascarones prefabricados alrededor de la columna es un sistema muy simple, mucho más fácil cuando son columnas circulares, pues en las rectangulares es menos eficiente; pero estos deben ser fabricados bajo una estricta tolerancia con respecto a las dimensiones de la columna y se usan como refuerzo transversal e incluso como encofrado.

Finalmente en el caso de la infusión de resina, la tela seca se aplica manualmente y la resina se inyecta posteriormente.

Todos estos dispositivos de confinamiento ofrecen una restricción transversal a las barras longitudinales lo cual evita que se deformen, y también que se desprenda el recubrimiento de hormigón. Estas técnicas también se utilizan para prevenir el deslizamiento y giro de las barras de refuerzo en las zonas de traslape.

Triantafillou & Papanicolaou (2006). Realizaron ensayos sobre probetas cilíndricas y rectangulares de hormigón, para estudiar el comportamiento axial del refuerzo FRCM como alternativa del refuerzo externo (confinamiento) mediante FRP. El confinamiento de elementos sometidos a carga axial de estructuras es un método comúnmente utilizado para aumentar la capacidad de elementos de hormigón armado, evitando la falla frágil del hormigón.

Triantafillou & Papanicolaou (2006). En la Figura 214, se muestran los diferentes modos de fallas según tipo de refuerzo.

-Fractura del encamisado debido a insuficiencia del refuerzo bajo tensiones de tracción.

-Desunión del refuerzo al final del encamisado (extremo del elemento).

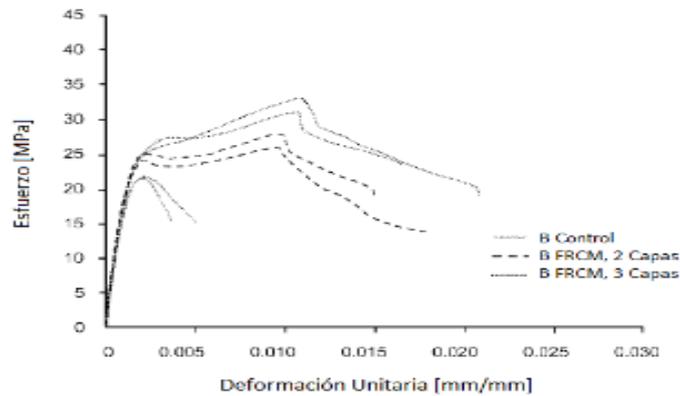


Figura 213 Capacidad axial probetas cilíndricas serie B.
Fuente: Papanicolaou 2006.

En este estudio se determinó que el confinamiento que provee el encamisado mejora sustancialmente el comportamiento a compresión de los elementos ensayados. El grado de mejoramiento aumenta según la cantidad de capas de fibras de refuerzo incorporadas. En relación al modo de falla del encamisado, ya sea por fractura de la fibra o desunión del refuerzo, éste queda determinado por la fuerza de corte interlaminar entre la malla y la matriz, la que es proporcional a la resistencia a flexión del mortero, por lo que el correcto diseño de la matriz es fundamental para el buen desempeño del refuerzo.

En cuanto a la influencia de la forma de la sección transversal, hemos calculado esto introduciendo dos diferentes factores de forma en el modelo:

- El factor de forma basado en el efecto de arco, el más comúnmente aceptado, propone Triantafyllou & Papanicolaou (2006) en el boletín 14, que considera como confinado sólo el área de hormigón contenida por cuatro parábolas cuadráticas que intersecan los lados a 45° , mientras que en el resto de la cruz, el confinamiento es insignificante. En este caso, como la proporción entre el área cerrada y la superficie total de hormigón, se obtiene un factor $\alpha_e = 0,695$.

- Un factor de forma propuesto por Mirmiran y otros, que para secciones cuadradas sería dado por $\alpha e = 2R_c / b$, dando valores de αe mucho menores y más influenciados por el radio de curvatura en las esquinas. En el caso de ejemplares ensayados $\alpha e = 0,333$.

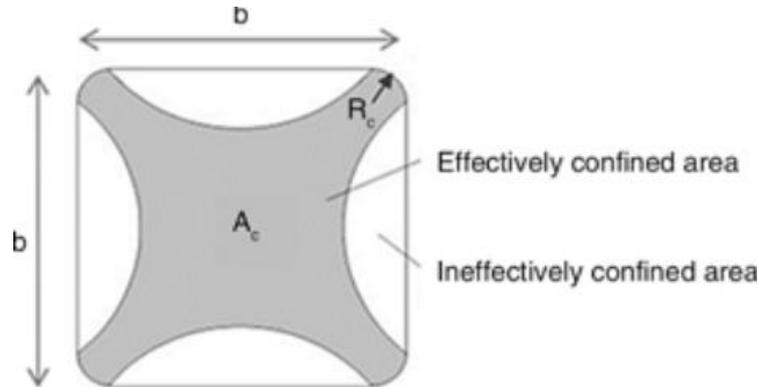


Figura 214 Factor de forma para secciones cuadradas.
Fuente: Papanicolau 2006.

6.4.3.- Ensayos de Vigas Sometidas a Esfuerzo de Flexión.

D'Ambrisi & Focacci (2011) realizaron tres tipos de ensayos a flexión en vigas de hormigón armado reforzadas mediante FRCM, para estudiar el comportamiento de las mallas de fibras de carbono (C-FRCM) y PBO (poliparafenilenbenzobisoxazole, PBO-FRCM), con diferentes disposiciones, número de capas de refuerzo y calidades de matrices.

En la figura 216 se muestra el montaje experimental y la disposición de mallas de refuerzo, respectivamente, para uno de los tipos de ensayos que realizaron.

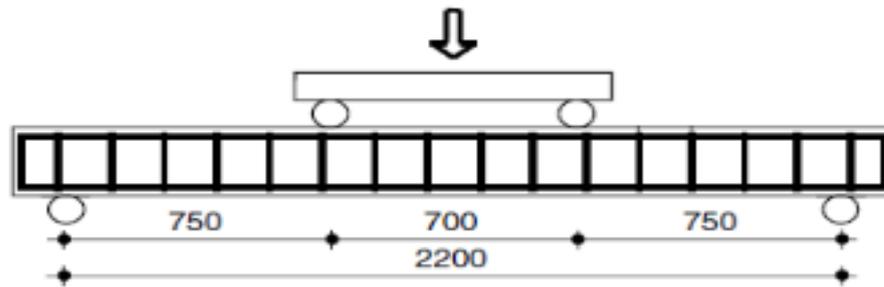


Figura 215 Montaje experimental.
Fuente: C' Ambrisi & Focacci 2011.

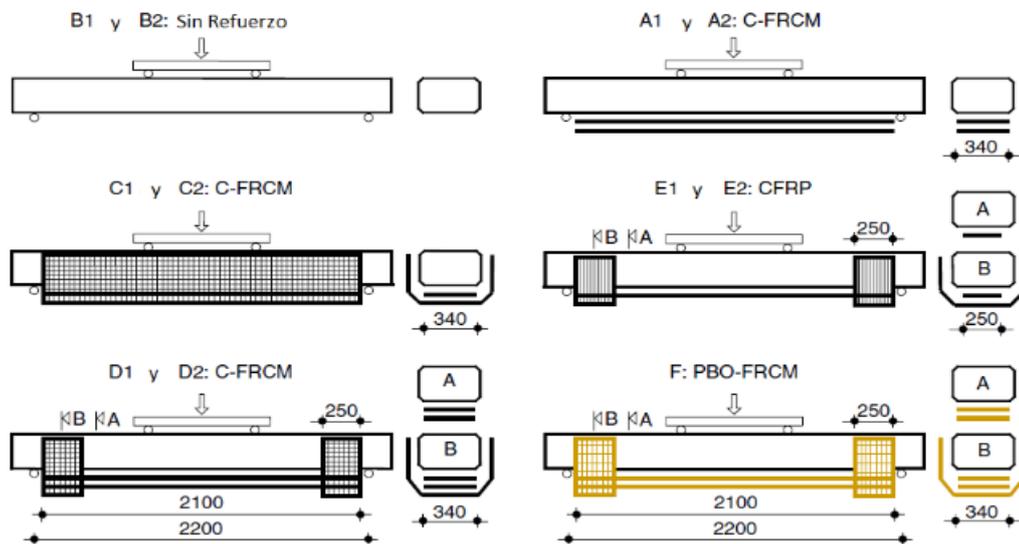


Figura 216 Disposición fibras.
Fuente: C' Ambrisi & Focacci 2011.

Las vigas reforzadas presentaron los siguientes cuatro modos de falla (ver figura 217):

- Desprendimiento frágil del sistema de refuerzo con fractura en el hormigón.
- Deslizamiento de las fibras dentro de la matriz con deformación del refuerzo.
- Desprendimiento frágil del material de refuerzo en la interfaz matriz/hormigón, en el plano de la unión.
- Delaminación de la capa de la malla, con fractura en la interfaz con la matriz, precedido por un deslizamiento relevante entre la fibra y la matriz.

Los modos de falla y su correspondiente curva carga-deformación, se presentan en figura 218 y 219, respectivamente.

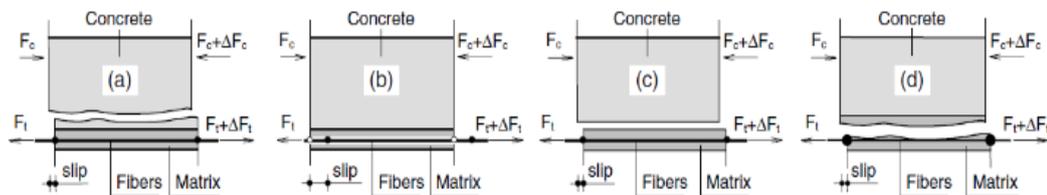


Figura 217 Modo de falla a flexión.
Fuente: C' Ambrisi & Focacci 2011.

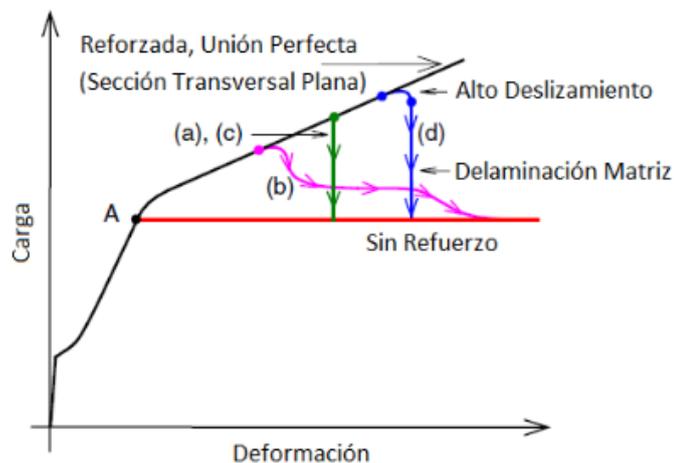


Figura 218 Carga vs deformación esquemática modos de falla.
Fuente: C' Ambrisi & Focacci 2011.

Los modos de fallas a), c) y d) corresponden a fallas frágiles, no deseables, mientras que el b) es una falla más dúctil. La falla a) se presentó en los especímenes CFRP y la c) en los C-FRCM, sin refuerzo al corte en las caras laterales (U-wrap) en los extremos. Por otro lado el modo de falla b) fue característico de los especímenes C-FRCM y se manifiesta por una disminución de la carga en la curva carga-deformación, especialmente en los especímenes C y D (dos capas de fibras). Esto se puede explicar por la pérdida gradual de la unión entre las fibras y la matriz hasta alcanzar la falla por deslizamiento de la fibra con respecto a la matriz.

En relación a la diferente disposición de las fibras, en la figura 220, se muestra la curva carga-deformación para diferentes configuraciones. El espécimen C posee refuerzo en forma de U continuo, el D lo tiene sólo en los extremos y el A no posee refuerzo transversal. Éste último fue el único que falló mediante un modo de falla frágil, a). Los otros dos fallaron con el modo b). A partir del gráfico se puede observar que todos alcanzaron valores similares en cuanto a capacidad, siendo el espécimen C un 18% superior, debido al refuerzo continuo lateral.

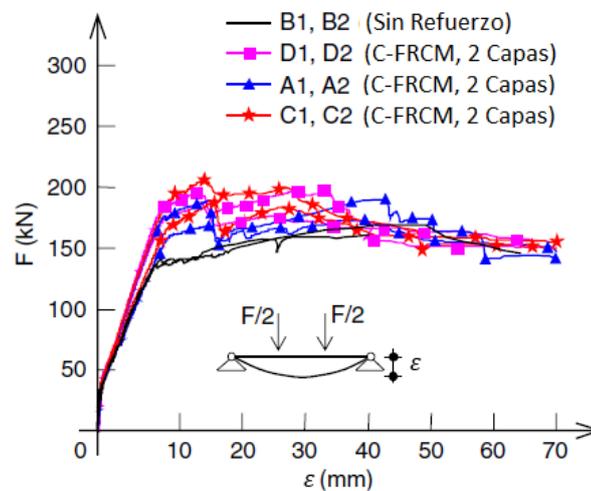


Figura 219 Carga – Deformación según disposición de refuerzo.
Fuente: C' Ambrisi & Focacci 2011.

Finalmente, se concluyó que la pérdida de capacidad del refuerzo está determinada, en la mayoría de los casos, por el deslizamiento entre las fibras y la matriz, por lo que el óptimo diseño de la matriz es vital en el mejoramiento de las propiedades de adherencia entre la malla y el mortero del refuerzo, y por lo tanto en el desempeño del refuerzo, favoreciendo un modo de falla dúctil y un aumento de la capacidad resistente del elemento.

6.4.4.- Análisis de Precios Unitarios.

El APU (Análisis de Precios Unitarios) es un modelo matemático que adelanta el resultado, expresado en moneda, de una situación relacionada con una actividad sometida a estudio. También es una unidad dentro del concepto "Costo de Obra",

ya que una Obra puede contener varios Presupuestos. El "Presupuesto" es la suma del producto "Precio Unitario" * "Cantidad". Cada "Presupuesto" contiene uno o varias "Partidas". La "Partida" se puede definir como "actividad a realizar".

Este modelo matemático se basa en la agrupación de los componentes descritos en 3 renglones: Materiales, Equipos y Mano de Obra. A pesar de ser un modelo matemático, que sugiere ser objetivo, desligado de sentimientos y otras influencias, incluye conceptos como el de "Rendimiento" que se entiende como: "la cantidad de obra realizada en un día, con el personal indicado, utilizando las herramientas y equipos indicados, en algunos casos son totalmente discrecionales y sometidos a cualquier clase de influencia, sobretodo en actividades no documentadas o no estudiadas. Análogamente, se incluyen el "Factor de Rendimiento" que pondera los renglones de Equipos y Mano de Obra para racionalizarlos, Porcentajes de Costo Indirecto e Impuestos. Existe también la situación en donde se utilice el rendimiento para "llegar" a un precio deseado.

6.5.- DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.

Si un elemento de concreto armado es fortalecido con un sistema de refuerzo FRCM, la forma en la que trabajará el elemento compuesto dependerá de la forma de colocación que se le dé a la misma, en nuestro caso los tipos de aplicación del refuerzo que utilizamos fueron: para las columnas concéntricas de concreto armado, usamos un encamisado del elemento estructural y en las vigas ubicamos el refuerzo en forma de U continua, los cuales fueron colocados siguiendo los siguientes procesos:

6.5.1.- Vigas.

- El sistema FRCM fue colocado después de haber transcurrido 7 días de la fundición este sistema consta de tejido de cabuya previamente colocado resina poliéster para proteger la fibra del deterioro dentro de la matriz cementicia e incrementar resistencia.

- Antes de ser colocada la fibra se debe colocar en una bandeja grande y embeber la fibra en una lechada para que no absorba la fibra el agua del mortero.
- Humedecer la superficie donde se colocara el material compuesto, para evitar que absorba agua del mortero.
- Aplicar una capa delgada de mortero sobre la superficie asegurándonos que exista un espesor constante a nivel de toda la superficie.
- Compactar el mortero embebiendo la pasta con la ayuda de las manos, para que esta penetre y pueda ocupar todos los espacios y eliminar las burbujas de aire atrapadas por el mezclado.
- Cubrir cada layer con mortero presionando sobre cada tejido de manera que la pasta se incruste lo mejor posible en el layer.
- Repetir el proceso hasta llegar al tercer layer, enrasar la superficie. Después de un momento regar agua para evitar el agrietamiento del mortero.
- Se colocó 3 layers de tejido de cabuya con las dimensiones de 140 cm de largo y 12 cm de ancho para las primeras capas y la última capa es un sistema en U continua de 17cm * 13cm * 17cm que rodea todo el peralte de la viga y la cara inferior donde nos ayudó a mejorar la adherencia e incrementar resistencia del mismo.

6.5.2.- Columnas.

- El sistema FRCM fue colocado después de haber transcurrido 7 días de la fundición este sistema consta de tejido de cabuya.

- Antes de ser colocada la fibra se debe colocar en una bandeja grande y embeber la fibra en una lechada para que no absorba la fibra el agua del mortero.
- Humedecer la superficie donde se colocara el material compuesto, para evitar que absorba agua del mortero.
- Colocar la placa de acero de refuerzo de 90 cm de largo y 1 cm de ancho con 4 pernos que anclaran el material compuesto a las columnas.
- Aplicar una capa delgada de mortero sobre la superficie asegurándonos que exista un espesor constante a nivel de toda la superficie.
- Compactar el mortero embebiendo la pasta con la ayuda de las manos, para que esta penetre y pueda ocupar todos los espacios y eliminar las burbujas de aire atrapadas por el mezclado.
- Cubrir cada layer con mortero presionando sobre cada tejido de manera que la pasta se incruste lo mejor posible en el layer.
- Repetir el proceso hasta llegar al tercer layer en fibra de cabuya, enrasar la superficie. Después de un momento regar agua para evitar el agrietamiento del mortero.
- En las columnas se realizó un encamisado en toda la sección con dimensiones de 90cm de alto y en 10cm, este sistema nos ayuda a evitar que al momento de aplicar carga el concreto tenga reacción explosiva e incrementar resistencia y adherencia.

Posteriormente se realizó los ensayos de compresión y flexión, mediante los siguientes procesos:

6.5.3.- Flexión en vigas.

- Las vigas son pintadas de color blanco, con el objeto de visualizar las fallas que se producen por el incremento de carga en la zona de flexión.
- Colocar los apoyos de la viga a una distancia de 5 cm del filo de la viga, quedando una distancia de 140cm de apoyo a apoyo, controlar que los apoyos se encuentren totalmente estáticos y alineados.
- Colocar la viga encima de los apoyos de manera que quede totalmente alineada horizontal y verticalmente respecto a los rodillos superiores tomando en cuenta que los apoyos no topen con el material compuesto, los rodillos superiores deben estar a los tercios de la viga.
- Empezar con el ensayo, aplicar la carga lentamente en el inicio para poder tomar lecturas iniciales y luego aumentar la presión. La carga se encuentra en Newtons.
- La finalización del ensayo se marca cuando el deformímetro que mide la deflexión de la viga ya no entrega datos. Se registran datos de carga y deformación.

6.5.4.- Compresión en Columnas.

- Las columnas son pintadas de color blanco, con el objeto de visualizar las fallas que se producen por el incremento de carga en toda su longitud.
- Colocar en la parte superior una placa y sobre ella una ménsula que servirá como apoyo.
- Alinear correctamente la columna para que la carga sea aplicada uniformemente en el centro de la columna.

- Colocar los 4 deformímetros Humboldt de una pulgada de recorrido con sus respectivos soportes, para tomar las mediciones de: deformación longitudinal, y deformación por pandeo de la columna.
- Empezar con el ensayo, aplicar la carga lentamente en el inicio para poder tomar lecturas iniciales y luego aumentar la presión. La carga se encuentra en Newtons.
- La finalización del ensayo se marca cuando el deformímetro que mide la deformación ya no marca o la carga disminuye bruscamente. Se registran datos de carga y deformación

Luego se realizó un análisis de precios unitarios por metro cuadrado del sistema FRCM con fibra natural (cabuya) y se comparó con un análisis de precios unitarios de un sistema FRCM a base de fibra de vidrio, para determinar el costo que tendría la colocación de nuestro sistema de refuerzo en elementos estructurales.

Con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y de los costos del sistema de reforzamiento, procederemos a realizar un análisis de costo-beneficio, para realizar una comparación al utilizar fibra natural (cabuya) y fibra de vidrio.

Hay que mencionar también que todo el proceso se realizó en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

6.6.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL USO DE SISTEMAS FRCM A BASE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A COMPRESIÓN.

Tabla 61 Resumen de ensayo a compresión de columnas con carga concéntrica.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
RESUMEN DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE COLUMNAS CON CARGA CONCÉNTRICA				
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
SIN REFUERZO FRCM	CARGA MÁXIMA [N]	180147.00000	3184.17619	11.179
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	6.02000	0.42056	11.768
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	17.28072	0.60499	11.781
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.00679	0.00049	10.511
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
REFUERZO FRCM A BASE DE FIBRA DE CABUYA	CARGA MÁXIMA [N]	349965.750	11421.775	3.264
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	11.250	1.385	12.365
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	33.723	1.093	3.240
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.013	0.002	12.457
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
REFUERZO FRCM A BASE DE FIBRA DE VIDRIO	CARGA MÁXIMA [N]	357484.500	14659.393	4.101
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	11.923	1.598	13.399
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	34.456	1.546	4.487
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.013	0.002	13.441

Tabla 62 Normalización de resultados en base de las columnas ensayadas a compresión axial.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		ESCUELA DE ING. CIVIL	
FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
NORMALIZACIÓN DE RESULTADOS EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DE COLUMNAS SIN REFUERZO					
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN MÁXIMA	DEFORMACIÓN A PANDEO MÁXIMA	ESFUERZO MÁXIMO	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁXIMA
COLUMNAS SIN REFUERZO FRCM	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COLUMNAS CON REFUERZO FRCM DE CABUYA	1.94	1.86	0.94	1.95	1.86
COLUMNAS CON REFUERZO FRCM DE VIDRIO	1.98	1.98	0.87	1.99	1.98

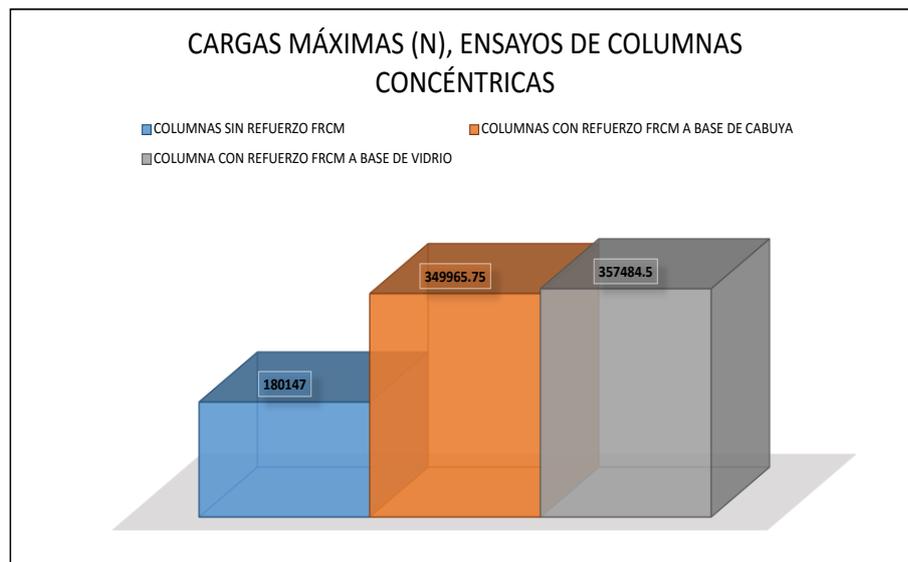


Figura 220 Cargas máximas (N), ensayos de columnas concéntricas.

6.7.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL USO DE SISTEMAS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA.

Tabla 63 Normalización de resultados en base de las vigas ensayadas a flexión pura.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
RESUMEN ENSAYO A FLEXIÓN PURA EN VIGAS A ESCALA				
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
SIN REFUERZO FRCM	CARGA MÁXIMA [N]	31317.250	36.942	11.179
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	39.578	40.538	11.768
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	11.310	41.107	11.781
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.229	39.726	10.511
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
REFUERZO FRCM A BASE DE FIBRA DE CABUYA	CARGA MÁXIMA [N]	39228.750	2949.427	7.519
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	62.946	3.135	4.981
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	14.591	1.148	7.870
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.371	0.019	5.073
TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
REFUERZO FRCM A BASE DE FIBRA DE VIDRIO	CARGA MÁXIMA [N]	55973.750	2270.910	4.057
	DEFORMACIÓN MÁXIMA [mm]	45.149	3.021	6.690
	ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	20.875	1.098	5.261
	DEF. UNITARIA MÁXIMA [mm/mm]	0.266	0.017	6.526

Tabla 64 Normalización de resultados en base de las vigas ensayadas a flexión pura.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL				
NORMALIZACIÓN DE RESULTADOS EN BASE DE LAS VIGAS ENSAYADAS A FLEXIÓN PURA				
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	DEFORMACIÓN MÁXIMA	ESFUERZO MÁXIMO	DEF. UNITARIA MÁXIMA
VIGAS SIN REFUERZO FRCM	1.000	1.000	1.000	1.000
VIGAS CON REFUERZO FRCM DE CABUYA	1.250	1.590	1.290	1.620
VIGAS CON REFUERZO FRCM DE VIDRIO	1.780	1.140	1.840	1.160

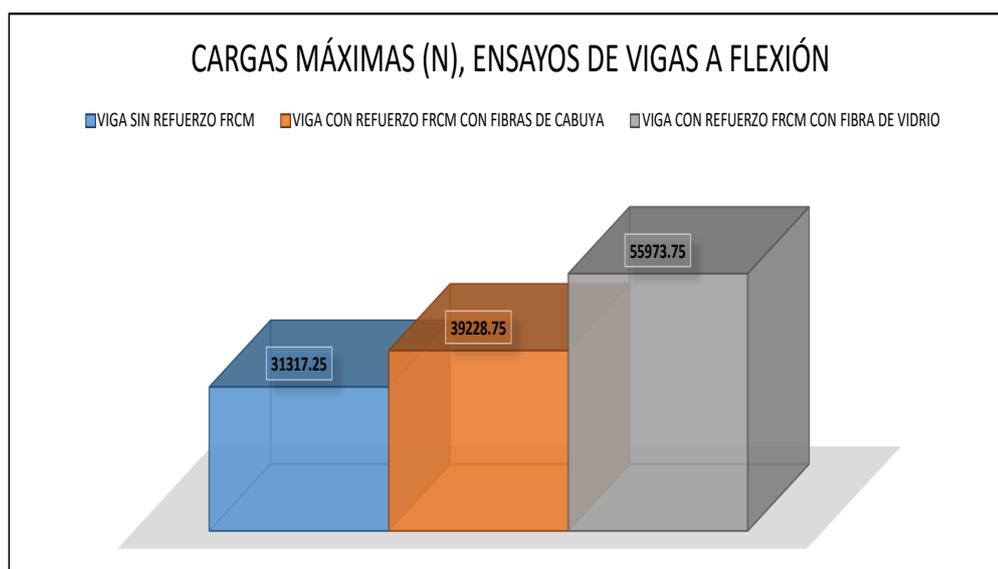


Figura 221 Cargas máximas (N), ensayos de vigas a flexión.

6.8.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS POR m² DE MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE CABUYA.

Tabla 65 Análisis de precio unitario del sistema FRCM cabuya.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO				
ÁNÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DEL SISTEMA FRCM DE CABUYA				
RUBRO: MATERIAL COMPUESTO CON TEJIDO DE CABUYA				UNIDAD: M2
EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO
Herr. Menor 5%	Glob.			0.17
PARCIAL M /m2				0.17
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	COSTO
Albañil	0.80	3.13	2.50	2.50
Peon	0.50	1.88	0.94	0.94
PARCIAL N/m2				3.44
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PREC. UNIT.	COSTO
Cemento	kg	25.60	0.15	3.84
Arena	kg	28.00	0.54	15.12
Agua	kg	12.00	0.0006	0.01
Tejido de Cabuya	m2	3.00	3.36	10.08
Plastificante	kg	0.24	0.22	0.05
PARCIAL O /m2				29.10
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O)				32.71
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25%				8.18
COSTO TOTAL DEL RUBRO POR M2				40.89

6.9.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE VIDRIO.

Tabla 66 Análisis de precios unitarios sistema FRCM vidrio.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
ÁNALISIS DE PRECIO UNITARIO SISTEMA FRCM DE VIDRIO				
RUBRO: MATERIAL COMPUESTO CON TEJIDO DE VIDRIO				UNIDAD: M2
EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	COSTO
Herr. Menor 5%	Glob.			0.17
PARCIAL M/m2				0.17
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	COSTO
Albañil	0.8	3.125	2.5	2.5
Peon	0.5	1.875	0.9375	0.9375
PARCIAL N/ m2				3.44
MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PREC. UNIT.	COSTO
Cemento	kg	25.60	0.15	3.84
Arena	kg	28.00	0.54	15.12
Agua	kg	12.00	0.0006	0.01
Tejido de Vidrio	m2	2.00	8.33	16.66
Plastificante	kg	0.24	0.22	0.05
PARCIAL O/m2				35.68
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O)				39.29
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25%				9.82
COSTO TOTAL DEL RUBRO POR M2				49.11

6.10.- ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO.

En el ensayo de columnas a compresión bajo carga axial pura, pudimos observar que la capacidad de carga en sistemas FRCM a base de fibras de cabuya es similar al sistema FRCM a base de fibras de vidrio y que el costo de los refuerzos a base de fibra natural son más económicos que los refuerzos a base de fibra mineral.

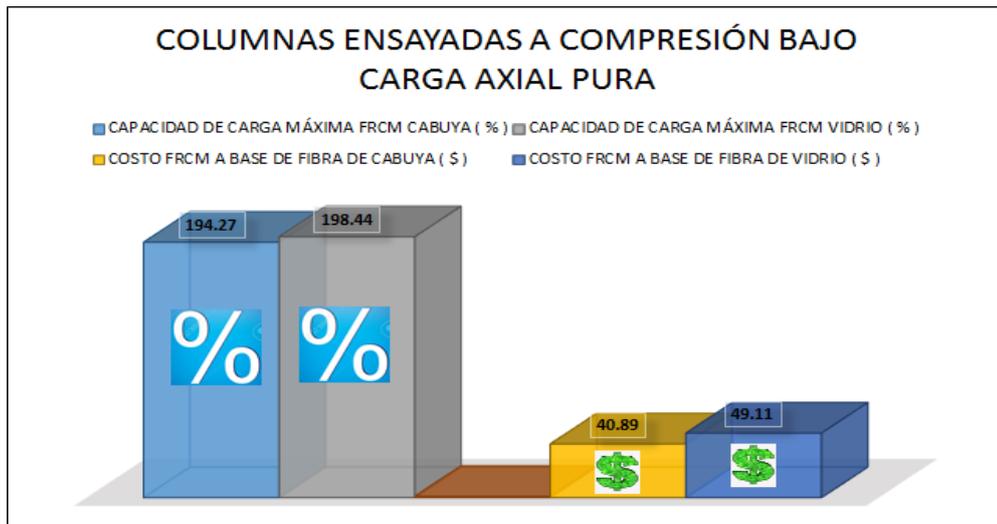


Figura 222 Columnas ensayadas a compresión bajo carga axial pura.

Ecuación 128

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}}(\text{cabuya}) = \frac{194.27}{40.89} = 4.751$$

Ecuación 129

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}}(\text{vidrio}) = \frac{198.44}{49.11} = 4.041$$

Al realizar el análisis costo/beneficio pudimos determinar que utilizar un sistema FRCM a base de fibra de cabuya sería la mejor opción en columnas, ya que obtuvimos un costo/beneficio de 4.751, frente a un costo/beneficio del sistema FRCM a base de fibra de vidrio de 4.041.

- En el ensayo de vigas a flexión en cuatro puntos bajo carga axial pura, pudimos observar que la capacidad de carga en sistemas FRCM a base de fibras de cabuya es inferior al sistema FRCM a base de fibras de vidrio y

que el costo de los refuerzos a base de fibra natural son más económicos que los refuerzos a base de fibra mineral.

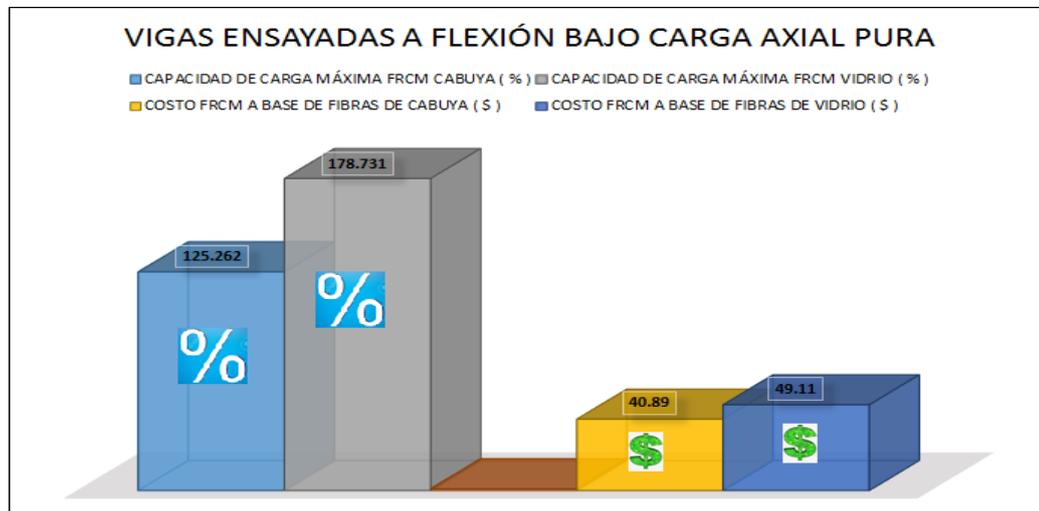


Figura 223 Vigas ensayadas a flexión bajo carga axial pura.

Ecuación 130

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}}(\text{cabuya}) = \frac{125.262}{40.89} = 3.063$$

Ecuación 131

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}}(\text{vidrio}) = \frac{178.731}{49.11} = 3.639$$

Al realizar el análisis costo/beneficio pudimos determinar que utilizar un sistema FRCM a base de fibra de vidrio sería la mejor opción en vigas, ya que obtuvimos un costo/beneficio de 3.639, frente a un costo/beneficio del sistema FRCM a base de fibra de cabuya de 3.063.

- En el ensayo de flexión pudimos observar que el refuerzo FRCM a base de fibra de cabuya distribuye la carga de una mejor manera que el refuerzo FRCM a base de fibras de vidrio. Aunque los dos sistemas FRCM favorecen la capacidad de deformación del elemento reforzado debido a la formación de las grietas y su distribución en el elemento. Como se puede observar la

formación de grietas es mayor en el caso del FRCM de cabuya, y es así que los elementos reforzados con este material tienen mayor capacidad de deformación.



Figura 224 Viga con sistema FRCM cabuya vs viga con sistema FRCM vidrio.

En ensayo de compresión bajo carga axial pura pudimos evidenciar que tanto el encamisado con sistema FRCM a base de fibras de cabuya y el encamisado con sistema FRCM a base de fibras de vidrio nos ayudaran a evitar el comportamiento explosivo de la columna, pero luego del ensayo pudimos observar que el material compuesto a base de fibras de vidrio se desprendió, a diferencia del material compuesto a base de fibras de cabuya que no se desprendió.



Figura 225 Ensayo de columnas sin refuerzo FRCM, columnas con FRCM Vidrio y cabuya.

La fibra de cabuya es un material natural, que se lo elabora con una planta de Los Andes que es fácil de adquirir, la ventaja de usar fibra de cabuya es que es un material ecológico y no contamina el ambiente.



Figura 226 Cabuya y su fibra.
Fuente: Simbaña 2006.

En el ensayo de flexión pudimos evidenciar que el sistema FRCM a base de fibra de cabuya es más dúctil que un sistema FRCM a base de fibra de vidrio.

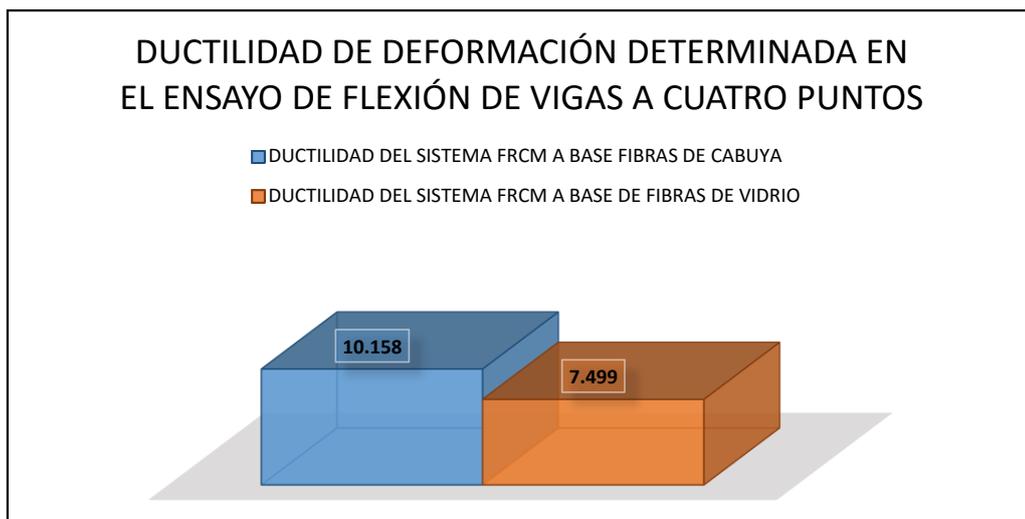


Figura 227 Ductilidad determinada en el ensayo de flexión de vigas a cuatro puntos.

En el ensayo de compresión pudimos evidenciar que el sistema FRCM a base de fibra de cabuya tiene una ductilidad similar a la de un sistema FRCM a base de fibra de vidrio.

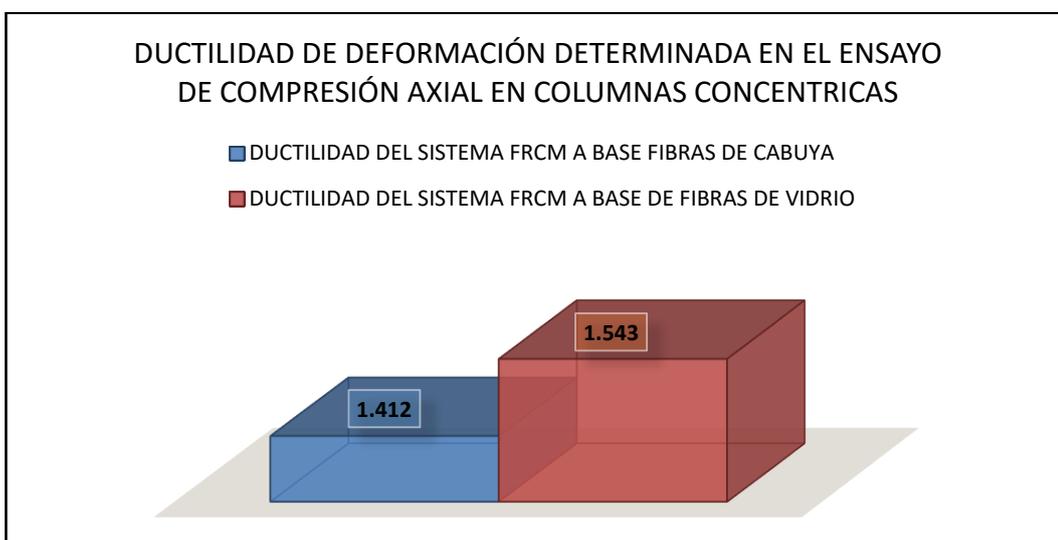


Figura 228 Ductilidad determinada en el ensayo de compresión.

6.11.- DISEÑO ORGANIZACIONAL.

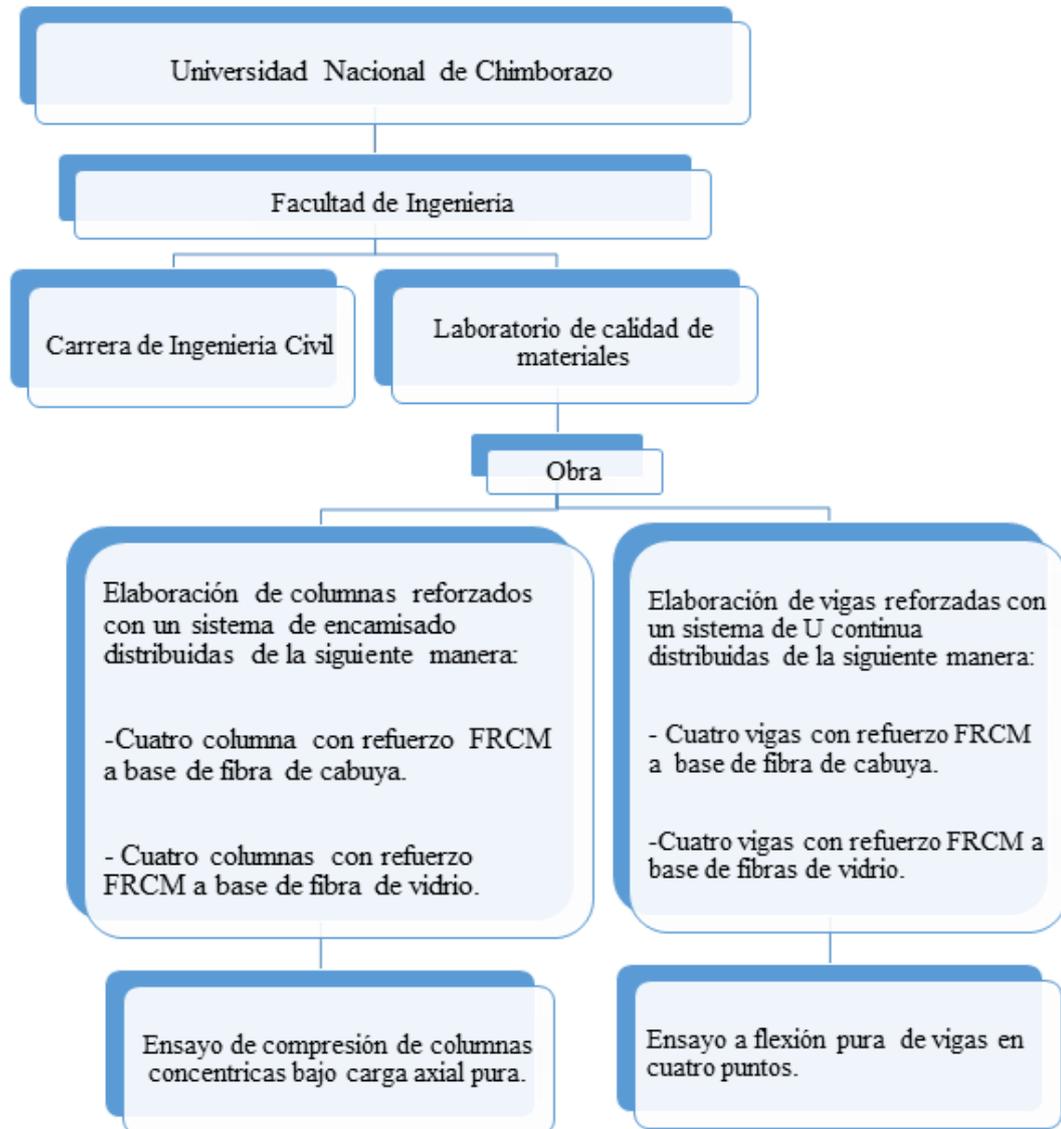


Figura 229 Diseño Organizacional.

6.12.- MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.

6.12.1.- Cuales son los problemas.

Inadecuado comportamiento de los elementos estructurales (vigas y columnas) por diversos motivos, entre ellos:

- Fallas de los elementos estructurales.
- Cálculos mal realizados.
- Elaboración de los elementos estructurales en forma aleatoria.
- Porque la construcción ha rebasado el tiempo de su vida útil.
- Elaboración de ambientes nuevos dentro de la construcción que no fueron considerados.
- Desastres naturales como: sismos, inundaciones, entre otras.

6.12.2.- Como se puede enfrentar.

Se pueden enfrentar mediante la colocación de sistemas de refuerzos FRCM en los elementos estructurales.

6.12.3.- Cuales son los logros.

Entre sus logros se encuentran:

- Refuerzo de los pilares de un muelle costero en la ciudad de Novosibirsk, Rusia.
- Reparación de los apoyos de un puente de línea de metro en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos.
- Refuerzo de una chimenea en un antiguo aserradero en la municipalidad de Gerardmer, Francia.

6.12.4.- Como se puede consolidar.

Es sistema FRCM se podría consolidar, encontrando un tejido económico que nos brinde resultados similares a los sistemas FRCM tradicionales, que utilizan fibras muy costosas.

6.12.5.- Cual es el impacto de las actividades desarrolladas en la propuesta.

Mediante nuestra propuesta pudimos demostrar que se puede utilizar fibras naturales en los sistemas FRCM, en específico la fibra de cabuya con la cual reforzamos elementos estructurales y los ensayamos. Estos resultados los comparamos con elementos estructurales que fueron reforzados con fibras tradicionales (vidrio). Los resultados fueron muy satisfactorios por lo que podemos afirmar que la utilización de la fibra de cabuya en sistemas FRCM, serían un gran impacto en la industria de la construcción, ya que son materiales económicos y naturales, por lo que no se contaminaría el ambiente.

En especial los sistemas de encamisado en columnas y U continua en vigas nos permitieron obtener varias ventajas como: mejoró la capacidad de carga máxima, mejoró la ductilidad de deformación, se mejoró la adherencia.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda D. (2012). *Elementos reforzados para aumentar su capacidad a compresión*. Universidad de Miami. EEUU

- ASTM C127: *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C128: *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C136: *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C138: *Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C143: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C231: *Contenido de aire del hormigón fresco. Método de presión*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C 496: *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. American Society for Testing Materials.

- ASTM C 1275: *Standard Test Method for Monotonic Tensile Behavior of Continuous Fiber-Reinforced Advanced Ceramics with Solid Rectangular Cross-Section Test Specimens at Ambient Temperature*.

- ASTM C 1403: *Standard Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars*. American Society for Testing Materials.
- ASTM C 1341: *Standard Test Method for Flexura Properties of Continuous Fiber – Reinforced advanced Ceramic Composites*.
- ASTM C 1585: *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. American Society for Testing Materials.
- D'Ambrisi.A. & Focacci.F. (2011). *Design Procedures for the Use of Composites in Strengthening of Reinforced*. Italia
- INEN: 109. (2009). *Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente*.
- INEN: 158. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado*. 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: 488. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación 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 (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- INEN: 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN: 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN: 1578. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN: 2502. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de flujos en morteros*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- ISO: 1889. (2009). *Determination of mass per unit area*. Organización Internacional de Estandarización.
- ISO: 2062. (2009). *Exiles -- Yarns from packages -- Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension*. Organización Internacional de Estandarización.
- ISO: 3344. (1997). *Determination of moisture content*. Organización Internacional de Estandarización.
- ISO: 3374. (2000). *Determination of mass per unit area*. Organización Internacional de Estandarización.
- ISO: 4606. (1995). *Textile glass – Woven fabric – Determination of tensile breaking force and elongation at break by the strip method*. Organización Internacional de Estandarización.
- Martínez M. (2016). *Guía para el diseño de refuerzos de elementos estructurales de hormigón armado mediante material compuesto por mallas de fibras minerales enbebidas en matriz cementicia (FRCM)*. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

- McCormac J. (2011). *Diseño de Estructuras de Hormigón Armado*, Distrito Federal, México: John Wile. Tercera Edición.
- Napoleón A. (2012). *Materiales Compuestos de Materiales Reforzados*, Barcelona, España: Universidad Carlos V.
- Recuero H. (1997). *Los materiales compuestos y sus aplicaciones en el refuerzo a cortante de estructuras*. San Sebastián, España: INASMET.
- Romero P. (2010). *Estadística*, Riobamba, Ecuador: Sexta Edición.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*, Quito, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- Rosero F. (2013). *Reforzamiento de estructuras de hormigón armado con FRP, aplicación al caso de una losa y columnas de un salón de audiovisuales y un auditorio*. ESPE, Quito.
- Simbaña A. (2006). *Fibras Naturales, Alternativa para el desarrollo Nacional*. Campiñas, Brasil: Banderas.
- Tumialan S. (2015). *Propiedades de filamentos típicos de telas disponibles en el mercado*. DF, México: Campiñas.
- Triantafillou.C. Papanicolaou.T. (2006); *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil*. Italia.

WEBGRAFÍA

- Follis, M. (2002). *Hormigón reforzado con fibra de vidrio*. Recuperado de <http://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.02.01Hormigon%20con%20fibra%20de%20vidrio.pdf>.
- González, C. (1965). *Capítulo de Tejeduría en Guanga Inga y Camëntsá*. Recuperado de <http://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/bitstream/001/2810/1/INST-D%202013.%20173.pdf>.
- Pellegrino, W. (2013). *Formulario para la recolección de datos e información*. Recuperado de https://www.fing.edu.uy/civil/paginas/evaluacion_de_carrera/Doc%20inf%20civil.pdf.
- Rodriguez, E. (2014). *Ensayos destructivos*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/zephiroth2007/ensayo-de-compresion-7827184>.
- Smith, W. (1998). *Fibras y materiales de refuerzo: los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3d*. Recuperado de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/OCT11/garcia.pdf>.
- Tapia, W. (2007). *Análisis de conexiones viga*. Recuperado de <http://ia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/02/Conexiones-viga-columna.pdf>.
- Turmero, P. (2008). *Fibras naturales y biocomposites*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos104/fibras-naturales-y-biocomposites/fibras-naturales-y-biocomposites.shtml>.

ANEXOS

ANEXO 1

IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.

(ANTEPROYECTO)

PROBLEMATIZACIÓN

Los materiales compuestos se consideran después de la segunda guerra mundial y, a partir de 1940, por su excelente comportamiento, adicionalmente se implementan en otros campos como la construcción civil en tres frentes principales de investigación: Japón se enfoca en la prefabricación, en pretensado y en refuerzo contra sismo; en América del Norte se trabaja en la durabilidad de las construcciones y, en Europa, se encaminan los estudios a la rehabilitación de la infraestructura y del patrimonio histórico.

Uno de los problemas más importantes del FRP (Fiber Reinforced Polymer) es el alto costo de la materia prima, pero de alguna manera esto se compensa con el bajo costo de equipamiento y mano de obra necesarios en el proceso de preparación, ensamblado y colocación del FRP en los elementos de hormigón a reforzar.

El FRP es una excelente opción para el reforzamiento de estructuras, pero no es la respuesta a todos los problemas que se presentan. Por tratarse de un sistema que va adherido externamente al hormigón mediante una formulación epóxica, se requiere un mayor cuidado en la preparación de la superficie de contacto. Uno de los modos de falla que se considera es el desprendimiento del material, cuando existen esfuerzos de flexión y cortante.

El sistema FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites) es un sistema de reforzamiento innovador no tradicional y con varias ventajas frente al reforzamiento con materiales FRP, entre las ventajas importantes de los materiales FRCM es que son resistentes al fuego, pueden ser aplicados en superficies húmedas, permiten la transpiración y evaporación de agua, son de fácil instalación, entre otros. (ACI 549 -4R, 2013). Entre las desventajas de este tipo de materiales se encuentran las siguientes: su limitada comercialización, la dificultad para impregnar cada una de las fibras (a diferencia de una resina polimérica) y la escasa documentación y códigos de diseño acerca de estos materiales.

Las fibras tradicionales más utilizadas en el campo de la construcción a nivel de la historia son: la fibra de carbono, fibra de vidrio y fibra de cabuya, estas fibras son muy buenas para reforzamiento estructural pero no son la solución a todos los problemas. Debido que contienen algunas desventajas como: estas fibras, si se colocan de una manera incorrecta conllevarán a serias fallas estructurales, estas

fibras no son ecológicas y su comercialización es limitada debido al costo elevado de la materia prima.

Debido a estas desventajas es necesario realizar un estudio más profundo de fibras naturales que existan en la zona y su costo sea relativamente más económico y puedan ser usadas en el campo de la construcción. Entre las fibras naturales tenemos a la fibra de cabuya que sería una excelente opción para el refuerzo, pero su problema sería el envejecimiento prematuro ante la intemperie o al paso del tiempo cuando está en contacto con una matriz cementicia.

El presente trabajo de graduación se encuentra dirigido a estudiar la eficacia de un sistema compuesto FRCM a base de fibras de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de columnas y vigas de concreto reforzado y comparar estos resultados con los obtenidos usando un sistema compuesto reforzado con fibras de vidrio.

ANÁLISIS CRÍTICO

Las fibras de vidrio y carbono, entre otros, usados para el refuerzo de elementos estructurales, llegaron al país hace 20 años aproximadamente, pero debido a su costo y escasa distribución, su uso es limitado en el país.

Por otra parte, la fibra de cabuya (textil), se obtiene de una planta nativa del Ecuador que se encuentra a lo largo del callejón interandino formando linderos. Esta fibra es extraída de la hoja de cabuya (FURCRAEA ANDINA), fácil de obtener, la cual nos servirá para obtener un refuerzo para sistemas compuestos a base de una matriz cementicia. Este sistema es más económico y brinda sustentabilidad en la industria de la construcción.

Por lo tanto, nuestro estudio se centrará en la aplicación de este sistema para el fortalecimiento de vigas y columnas de concreto, que por diversos motivos necesitan mejorar sus propiedades mecánicas. Los problemas estructurales en este tipo de elementos son frecuentes y principalmente se debe a sobrecargas, errores de diseño y construcción, cambio en el uso de la edificación, presencia de eventos sísmicos, entre otros. De esta manera, al realizar una comparación entre el uso de fibra de vidrio y fibra de cabuya para fortalecer estos elementos se determinaría la factibilidad de su uso en la construcción.

PROGNÓISIS

Con nuestro proyecto ayudaremos de gran manera al campo de la Ingeniería Civil y Arquitectura, ya que esta idea se podría aplicar en varias circunstancias como la restauración de edificaciones, corregir diseños mal realizados o problemas estructurales presentes luego de un sismo.

DELIMITACIÓN

Este estudio considera únicamente el uso de materiales compuestos a base de una matriz de cemento Portland y tejidos de fibras naturales de cabuya y tejido de fibras minerales de vidrio. La delimitación del presente estudio consiste en comparar los resultados obtenidos al usar estos sistemas de refuerzo en vigas y columnas de concreto armado en términos de sus propiedades mecánicas. Los ensayos conllevarán pruebas en columnas de concreto armado, columnas de concreto armado reforzadas con un material compuesto a base de fibra de vidrio y columnas de concreto armado reforzadas con un material compuesto a base de fibra de cabuya. Además se realizará pruebas en vigas de concreto armado, vigas de concreto armado reforzadas con un material compuesto a base de fibra de vidrio y vigas de concreto armado reforzadas con fibra de cabuya, cada una de estas sometidas a ensayos de flexión y las columnas a ensayos de compresión concéntrica.

El estudio experimental se llevará a cabo en la Universidad Nacional de Chimborazo; la fibra de vidrio será adquirida en la fábrica SUMIGLAS S.A. (Ubicada en la ciudad de Bogotá y Medellín); los agregados pétreos se obtendrá de la cantera CERRO NEGRO de la ciudad de RIOBAMBA; se trabajará con cemento CHIMBORAZO y agua de la red pública de la ciudad de RIOBAMBA.

Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de Control de Calidad de Materiales y en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Nacional de Chimborazo (Campus Edison Riera Rodríguez). Se estudiarán las propiedades mecánicas de los tejidos y de los morteros usados para preparar la matriz del material compuesto y del concreto de las columnas y vigas.

No se cuenta con investigaciones previas sobre el refuerzo de vigas y columnas con materiales compuestos FRCM producidos con materiales propios de la zona y con fibras de cabuya y vidrio. Sin embargo, existen investigaciones de refuerzos a elementos estructurales realizados con materiales compuestos tradicionales usando fibras de carbono y otras fibras sintéticas llevadas a cabo internacionalmente, por lo que nos basaremos en las mismas para iniciar nuestro propio estudio.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El uso de un material compuesto FRCM a base de tejidos de fibras de cabuya permite mejorar las propiedades mecánicas de columnas y vigas de concreto armado de un manera eficaz, al comparar los resultados con los obtenidos usando fibras de refuerzo tradicional como el caso de un tejido de fibra de vidrio?

OBJETIVOS

2.6.1.- General.

- ✓ Usar sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya y vidrio para el fortalecimiento de columnas y vigas de concreto reforzados.

2.6.2.- Específicos:

- ✓ Estudiar las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los materiales usados en la investigación.
- ✓ Caracterizar las propiedades mecánicas del sistema compuesto FRCM a base de fibras de vidrio y cabuya.
- ✓ Estudiar el comportamiento mecánico de vigas y columnas de concreto armado.
- ✓ Aplicar un sistema de reforzamiento FRCM en columnas y vigas de concreto armado para mejorar sus propiedades mecánicas.

- ✓ Comparar los resultados obtenidos al usar fibras de cabuya y vidrio para fortalecer columnas y vigas de concreto armado.
- ✓ Analizar numéricamente el comportamiento mecánico de vigas y columnas reforzadas con material compuesto FRCM.

HIPOTESIS

Los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de fibra de cabuya tienen una eficacia comparable a los sistemas compuestos FRCM a base de tejidos de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas de columnas y vigas de concreto armado.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los objetivos que persigue la Ingeniería Civil es tener una construcción que sea perfectamente funcional durante su vida útil, y puesto que las obras de hormigón armado están proyectadas a largo plazo, se puede presumir que los requerimientos y consideraciones iniciales de diseño se afectan por diversos factores como utilización, seguridad, factores ambientales, modificación de criterios ante respuesta sísmica, problemas de explosión, fuego, impacto, etc., factores que reducen o acaban con la vida útil de las estructuras. Se debe mencionar también que no solo por agentes ajenos a las condiciones sobre las que se estableció el proyecto o fenómenos naturales se altera la vida útil del mismo, sino también por fallas en el diseño o construcción; todo lo mencionado, hace que sea necesario un refuerzo en la estructura, para lo cual se debe analizar la mejor alternativa.

Por el aumento en la necesidad de reforzar y rehabilitar las estructuras en lugar de dejarlas abandonadas o incluso demolerlas, los ingenieros han estado en busca de nuevas tecnologías, métodos y materiales que sean una alternativa eficiente y sobre todo económica; en la última década el interés se centra en encontrar materiales que se acoplen a los proyectos de ingeniería actuales donde se busca tener elementos resistentes, durables, poco deformables, capaces de absorber y disipar energía, resistentes a la corrosión, etc., características que evitan la rotura frágil de las estructuras.

Una de las respuestas que mejor se acopla a las necesidades antes expuestas y que además tiene una excelente relación costo-beneficio, entre otras bondades que se explican en el desarrollo del proyecto, son los sistemas compuestos a base de una matriz cementicia, los que actualmente están reemplazando a los sistemas de refuerzo convencional como los FRP, sistemas con chapa metálica, sistemas con tensores, entre otros.

En el Ecuador son muy frecuentes los problemas en estructuras, razón por la cual se hace necesario contar con diseños para sistemas de refuerzo de estructuras de concreto armado reforzado con materiales FRCM y aplicaciones reales que muestren los procedimientos, bondades, ventajas y desventajas que eventualmente se pueden presentar en dichos procesos. Nosotros también realizaremos el estudio para añadir el refuerzo con fibra de cabuya (textil) lo cual aparte de los beneficios que nos brinda el FRCM, nos abaratará costos y sería una opción muy buena para buscar sustentabilidad en la Industria de la construcción.

ANEXO 2

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO Y
CABUYA PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

ENSAYO DENSIDAD FIBRA DE CABUYA EN ROLLOS PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA ASTMD 792	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12	
REGISTRO DE ENSAYO DENSIDAD DE LA FIBRA DE CABUYA (ROLLOS)			FÓRMULA	
			$\delta = \frac{a}{(a + w - b)}$	
(w) Peso de la canastilla+estructura vacia sumergida (g)			232.41	
Densidad del agua a 23°C			0.9975	g/cm3
MUESTRA	(a) PESO MUESTRA (g)	(b) PESO DE LA CANASTILLA +FIBRA (g)	DENSIDAD DE LA FIBRA (g/cm3)	
1	1.30	232.78	1.39	
2	1.40	232.92	1.57	
3	1.42	232.94	1.59	
4	1.45	232.95	1.59	
5	1.45	232.94	1.57	
6	1.37	232.89	1.54	
7	1.43	232.95	1.60	
8	1.30	232.79	1.41	
9	1.45	232.95	1.59	
10	1.45	232.95	1.59	
MEDIA (g/cm3)			1.54	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/cm3)			0.08	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			5.01	

ENSAYO DE DENSIDAD FIBRA DE CABUYA EN SACOS PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA ASTMD 792
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
REGISTRO DE ENSAYO DENSIDAD DE LA FIBRA DE CABUYA (SACOS)			FÓRMULA
			$\delta = \frac{a}{(a + w - b)}$
(w) Peso de la canastilla+estructura vacia sumergida (g)			226.74
Densidad del agua a 23°C			0.9975 g/cm3
MUESTRA	(a) PESO MUESTRA (g)	(b) PESO DE LA CANASTILLA +FIBRA (g)	DENSIDAD DE LA FIBRA (g/cm3)
1	1.84	227.33	1.47
2	1.97	227.36	1.46
3	1.79	227.31	1.46
4	1.79	227.32	1.48
5	1.69	227.30	1.49
6	1.72	227.30	1.48
7	1.77	227.31	1.47
8	1.74	227.32	1.50
9	1.75	227.32	1.49
10	1.81	227.32	1.47
MEDIA (g/cm3)			1.48
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/cm3)			0.01
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			0.92

ENSAYO DE DENSIDAD FIBRA DE VIDRIO 230 PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA ASTM D 792	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12	
REGISTRO DE ENSAYO DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO 230			FÓRMULA	
			$\delta = \frac{a}{(a + w - b)}$	
(w) Peso de la canastilla+estructura vacía sumergida (g)			232.41	
Densidad del agua a 23°C			0.9975	g/cm ³
MUESTRA	(a) PESO MUESTRA (g)	(b) PESO DE LA CANASTILLA +FIBRA (g)	DENSIDAD DE LA FIBRA (g/cm ³)	
1	1.29	233.17	2.43	
2	1.35	233.30	2.93	
3	1.29	233.18	2.47	
4	1.13	233.01	2.13	
5	1.09	233.00	2.17	
6	1.07	233.16	3.34	
MEDIA (g/cm ³)			2.58	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/cm ³)			0.47	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			18.16	

ENSAYO DE DENSIDAD FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050 PARA LA REALIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA ASTM D 792
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
REGISTRO DE ENSAYO DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050				FÓRMULA
				$\delta = \frac{a}{(a + w - b)}$
Densidad del agua a 23°C				0.9975 g/cm3
MUESTRA	(a) PESO MUESTRA (g)	(w) Peso de la canastilla+estructura vacía sumergida (g)	(b) PESO DE LA CANASTILLA +FIBRA (g)	DENSIDAD DE LA FIBRA (g/cm3)
1	1.18	226.82	227.55	2.62
2	1.06	226.83	227.51	2.78
3	1.31	226.95	227.77	2.67
4	2.88	226.54	228.41	2.84
5	2.91	226.93	228.78	2.74
6	2.10	226.75	228.05	2.62
7	2.42	226.84	228.33	2.60
8	2.87	226.78	228.64	2.83
9	2.76	226.82	228.61	2.84
10	1.84	226.82	227.96	2.62
MEDIA (g/cm3)				2.72
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/cm3)				0.10
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)				3.80

ANEXO 3

RESULTADO DEL ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE AREA DE LA
FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO.

ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE CABUYA ROLLOS

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		ISO: 3374, 2000	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12	
REGISTRO DE ENSAYO MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE CABUYA (ROLLOS)					
MUESTRA	PESO (g)	ÁREA (cm ²)			MASA POR UNIDAD DE ÁREA (g/m ²)
		b (m)	h (m)	bxh (m ²)	
1	2.59	0.10	0.10	0.01	259.00
2	2.75	0.10	0.10	0.01	275.00
3	3.23	0.10	0.10	0.01	323.00
4	2.72	0.10	0.10	0.01	272.00
5	2.80	0.10	0.10	0.01	280.00
6	3.18	0.10	0.10	0.01	318.00
7	2.48	0.10	0.10	0.01	248.00
8	2.73	0.10	0.10	0.01	273.00
9	2.5	0.10	0.10	0.01	250.00
10	2.69	0.10	0.10	0.01	269.00
MEDIA (g/m²)					276.70
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/m²)					25.40
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)					9.18

ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE CABUYA SACOS

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		ISO: 3374, 2000	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12	
REGISTRO DE ENSAYO MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE CABUYA (SACOS)					
MUESTRA	PESO (g)	ÁREA (m²)			MASA POR UNIDAD DE ÁREA (g/m²)
		b (m)	h (m)	bxh (m²)	
1	4.18	0.10	0.10	0.01	418.00
2	4.15	0.10	0.10	0.01	415.00
3	4.16	0.10	0.10	0.01	416.00
4	4.13	0.10	0.10	0.01	413.00
5	4.14	0.10	0.10	0.01	414.00
6	4.18	0.10	0.10	0.01	418.00
7	4.15	0.10	0.10	0.01	415.00
8	4.14	0.10	0.10	0.01	414.00
9	4.18	0.10	0.10	0.01	418.00
10	4.12	0.10	0.10	0.01	412.00
MEDIA (g/m²)					415.30
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/m²)					2.16
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)					0.52

ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE VIDRIO
230

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño					
REGISTRO DE ENSAYO MASA POR UNIDAD DE ÁREA DELA FIBRA DE VIDRIO 230					
MUESTRA	PESO (g)	ÁREA (m ²)			MASA POR UNIDAD DE ÁREA (g/m ²)
		b (m)	h (m)	bxh (m ²)	
1	2.30	0.10	0.10	0.01	230.00
2	2.30	0.10	0.10	0.01	230.00
3	2.31	0.10	0.10	0.01	231.00
4	2.37	0.10	0.10	0.01	237.00
5	2.39	0.10	0.10	0.01	239.00
6	2.31	0.10	0.10	0.01	231.00
7	2.38	0.10	0.10	0.01	238.00
8	2.32	0.10	0.10	0.01	232.00
9	2.36	0.10	0.10	0.01	236.00
10	2.31	0.10	0.10	0.01	231.00
				MEDIA (g/m²)	233.50
				DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/m²)	3.57
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	1.53

**ENSAYO DE MASA POR UNIDAD DE ÁREA DE LA FIBRA DE VIDRIO
COMBIMAT 1050**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		

REGISTRO DE ENSAYO MASA POR UNIDAD DE ÁREA DELA FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050

MUESTRA	PESO (g)	ÁREA (m ²)			MASA POR UNIDAD DE ÁREA (g/m ²)
		b (m)	h (m)	b x h (m ²)	
1	10.55	0.10	0.10	0.01	1055.00
2	10.53	0.10	0.10	0.01	1053.00
3	10.51	0.10	0.10	0.01	1051.00
4	10.54	0.10	0.10	0.01	1054.00
5	10.55	0.10	0.10	0.01	1055.00
6	10.57	0.10	0.10	0.01	1057.00
7	10.65	0.10	0.10	0.01	1065.00
8	10.59	0.10	0.10	0.01	1059.00
9	10.54	0.10	0.10	0.01	1054.00
10	10.53	0.10	0.10	0.01	1053.00
				MEDIA (g/m²)	1055.60
				DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/m²)	3.98
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.38

ANEXO 4

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD LINEAL – TEX DE LA
FIBRA DE CABUYA Y VIDRIO (ISO: 1889, 2009).

ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL-TEX FIBRA DE CABUYA (ROLLOS)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			2016 - 01 - 12
REGISTRO DE ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL (TEX) DE LA FIBRA DE CABUYA (ROLLOS)			
MUESTRA	PESO (g)	L (km)	DENSIDAD LINEAL (g/ Km)
1	0.85	0.0015	566.67
2	0.94	0.0015	626.67
3	1.04	0.0015	693.33
4	0.77	0.0015	513.33
5	0.76	0.0015	506.67
6	0.78	0.0015	520.00
7	0.96	0.0015	640.00
8	0.69	0.0015	460.00
9	0.93	0.0015	620.00
10	0.85	0.0015	566.67
MEDIA (g/ km)			571.33
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/ km)			72.76
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			12.74

ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL-TEX FIBRA DE CABUYA (SACOS)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			
REGISTRO DE ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL (TEX) DE LA FIBRA DE CABUYA (SACOS)			
MUESTRA	PESO (g)	L (Km)	DENSIDAD LINEAL (g/ Km)
1	1.10	0.0015	733.33
2	1.15	0.0015	766.67
3	0.94	0.0015	626.67
4	1.04	0.0015	693.33
5	1.08	0.0015	720.00
6	1.15	0.0015	766.67
7	1.18	0.0015	786.67
8	1.16	0.0015	773.33
9	1.15	0.0015	766.67
10	0.92	0.0015	613.33
MEDIA (g/ Km)			724.67
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/ Km)			61.99
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			8.55

ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL-TEX FIBRA DE VIDRIO 230

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			
REGISTRO DE ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL (TEX) DE LA FIBRA DE VIDRIO 230			
MUESTRA	PESO (g)	L (Km)	DENSIDAD LINEAL (g/Km)
1	0.19	0.0010	190.00
2	0.20	0.0010	200.00
3	0.21	0.0010	210.00
4	0.20	0.0010	200.00
5	0.19	0.0010	190.00
6	0.19	0.0010	190.00
7	0.20	0.0010	200.00
8	0.20	0.0010	200.00
9	0.20	0.0010	200.00
10	0.19	0.0010	190.00
		MEDIA (g/Km)	197.00
		DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/Km)	6.75
		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.43

**ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL - TEX FIBRA DE VIDRIO
COMBIMAT 1050**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO+B2:G24B8B2:G23B2:G26B2:G25

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ING. CIVIL



SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:

Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño

UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH

FECHA DE ENSAYO:

2016 - 06 - 29

REGISTRO DE ENSAYO DE DENSIDAD LINEAL (TEX) DE LA FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050

MUESTRA	PESO (g)	L (Km)	DENSIDAD LINEAL (g/Km)
1	0.56	0.0010	560.00
2	0.59	0.0010	590.00
3	0.61	0.0010	610.00
4	0.61	0.0010	610.00
5	0.60	0.0010	600.00
6	0.60	0.0010	600.00
7	0.59	0.0010	590.00
8	0.59	0.0010	590.00
9	0.60	0.0010	600.00
10	0.59	0.0010	590.00
		MEDIA (g/Km)	594.00
		DESVIACIÓN ESTÁNDAR (g/Km)	14.30
		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	2.41

ANEXO 5

RESULTADO DEL ENSAYO DE ABSORCION DEL HILO DE CABUYA Y
VIDRIO (ISO 3344, 1997).

ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 		
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 24
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA		$\%ABS = \frac{(S - A)}{A} \times 100$
PRUEBA 1		
Masa deL hilo sumergido (S)	0.19	g
Masa del hilo seco (A)	0.13	g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA	45.034	%
PRUEBA 2		
Masa deL hilo sumergido (S)	0.25	g
Masa del hilo seco (A)	0.18	g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA	41.984	%
PRUEBA 3		
Masa deL hilo sumergido (S)	0.16	g
Masa del hilo seco (A)	0.11	g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA	43.238	%
PRUEBA 4		
Masa deL hilo sumergido (S)	0.26	g
Masa del hilo seco (A)	0.18	g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA	44.691	%
PRUEBA 5		
Masa deL hilo sumergido (S)	0.18	g
Masa del hilo seco (A)	0.12	g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE CABUYA	48.026	%
MEDIA (%)	44.59	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	2.27	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	5.09	

ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 24
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		$\%ABS = \frac{(S - A)}{A} \times 100$
PRUEBA 1		
Masa del hilo sumergido (S)		0.05 g
Masa del hilo seco (A)		0.04 g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		19.023 %
PRUEBA 2		
Masa del hilo sumergido (S)		0.02 g
Masa del hilo seco (A)		0.02 g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		20.856 %
PRUEBA 3		
Masa del hilo sumergido (S)		0.04 g
Masa del hilo seco (A)		0.03 g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		19.737 %
PRUEBA 4		
Masa del hilo sumergido (S)		0.04 g
Masa del hilo seco (A)		0.03 g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		25.352 %
PRUEBA 5		
Masa del hilo sumergido (S)		0.02 g
Masa del hilo seco (A)		0.01 g
% DE ABSORCIÓN DEL HILO DE VIDRIO		25.714 %
MEDIA (%)		22.14
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)		3.17
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)		14.33

ANEXO 6

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL TEJIDO DE CABUYA Y
VIDRIO (ISO: 4606, 1995).

ENSAYO DE TRACCIÓN DE TEJIDO DE CABUYA (ROLLOS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016		
ENSAYO DE TRACCIÓN DE TEJIDOS CON RESINA CABUYA (ROLLOS)						
TEX	276.7	g/km	NÚMERO DE HILOS		10	
ÁREA DEL TEJIDO	1.796753247	mm ²	DENSIDAD DE LA FIBRA		1.54	g/cm ³
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MAX [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MAX [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MAX [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	194.000	1344.247	8.873	748.153	0.046	10632.042
2	200.000	1056.983	7.604	588.274	0.038	4602.883
3	200.000	1347.930	8.180	750.203	0.041	11897.511
4	194.000	1447.367	8.351	805.546	0.043	11406.816
5	200.000	1226.395	8.457	682.562	0.042	9574.069
6	200.000	1362.661	9.311	758.402	0.047	9808.346
7	194.000	1366.344	10.036	760.452	0.052	8193.894
8	200.000	1300.052	8.489	723.556	0.042	10178.981
9	195.000	1200.615	9.215	668.214	0.047	9095.733
10	200.000	1193.249	6.058	664.114	0.030	11401.135
Media		1284.584	8.457	714.948	0.043	9679.141
Desviación Estándar		114.344	1.082	63.639	0.006	2117.955
Coeficiente de Variación (%)		8.901	12.796	8.901	13.610	21.882
GRÁFICAS						
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">CARGA VS DEFORMACIÓN (TEJIDOS CON RESINA CABUYA-ROLLOS)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (TEJIDOS CON RESINA CABUYA-ROLLOS)</p> </div> </div>						
FÓRMULAS EMPLEADAS						
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$			$\text{Área hilos} = \frac{Tex * \text{Número de hilos}}{\delta_{fibra} * 1000}$			
$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$			$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$			

ENSAYO DE TRACCIÓN DE TEJIDO DE CABUYA (SACOS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING.CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH					
FECHA DE ENSAYO:						
22/8/2016						
ENSAYO DE TRACCIÓN TEJIDOS CON RESINA CABUYA SACO						
TEX	724.67	g/km	NÚMERO DE HILOS		12	
ÁREA DEL TEJIDO	5.875702703	mm²	DENSIDAD DE LA FIBRA		1.48	
					g/cm³	
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MAX [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MAX [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MAX [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	200.000	1974.106	10.569	335.978	0.053	6968.140
2	201.000	2629.686	12.606	447.553	0.063	7479.200
3	194.000	2357.142	11.380	401.168	0.059	7122.814
4	190.000	2147.848	10.904	365.548	0.057	7255.024
5	201.000	2401.230	11.979	408.671	0.060	7399.292
6	190.000	2600.105	12.734	442.518	0.067	7444.285
	Media	2351.686	11.695	400.239	0.060	7278.126
	Desviación Estándar	255.185	0.893	43.431	0.005	201.727
	Coeficiente de Variación (%)	10.851	7.632	10.851	8.072	2.772
GRÁFICAS						
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; text-align: center;"> <p>CARGA VS DEFORMACIÓN (TEJIDOS CON RESINA CABUYA-SACO)</p> </div> <div style="width: 100%; text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA (TEJIDOS CON RESINA CABUYA-SACO)</p> </div> </div>						
FÓRMULAS EMPLEADAS						
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$ $\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$ $Área_{hilos} = \frac{Tex * \text{Número de hilos}}{\delta_{fibra} * 1000}$ $E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$						

ENSAYO DE TRACCIÓN DE TEJIDO DE VIDRIO 230

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH					
FECHA DE ENSAYO:						
22/8/2016						
ENSAYO DE TRACCIÓN TEJIDOS DE FIBRA DE VIDRIO 230						
TEX	197	g/km	NÚMERO DE HILOS	14		
ÁREA DEL TEJIDO	1.068992248	mm ²	DENSIDAD DE LA FIBRA	2.58		
				g/cm ³		
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MAX [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MAX [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MAX [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	180.000	961.229	5.450	899.191	0.030	59907.796
2	195.000	1071.715	3.743	1002.547	0.019	69990.324
3	186.000	1045.934	5.717	978.430	0.031	41148.434
4	180.000	1064.349	5.375	995.656	0.030	65344.815
5	185.000	990.691	4.565	926.753	0.025	76124.093
6	191.000	917.034	4.917	857.849	0.026	35738.317
7	187.000	917.034	3.786	857.849	0.020	34950.827
8	185.000	972.277	4.575	909.527	0.025	105577.710
9	186.000	821.280	6.015	768.275	0.032	34950.827
Media		973.505	4.905	910.675	0.026	58192.571
Desviación Estándar		81.503	0.809	76.243	0.005	24070.802
Coeficiente de Variación (%)		8.372	16.492	8.372	17.803	41.364

CARGA VS DEFORMACIÓN (TEJIDOS DE VIDRIO 230)

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (TEJIDOS DE VIDRIO 230)

FÓRMULAS EMPLEADAS

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

$$\text{Área}_{hilos} = \frac{Tex * \text{Número de hilos}}{\delta_{fibra} * 1000}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

ENSAYO DE TRACCIÓN DE TEJIDO DE VIDRIO COMBIMAT 1050

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH					
FECHA DE ENSAYO:						
22/8/2016						
ENSAYO DE TRACCIÓN TEJIDOS DE FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050						
TEX	594	g/km	NÚMERO DE HILOS	14		
ÁREA DEL TEJIDO	3.06	mm ²	DENSIDAD DE LA FIBRA	2.72		
				g/cm ³		
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MAX [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MAX [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MAX [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	200.000	4209.708	14.227	1376.913	0.071	65355.947
2	205.000	4080.802	10.729	1334.750	0.052	71002.410
3	200.000	4250.221	10.303	1390.164	0.052	65679.579
4	201.000	4209.708	14.227	1376.913	0.071	76171.285
5	203.000	4694.110	9.770	1535.351	0.048	87118.412
6	198.000	4661.848	14.029	1524.799	0.071	81586.048
	Media	4351.066	12.214	1423.148	0.061	74485.614
	Desviación Estándar	259.785	2.156	84.971	0.011	8784.931
	Coefficiente de Variación (%)	5.971	17.648	5.971	18.406	11.794

CARGA VS DEFORMACIÓN (TEJIDOS DE VIDRIO COMBIMAT 1050)

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (TEJIDOS DE VIDRIO COMBIMAT 1050)

FÓRMULAS EMPLEADAS

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

$$Área_{hilos} = \frac{Tex * \text{Número de hilos}}{\delta_{fibra} * 1000}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

ANEXO 7

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO SIN RESINA DE
CABUYA Y VIDRIO (ISO: 2062, 2009).

ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO SIN RESINA DE CABUYA (ROLLOS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		ESCUELA DE ING.CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:			UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016		
ENSAYO DE TRACCIÓN EN HILOS SIN RESINA CABUYA (ROLLO)							
PROBETA	CARGA MÁXIMA (N)	DEFORMACIÓN UNITARIA [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	DENSIDAD ($\frac{g}{cm^3}$)	Tex ($\frac{g}{Km}$)	ÁREA DE HILO (mm^2)	REISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
1	103.120	0.026	2443.296	1.540	1420.000	0.922	111.835
2	165.729	0.038	2276.081	1.540	1320.000	0.857	193.351
3	132.583	0.037	2904.013	1.540	1060.000	0.688	192.621
4	114.169	0.072	2352.978	1.540	980.000	0.636	179.408
5	99.437	0.058	1324.717	1.540	940.000	0.610	162.908
6	139.949	0.058	1765.197	1.540	1260.000	0.818	171.049
7	162.046	0.088	1685.254	1.540	860.000	0.558	290.176
8	103.120	0.043	1719.325	1.540	1400.000	0.909	113.432
9	128.900	0.049	1391.785	1.540	1060.000	0.688	187.270
10	99.437	0.050	1472.701	1.540	1220.000	0.792	125.519
11	88.389	0.053	1385.134	1.540	920.000	0.597	147.955
Media							170.502
Desviación Estándar							49.982
Coeficiente de Variación (%)							29.315
GRÁFICAS							
CARGA VS DEFORMACIÓN (HILOS SIN RESINA CABUYA ROLLO)							
ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (HILOS SIN RESINA CABUYA)							
FÓRMULAS EMPLEADAS							
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$ $\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$				$\text{Área}_{hilo} = \frac{Tex}{\delta_{fibra} * 1000}$ $E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$			

ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO SIN RESINA DE CABUYA (SACOS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING.CIVIL							
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:						
Jhony Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH						
FECHA DE ENSAYO:							
22/8/2016							
ENSAYO DE TRACCIÓN EN HILOS SIN RESINA CABUYA (SACO)							
PROBETA	CARGA MÁXIMA (N)	DEFORMACIÓN UNITARIA MAX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	DENSIDAD ($\frac{g}{cm^3}$)	Tex ($\frac{g}{Km}$)	ÁREA DE HILO (mm ²)	REISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
1	209.933	0.048	4869.589	1.480	1420.000	0.959	218.803
2	198.884	0.060	5323.908	1.480	1320.000	0.892	222.991
3	147.321	0.051	5310.271	1.480	1060.000	0.716	205.694
4	137.179	0.037	5500.465	1.480	980.000	0.662	207.168
5	132.589	0.047	6246.976	1.480	940.000	0.635	208.757
6	158.370	0.052	3650.680	1.480	1260.000	0.851	186.022
7	121.540	0.053	5680.004	1.480	860.000	0.581	209.162
8	209.933	0.045	5098.363	1.480	1400.000	0.946	221.929
9	147.321	0.041	4312.534	1.480	1060.000	0.716	205.694
10	154.687	0.052	4082.571	1.480	1220.000	0.824	187.654
11	132.589	0.044	4877.896	1.480	920.000	0.622	213.296
Media							207.925
Desviación Estándar							12.140
Coeficiente de Variación (%)							5.838
GRÁFICAS							
CARGA VS DEFORMACIÓN (HILOS SIN RESINA CABUYA SACO)							
ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (HILOS SIN RESINA CABUYA SACO)							
FÓRMULAS EMPLEADAS							
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$ $\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$				$\text{Área hilo} = \frac{Tex}{\delta_{fibra} * 1000}$ $E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$			

ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO SIN RESINA DE VIDRIO COMBIMAT 1050

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL							
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:						
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH						
FECHA DE ENSAYO:							
22/8/2016							
ENSAYO DE TRACCIÓN EN HILOS DE FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050							
PROBETA	CARGA MÁXIMA (N)	DEFORMACIÓN UNITARIA [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	DENSIDAD ($\frac{g}{cm^3}$)	Tex ($\frac{g}{Km}$)	AREA DE HILO (mm^2)	REISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
1	243.080	0.024	44493.634	2.720	1520.000	0.559	434.986
2	256.707	0.027	57114.532	2.720	1320.000	0.485	528.973
3	237.924	0.012	97600.176	2.720	720.000	0.265	898.824
4	287.277	0.038	38675.845	2.720	1760.000	0.647	443.973
5	184.152	0.013	21676.387	2.720	800.000	0.294	626.116
6	193.359	0.006	94430.634	2.720	800.000	0.294	657.422
7	180.469	0.016	69039.279	2.720	800.000	0.294	613.593
8	187.835	0.014	87099.649	2.720	600.000	0.221	851.517
9	184.152	0.037	45086.880	2.720	600.000	0.221	834.821
10	185.625	0.034	25361.372	2.720	800.000	0.294	631.125
Media							652.135
Desviación Estándar							164.069
Coeficiente de Variación (%)							25.159
GRÁFICAS							
<p>CARGA VS DEFORMACIÓN (HILOS DE FIBRA DE VIDRIO 1050)</p>							
<p>ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (HILOS DE FIBRA DE VIDRIO 1050)</p>							
FÓRMULAS EMPLEADAS							
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$ $\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$				$\text{Área}_{hilo} = \frac{Tex}{\delta_{fibra} * 1000}$ $E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$			

ANEXO 8

RESULTADOS DEN ENSAYO DEL HILO CON RESINA DE CABUYA.

ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HILO CON RESINA DE CABUYA (SACOS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:				UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016	
ENSAYO DE TRACCIÓN EN HILOS CON RESINA CABUYA SACO							
PROBETA	CARGA MÁXIMA (N)	DEFORMACIÓN UNITARIA [mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	DENSIDAD ($\frac{g}{cm^3}$)	Tex ($\frac{g}{Km}$)	ÁREA DE HILO (mm^2)	REISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
1	184.152	0.061	2896.967	1.480	1420.000	0.959	191.933
2	149.899	0.063	3063.047	1.480	1040.000	0.703	213.318
3	136.272	0.046	4693.731	1.480	980.000	0.662	205.799
4	136.272	0.051	3613.721	1.480	980.000	0.662	205.799
5	143.638	0.045	3663.765	1.480	1080.000	0.730	196.838
6	160.212	0.060	3038.714	1.480	1220.000	0.824	194.356
7	99.442	0.044	4898.805	1.480	720.000	0.486	204.408
8	121.540	0.043	5183.447	1.480	900.000	0.608	199.866
Media							201.540
Desviación Estándar							7.092
Coeficiente de Variación (%)							3.519
GRÁFICAS							
FÓRMULAS EMPLEADAS							
$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$				$\text{Área}_{hilo} = \frac{Tex}{\delta_{fibra} * 1000}$			
$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$				$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$			

ANEXO 9

RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN DE RESINA PARA LA FIBRA DE
CABUYA.

DOSIFICACIÓN DE RESINA PARA LA FIBRA DE CABUYA

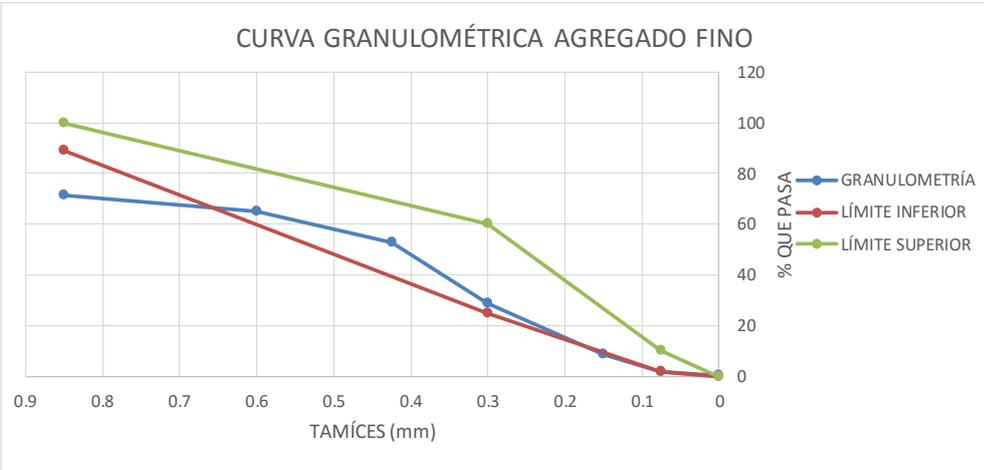
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		2016 - 01 - 12
REGISTRO DE DOSIFICACIONES DE RESINA PARA LA FIBRA DE CABUYA				
MUESTRA	PESO (g)	GOTAS		ESTILENO (g)
		AMARILLO	MORADO	
1	15.00	5	3	15.00
2	15.00	5	3	7.50
3	15.00	5	3	20.00
4	15.00	5	3	30.00
5	15.00	8	5	15.00
6	15.00	8	5	7.50
7	15.00	15	8	7.50
8	15.00	20	10	15.00
En 50 gramos de resina se coloca 18 gramos de Arena				

ANEXO 10

RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

PASANTE N° 20.

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE RÍO TAMIZADA

	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	MUESTRA: Arena de Rio Tamizada			
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12			
REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA					
Masa Inicial = 2000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL g.	PESO RETENIDO ACUMULADO g.	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 20	0.850	569	569	28	72
N° 30	0.600	130	699	35	65
N° 40	0.425	244	943	47	53
N° 50	0.300	485	1428	71	29
N° 100	0.150	400	1828	91	9
N° 200	0.075	135	1963	98	2
Bandeja		34	1997	100	0
Masa Retenida		1997		471	229
Modulo de finura	4.7135		Error (%)	0.150	
GRÁFICO					
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO</p>  </div> </div>					
FÓRMULAS					
$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$					
$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$					
$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$					



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



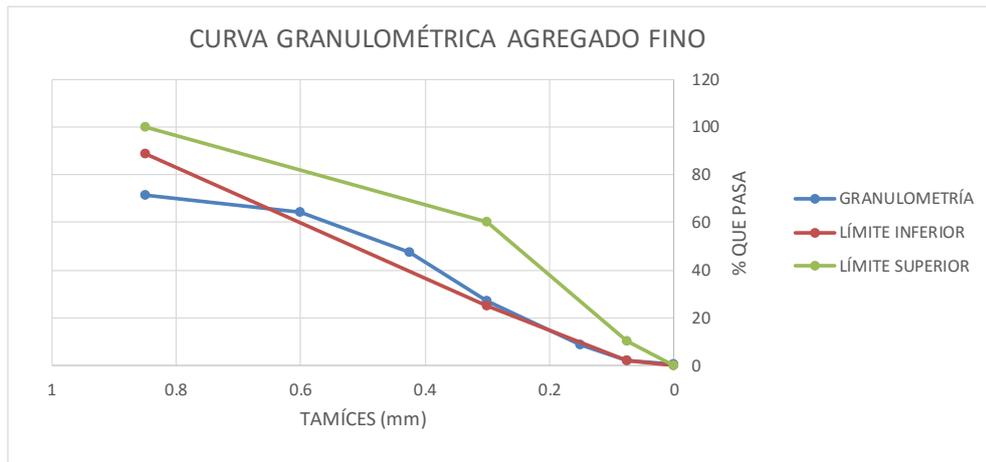
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	MUESTRA: Arena de Río tamizada
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12

REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA

Masa Inicial = 2000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 20	0.850	569	569	28	72
N° 30	0.600	141	710	36	65
N° 40	0.425	342	1052	53	47
N° 50	0.300	408	1460	73	27
N° 100	0.150	367	1827	91	9
N° 200	0.075	134	1961	98	2
Bandeja		32	1993	100	0
Masa Retenida		1993		479	221
Modulo de finura	4.786		Error (%)		0.351

GRÁFICO



FÓRMULAS

$$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$$

$$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$$

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$$

ANEXO 11

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA
UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO (INEN 858, 2010).

**ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA
COMPACTADA DE LA ARENA TAMIZADA PASANTE N° 20**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 	
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	NORMA INEN 858 FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 01
MASA UNITARIA COMPACTADA DE LA ARENA TAMIZADA PASANTE N° 20	
Masa del Recipiente	2656.00 g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00 g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00 g
Temperatura del Agua	19.00 °C
Densidad del Agua	0.99849 g/cm ³
Volumen del Recipiente	3036.00 cm ³
M1= Arido compactado + Recipiente	7298.00 g
M2=Arido compactado + Recipiente	7309.00 g
M3= Arido compactado+ Recipiente	7311.00 g
M4= Arido compactado+ Recipiente	7318.00 g
Promedio masa (arido compactado + recipiente)	7309.00 g
Masa del arido compactado	4653.00 g
(MUC) Masa unitaria compactada	1.5326 g/cm ³

ANEXO 12

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA

UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO (INEN 858, 2010).

**ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA
DE LA ARENA TAMIZADA PASANTE N° 20**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 858
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 01
MASA UNITARIA SUELTA DE LA ARENA TAMIZADA PASANTE N° 20		
Masa del Recipiente	2656.00	g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00	g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00	g
Temperatura del Agua	19.00	°C
Densidad del Agua	0.99849	g/cm ³
Volumen del Recipiente	3036.00	cm ³
M1= Arido suelto + Recipiente	6820.00	g
M2=Arido suelto + Recipiente	6808.00	g
M3= Arido suelto + Recipiente	6798.00	g
M4= Arido suelto + Recipiente	6796.00	g
M5= Arido suelto + Recipiente	6795.00	g
Promedio masa (arido suelto+recipiente)	6803.40	g
Masa del arido suelto	4147.40	g
(MUS) Masa unitaria suelta	1.3661	g/cm³

ANEXO 13

RESULTADO DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE
SECO SSS) (ASTM C128 – INEN 856).

**DENSIDAD DEL AGREGADO FINO TAMIZADO PASANTE DEL N°
20 (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 		
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 05
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS) DE LA ARENA TAMIZADA (METODO GRAVIMÉTRICO)		$\delta_{sss} = \frac{S}{(B + S - C)}$
Masa del Picnometro	447.900	g
Masa del picnómetro + agua(calibrado) (B)	1256.400	g
Masa del picnómetro + árido fino estado sss	947.900	g
Masa del picnómetro + árido fino estado + agua (C)	1556.700	g
Temperatura del agua	19.000	°C
Densidad del agua respecto a su temperatura	0.998	g/cm3
Masa del arido fino en estado SSS (S)	500.000	g
Volumen desalojado	199.700	g
Densidad relativa (gravedad especifica) estado sss	2.504	g/cm3

ANEXO 14

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE
DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO EN ESTADO SATURADO
SUPERFICIALMENTE SECO.

ENSAYO DE % ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 5
% DE ABSORCIÓN DE LA ARENA TAMIZADA PASANTE N°20		$\%ABS = \frac{(S - A)}{A} \times 100$
Masa Recipiente		211.00 g
Masa Recipiente + Arido SSS		708.00 g
Masa Recipiente + Arido Seco		698.00 g
Masa Árido Estado SSS (S)		497.00 g
Masa Árido Estado Seco (A)		487.00 g
% de Absorción Arido Fino		2.053 %

ANEXO 15

RESULTADO DEL ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO (INEN 2502,
2009).

ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO 1: 1,10

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA INEN 2502	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 30	
FLUIDEZ DEL MORTERO 1:1,10					
MUESTRA	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	(D1+D2+D3+D4) %
1	28.00	30.00	29.00	30.00	117.00
2	28.00	29.00	28.00	30.00	115.00
3	28.00	27.00	28.00	30.00	113.00
MEDIA (%)					115.00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR					2.00
COEFICIENTE DE VARIACIÓN					1.74

ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO 1: 1,25

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA INEN 2502	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 09	
FLUIDEZ DEL MORTERO 1:1,25					
MUESTRA	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	(D1+D2+D3+D4) %
1	33	32	31	34	130
2	30	29	31	31	121
MEDIA (%)					125.50
DESVIACIÓN ESTÁNDAR					6.36
COEFICIENTE DE VARIACIÓN					5.07

ANEXO 16

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL
MORTERO (ASTM – C138, 2009).

ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO 1:

1,10

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		2016 - 03 - 30	
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,10					
Recipiente Vacío	2656.00 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$			
Recipiente + Agua + Vidrio	7502.00 g				
Peso Del Vidrio	1812.00 g				
Recipiente + Agua	5690.00 g	Peso del Mortero 1		6299.00 g	
Recipiente + Mortero 1	8955.00 g	Peso del Mortero 2		6309.00 g	
Recipiente + Mortero 2	8965.00 g	Peso del Mortero 3		6324.00 g	
Recipiente + Mortero 3	8980.00 g				
Densidad del Agua	1.00 g/cm ³	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.076 g/cm ³	
Peso del Agua	3034.00 g	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.079 g/cm ³	
Volumen del agua	3034.00 cm ³	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.084 g/cm ³	
				MEDIA	2.080 g/cm ³
				DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.004 g/cm ³
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.20 %

ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO 1:

1,25

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		2016 - 03 - 07	
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25					
Recipiente Vacío	3150.00 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$			
Recipiente + Agua + Vidrio	8250.00 g				
Peso Del Vidrio	2150.00 g				
Recipiente + Agua	6100.00 g	Peso del Mortero 1		6000.00 g	
Recipiente + Mortero 1	9150.00 g	Peso del Mortero 2		6100.00 g	
Recipiente + Mortero 2	9250.00 g	Peso del Mortero 3		6100.00 g	
Recipiente + Mortero 3	9250.00 g				
Densidad del Agua	1.00 g/cm ³	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.034 g/cm ³	
Peso del Agua	2950.00 g	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.068 g/cm ³	
Volumen del agua	2950.00 cm ³	DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,25		2.068 g/cm ³	
				MEDIA	2.056 g/cm ³
				DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.020 g/cm ³
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.95 %

ANEXO 17

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN EN
ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO

1: 1,10

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 06
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,10 EN ESTADO ENDURECIDO 7 DÍAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	269.90 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Masa del recipiente + agua primera marca	648.40 g		
Masa del recipiente + agua segunda marca	777.90 g		
Volumen	129.50 cm ³	Densidad del mortero 1	2.084 g/cm ³
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	269.10 g	Densidad del mortero 2	2.086 g/cm ³
Masa del recipiente + agua primera marca	675.20 g	MEDIA	2.085 g/cm ³
Masa del recipiente + agua segunda marca	804.20 g	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.001 g/cm ³
Volumen	129.00 cm ³	COEFICIENTE DE DESVIACIÓN	0.064 %
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,10 EN ESTADO ENDURECIDO 14 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	226.50 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Masa del recipiente + agua primera marca	814.40 g		
Masa del recipiente + agua segunda marca	923.40 g		
Volumen	109.00 cm ³	Densidad del mortero	2.078 g
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	289.90 g	Densidad del mortero	2.087 g
Masa del recipiente + agua primera marca	786.80 g	MEDIA	2.083 g/cm ³
Masa del recipiente + agua segunda marca	925.70 g	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.006 g/cm ³
Volumen	138.90 cm ³	COEFICIENTE DE DESVIACIÓN	0.310 %
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,10 EN ESTADO ENDURECIDO 21 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	240.40 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Masa del recipiente + agua primera marca	770.00 g		
Masa del recipiente + agua segunda marca	885.20 g		
Volumen	115.20 cm ³	Densidad del mortero	2.087 g
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	265.10 g	Densidad del mortero	2.086 g
Masa del recipiente + agua primera marca	766.30 g	MEDIA	2.086 g/cm ³
Masa del recipiente + agua segunda marca	893.40 g	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.001 g/cm ³
Volumen	127.10 cm ³	COEFICIENTE DE DESVIACIÓN	0.035 %
DENSIDAD DEL MORTERO 1: 1,10 EN ESTADO ENDURECIDO 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	268.60 g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Masa del recipiente + agua primera marca	757.40 g		
Masa del recipiente + agua segunda marca	886.80 g		
Volumen	129.40 cm ³	Densidad del mortero	2.076 g
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	232.70 g	Densidad del mortero	2.081 g
Masa del recipiente + agua primera marca	751.20 g	MEDIA	2.079 g/cm ³
Masa del recipiente + agua segunda marca	863.00 g	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.004 g/cm ³
Volumen	111.80 cm ³	COEFICIENTE DE DESVIACIÓN	0.193 %

ENSAYO DE % DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1:1,10

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:				UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA INEN 856	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño						FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 06	
% DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1: 1,10 7 DIAS							
MUESTRA 1							
Masa de la muestra seca al horno (A)	269.90	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 [\%]$				
Masa en estado SSS (S)	304.66	g	% Absorción del mortero		12.879%		
MUESTRA 2							
Masa de la muestra seca al horno (A)	269.10	g	% Absorción del mortero		12.776%		
Masa en estado SSS (S)	303.48	g	MEDIA		12.827%		
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.073%		
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN		5.674%		
% DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1: 1,10 14 DIAS							
MUESTRA 1							
Masa de la muestra seca al horno (A)	226.50	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 [\%]$				
Masa en estado SSS (S)	259.78	g	% Absorción del mortero		14.693%		
MUESTRA 2							
Masa de la muestra seca al horno (A)	289.90	g	% Absorción del mortero		14.519%		
Masa en estado SSS (S)	331.99	g	MEDIA		14.606%		
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.123%		
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN		8.441%		
% DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1: 1,10 21 DIAS							
MUESTRA 1							
Masa de la muestra seca al horno (A)	240.40	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 [\%]$				
Masa en estado SSS (S)	264.92	g	% Absorción del mortero		10.200%		
MUESTRA 2							
Masa de la muestra seca al horno (A)	265.10	g	% Absorción del mortero		9.902%		
Masa en estado SSS (S)	291.35	g	MEDIA		10.051%		
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.211%		
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN		20.947%		
% DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1: 1,10 28 DIAS							
MUESTRA 1							
Masa de la muestra seca al horno (A)	268.60	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 [\%]$				
Masa en estado SSS (S)	305.84	g	% Absorción del mortero		13.864%		
MUESTRA 2							
Masa de la muestra seca al horno (A)	232.70	g	% Absorción del mortero		14.358%		
Masa en estado SSS (S)	266.11	g	MEDIA		14.111%		
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.349%		
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN		24.707%		

ANEXO 18

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL
MORTERO (METODO VICAT) (INEN 158, 2009).

**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO 1:1,10
(MÉTODO VICAT)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 158	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 31	
TIEMPO DE FRAGUADO MORTERO 1:1,10 (METODO VICAT)				
FRAGUADO INICIAL		$\left[\left(\frac{H-E}{C-D} \right) \times (C - 25) \right] + E$		
Tiempo en minutos de la ultima penetracion mayor que 25 mm (E)		178.20	min	
Tiempo en minutos de la primera penetracion menor que 25 mm (H)		111.00	min	
Lectura de penetracion al tiempo E (C)		0.00	mm	
Lectura de penetracion al tiempo H (D)		25.00	mm	
FRAGUADO INICIAL		111.00		
FRAGUADO FINAL				
		Tiempo inicial	9.20	
		Tiempo final	12.17	
		FRAGUADO FINAL	178.20	min
	TEMPERATURA	HUMEDAD		
F.INICIAL	38	17%		
F.FINAL	30	11%		

**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO 1:1,25
(MÉTODO VICAT)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 				
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO				
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 158	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 07	
TIEMPO DE FRAGUADO MORTERO 1:1,25 (METODO VICAT)				
FRAGUADO INICIAL		$\left[\left(\frac{H-E}{C-D} \right) \times (C - 25) \right] + E$		
Tiempo en minutos de la ultima penetracion mayor que 25 mm (E)		195.50	min	
Tiempo en minutos de la primera penetracion menor que 25 mm (H)		120.00	min	
Lectura de penetracion al tiempo E		0.00	mm	
Lectura de penetracion al tiempo H		26.00	mm	
FRAGUADO INICIAL		122.90		
FRAGUADO FINAL				
		Tiempo inicial	9.00	
		Tiempo final	12.3	
		FRAGUADO FINAL	198.00	min

ANEXO 19

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM – C231,
2003).

**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO 1:1,10
(MÉTODO VICAT)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA INEN 158
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 31
TIEMPO DE FRAGUADO MORTERO 1:1,10 (METODO VICAT)			
FRAGUADO INICIAL	$\left[\left(\frac{H-E}{C-D} \right) \times (C - 25) \right] + E$		
Tiempo en minutos de la ultima penetracion mayor que 25 mm (E)	178.20	min	
Tiempo en minutos de la primera penetracion menor que 25 mm (H)	111.00	min	
Lectura de penetracion al tiempo E (C)	0.00	mm	
Lectura de penetracion al tiempo H (D)	25.00	mm	
FRAGUADO INICIAL	111.00		
FRAGUADO FINAL			
	Tiempo inicial	9.20	
	Tiempo final	12.17	
	FRAGUADO FINAL	178.20	min
	TEMPERATURA	HUMEDAD	
F.INICIAL	38	17%	
F.FINAL	30	11%	

**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO 1:1,25
(MÉTODO VICAT)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		NORMA INEN 158
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 07
TIEMPO DE FRAGUADO MORTERO 1:1,25 (METODO VICAT)			
FRAGUADO INICIAL	$\left[\left(\frac{H-E}{C-D} \right) \times (C - 25) \right] + E$		
Tiempo en minutos de la ultima penetracion mayor que 25 mm (E)	195.50	min	
Tiempo en minutos de la primera penetracion menor que 25 mm (H)	120.00	min	
Lectura de penetracion al tiempo E	0.00	mm	
Lectura de penetracion al tiempo H	26.00	mm	
FRAGUADO INICIAL	122.90		
FRAGUADO FINAL			
	Tiempo inicial	9.00	
	Tiempo final	12.3	
	FRAGUADO FINAL	198.00	min

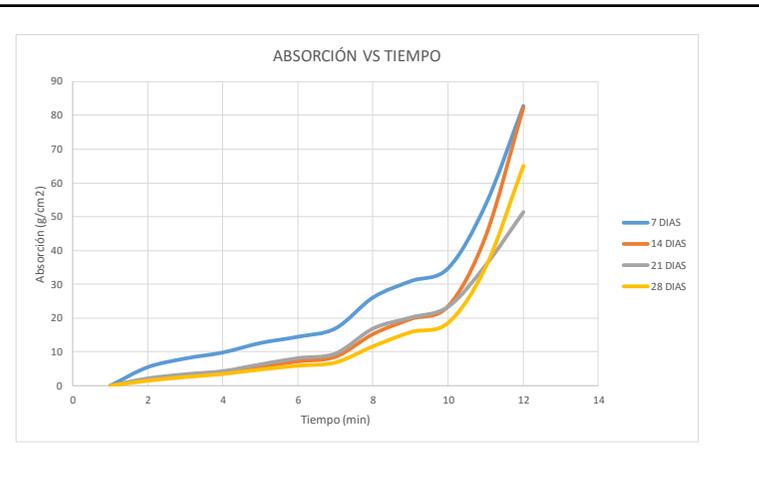
ANEXO 20

RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL
MORTERO (ASTM C1403).

ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL MORTERO 1: 1,10

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL																							
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO																							
REALIZADO POR:															UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH				FECHA DE ENSAYO 7 DIAS: 2016 - 04 - 06				
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño																			FECHA DE ENSAYO 14 DIAS: 2016 - 04 - 13				
																			FECHA DE ENSAYO 21 DIAS: 2016 - 04 - 20				
																			FECHA DE ENSAYO 28 DIAS: 2016 - 04 - 27				
ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD EN FUNCION DEL TIEMPO DEL MORTERO 1: 1,10																							
DÍA	PROBETA	MASA SECA (gr)	PESO (gr)											DIMENSIONES (mm)									
			1 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	60 min	90 min	120 min	360 min	1440 min	L1	L2	L3	L4	L prom	b1	b2	b3	b4	b prom
7	1	242.100	244.100	245.000	245.700	246.800	247.100	248.400	252.100	254.000	255.500	262.800	274.030	75.270	77.550	76.910	76.860	76.648	41.280	41.600	41.810	42.230	41.730
	2	246.300	248.700	249.900	250.700	251.800	252.700	253.500	256.700	258.300	259.500	265.700	274.440	80.810	75.110	73.220	70.150	74.823	42.130	42.700	42.620	42.750	42.550
	3	264.000	265.800	266.400	266.800	267.400	267.900	268.400	270.600	271.900	273.000	278.400	287.090	82.360	81.330	80.500	80.080	81.068	41.400	41.960	42.340	42.170	41.968
	4	240.600	241.500	242.100	242.500	243.300	244.000	244.600	247.300	248.700	249.900	255.400	264.350	77.300	76.160	75.430	74.630	75.880	42.150	41.960	41.860	41.500	41.868
14	1	250.400	251.100	251.400	251.700	252.200	252.600	253.000	255.000	256.300	257.600	264.100	276.300	78.260	77.530	77.260	77.130	77.545	41.350	41.580	41.680	41.380	41.498
	2	251.000	251.500	252.000	252.300	252.900	253.500	254.000	256.400	258.000	259.200	266.300	278.900	79.860	80.470	80.550	80.640	80.380	41.350	41.310	41.240	41.190	41.273
21	1	244.500	245.200	245.600	245.800	246.400	247.000	247.400	249.700	250.700	251.700	255.400	260.200	77.320	77.040	76.020	76.060	76.610	41.030	41.020	41.030	40.810	40.973
	2	275.900	276.600	277.000	277.400	278.100	278.700	279.200	281.700	282.800	283.900	288.200	293.600	81.580	81.930	81.710	80.550	81.443	41.020	41.210	41.310	41.490	41.258
28	1	251.700	252.000	252.300	252.500	253.100	253.400	253.700	255.600	256.900	257.700	262.800	269.400	77.390	77.690	76.890	77.010	77.245	40.700	41.000	40.650	40.970	40.830
	2	251.400	252.000	252.200	252.500	253.000	253.300	253.600	255.900	257.400	258.700	265.700	274.900	79.940	80.100	80.100	79.840	79.995	40.630	40.840	40.800	40.800	40.768
	3	251.200	251.600	252.100	252.500	252.800	253.400	253.600	254.600	257.000	258.500	266.800	278.600	81.120	82.650	83.540	84.850	83.040	41.620	41.310	41.330	41.780	41.510
	4	258.100	258.700	259.100	259.400	259.700	260.000	260.400	261.400	261.700	261.800	263.200	274.400	77.020	76.730	76.500	75.840	76.523	40.540	40.620	40.500	40.730	40.598

DIAS	PROBETA	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10	AT11
7	1	6.253	9.067	11.255	14.694	15.632	19.697	31.265	37.205	41.895	64.718	99.828
	2	7.538	11.308	13.820	17.276	20.102	22.615	32.666	37.692	41.461	60.935	88.388
	3	5.291	7.054	8.230	9.994	11.463	12.933	19.399	23.220	26.453	42.326	67.868
	4	2.833	4.722	5.981	8.499	10.702	12.591	21.090	25.497	29.274	46.586	74.758
MEDIA		5.479	8.038	9.822	12.616	14.475	16.959	26.105	30.903	34.771	53.641	82.710
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.774	1.029	1.434	2.079	1.157	2.738	5.160	6.302	7.124	11.077	17.118
COEF. DE VARIACIÓN		14.131	12.805	14.597	16.478	7.995	16.144	19.765	20.391	20.488	20.649	20.696
14	1	2.175	3.108	4.040	5.594	6.837	8.080	14.295	18.335	22.375	42.574	80.487
	2	1.507	3.014	3.919	5.727	7.536	9.043	16.277	21.100	24.718	46.119	84.100
MEDIA		1.841	3.061	3.979	5.660	7.186	8.561	15.286	19.718	23.546	44.347	82.293
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.334	0.047	0.061	0.067	0.350	0.482	0.991	1.383	1.171	1.773	1.807
COEF. DE VARIACIÓN		18.144	1.523	1.523	1.180	4.864	5.626	6.485	7.013	4.975	3.997	2.195
21	1	2.230	3.504	4.142	6.053	7.965	9.239	16.566	19.752	22.938	34.726	50.017
	2	2.083	3.274	4.464	6.547	8.333	9.821	17.261	20.535	23.809	36.606	52.677
MEDIA		2.157	3.389	4.303	6.300	8.149	9.530	16.914	20.144	23.373	35.666	51.347
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.073	0.115	0.161	0.247	0.184	0.291	0.348	0.391	0.435	0.940	1.330
COEF. DE VARIACIÓN		3.404	3.404	3.748	3.923	2.261	3.055	2.055	1.943	1.863	2.636	2.590
28	1	0.951	1.902	2.537	4.439	5.390	6.341	12.366	16.487	19.024	35.194	56.121
	2	1.840	2.453	3.373	4.906	5.826	6.746	13.799	18.398	22.384	43.849	72.059
	3	1.160	2.611	3.771	4.642	6.382	6.963	9.864	16.826	21.178	45.257	79.490
	4	1.931	3.219	4.185	5.150	6.116	7.404	10.622	11.588	11.910	16.417	52.469
MEDIA		1.471	2.546	3.466	4.784	5.929	6.863	11.663	15.825	18.624	35.179	65.035
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.423	0.469	0.609	0.269	0.368	0.383	1.531	2.550	4.059	11.497	11.132
COEF. DE VARIACIÓN		28.739	18.419	17.561	5.613	6.206	5.586	13.127	16.115	21.794	32.682	17.117



ANEXO 21

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS CON 50 mm
DE ARISTA (INEN 488, 2009).

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE 50 mm DE ARISTA
(Mortero 1:1,10)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL**



SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 06
---	--	--

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS MORTERO 1:1,10

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	49.62	49.50	2456.19	69830.00	28.43
2	49.79	49.30	2454.15	77195.00	31.45
3	48.02	48.02	2305.68	65014.00	28.20
4	48.56	50.15	2435.28	76629.00	31.47
MEDIA (N/mm²)					29.89
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					1.82
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					6.09

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS MORTERO 1:1,10

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	49.73	49.73	2472.82	87677.00	35.46
2	50.13	49.70	2491.21	87299.00	35.04
3	49.16	50.71	2492.65	88470.00	35.49
4	45.84	51.63	2366.46	88272.00	37.30
MEDIA (N/mm²)					35.82
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					1.01
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					2.81

ENSAYO DE COMPRESION A LOS 21 DIAS MORTERO 1:1,10

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	50.18	49.72	2494.45	96695.00	38.76
2	49.87	49.51	2469.06	111143.00	45.01
3	49.34	49.35	2434.68	95879.00	39.38
4	48.20	48.63	2343.72	103330.00	44.09
MEDIA (N/mm²)					41.81
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					3.20
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					7.64

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS MORTERO 1:1,10

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	48.78	48.86	2383.15	105666.00	44.34
2	48.05	48.07	2309.52	98253.00	42.54
3	48.61	48.78	2370.95	101039.00	42.62
MEDIA (N/mm²)					43.17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					1.02
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					2.36

GRÁFICA



ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE 50 mm DE ARISTA
(Mortero 1:1,25)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL**



SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 16
---	---	---

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS MORTERO 1:1,25

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	50.00	51.25	2562.50	51060.00	19.93
2	50.00	49.30	2500.00	48253.00	19.30
3	50.50	48.02	2575.50	50567.00	19.63
4	50.50	50.15	2575.50	49953.00	19.40
MEDIA (N/mm²)					19.56
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					0.28
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					1.43

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS MORTERO 1:1,25

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	49.71	49.90	2480.03	70161.00	28.29
2	49.70	50.13	2490.96	71860.00	28.85
3	49.77	55.11	2742.30	65628.00	23.93
4	49.65	50.65	2514.52	68178.00	27.11
MEDIA (N/mm²)					27.05
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					2.20
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					8.13

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS MORTERO 1:1,25

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	50.87	50.14	2550.37	88055.00	34.53
2	50.53	50.05	2528.77	79226.00	31.33
3	50.20	50.79	2549.66	71483.00	28.04
4	49.03	50.32	2467.19	75260.00	30.50
MEDIA (N/mm²)					31.10
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					2.68
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					8.61

ENSAYO DE COMPRESION A LOS 28 DÍAS MORTERO 1:1,25

PROBETA	b prom (mm)	h prom (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1	50.38	50.78	2558.04	75779.00	29.62
2	49.73	49.80	2476.31	90793.00	36.66
3	50.38	50.20	2529.08	73749.00	29.16
4	50.45	50.83	2563.87	91643.00	35.74
MEDIA (N/mm²)					32.80
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N/mm²)					3.96
COEFICIENTE DE DESVIACIÓN (%)					12.06

GRÁFICA



ANEXO 22

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE
MORTERO (INEN 198).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO 1:1,10

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:				UBICACIÓN:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		
TABLA RESUMEN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGUETAS 1:1,10						
TIEMPO	Carga Max. [N]	Deformación Max. [mm]	Resistencia a la Flexión [MPa]	Deformación Unitaria Max. [mm/mm]	Deflexión Max. [mm]	Módulo de Elasticidad [MPa]
7 Dias	2698.315	0.601	6.324	0.015	0.570	466.379
14 Dias	2872.637	0.715	6.733	0.018	0.694	418.253
21 Dias	3301.691	0.512	7.738	0.013	0.478	686.373
28 Dias	3463.893	0.427	8.119	0.011	0.444	762.799
MEDIA	3084.134	0.563	7.228	0.014	0.547	583.451
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	311.117	0.110	0.729	0.003	0.106	143.172
CONFICIENTE DE VARIACIÓN	10.088	19.530	10.088	19.530	19.342	24.539
FÓRMULAS						
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2} \quad E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)} \quad \epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o} \quad \Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$						

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO

1:1,25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:				UBICACIÓN:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		
TABLA RESUMEN DEL ENSAYO DE FLEXION DE VIGUETAS 1:1,25						
TIEMPO	Carga Max. [N]	Deformación Max. [mm]	Resistencia a la Flexión [MPa]	Deformación Unitaria Max. [mm/mm]	Deflexión Max. [mm]	Módulo de Elasticidad [MPa]
7 Dias	1917.547	0.547	4.494	0.014	0.533	360.756
14 Dias	2434.376	0.699	5.706	0.017	0.644	370.692
21 Dias	2550.386	0.512	5.977	0.013	0.494	504.096
28 Dias	3145.169	0.718	7.371	0.018	0.707	443.266
MEDIA	2511.869	0.619	5.887	0.015	0.595	419.703
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	423.807	0.076	0.993	0.002	0.056	54.206
CONFICIENTE DE VARIACIÓN	16.872	12.221	16.872	12.221	9.393	12.915
FÓRMULAS						
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2} \quad E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)} \quad \epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o} \quad \Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$						

ANEXO 23

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL
MATERIAL COMPUESTO.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE CABUYA ROLLOS (3 LAYERS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		ESCUELA DE ING. CIVIL				
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO								
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:				
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016				
ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM CABUYA 3 LAYERS ROLLOS								
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 1 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 3 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	93.000	3443.637	6.996	4.305	0.075	236.250	127.429	177.716
2	93.000	3487.833	6.139	4.360	0.051	645.000	125.769	251.135
3	94.000	3524.663	6.634	4.406	0.061	376.667	154.500	176.628
4	94.000	3498.882	7.263	4.374	0.077	646.667	103.333	178.989
5	100.000	3546.762	6.346	4.433	0.063	568.333	145.833	213.458
6	100.000	3167.409	4.799	3.959	0.048	536.667	125.238	141.996
Media		3444.864	6.363	4.306	0.063	501.597	130.350	189.987
Desviación Estándar		140.355	0.869	0.175	0.012	163.285	17.936	37.532
Coeficiente de Variación (%)		4.074	13.665	4.074	19.323	32.553	13.760	19.755
GRÁFICAS								
FÓRMULAS								
$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$		$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$		$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



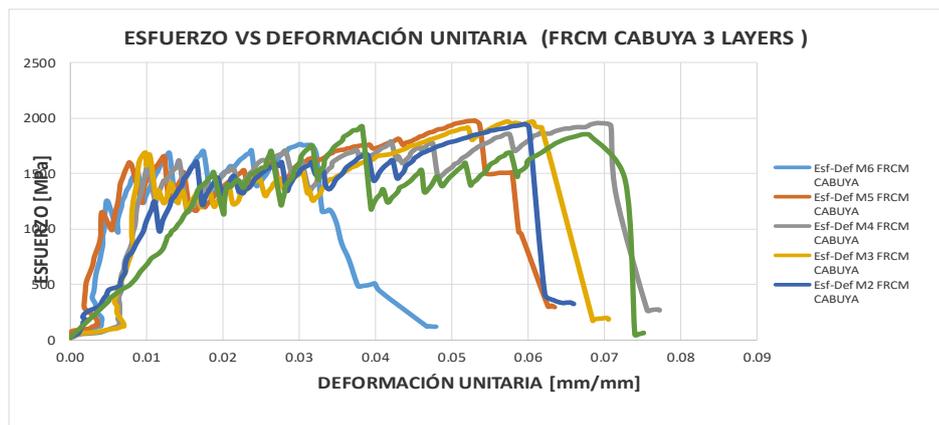
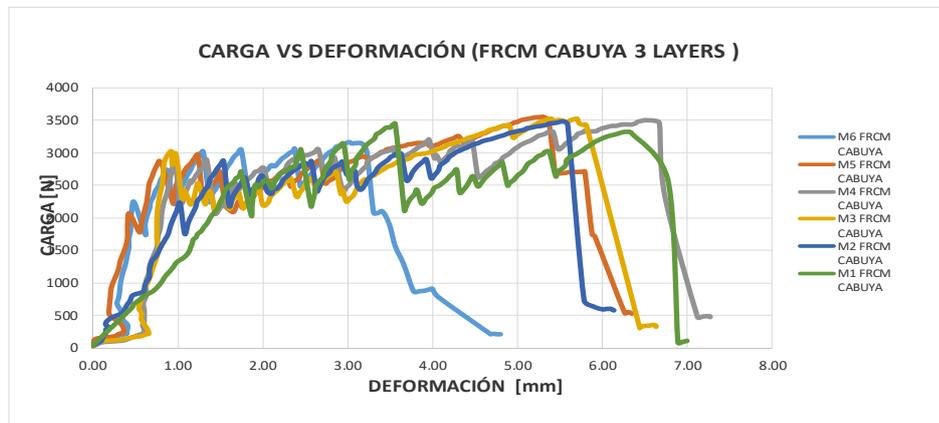
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016

ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM CABUYA 3 LAYERS ROLLOS

PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	93.000	3443.637	6.996	1923.819	0.075	79426.011
2	93.000	3487.833	6.139	1948.510	0.051	112239.103
3	94.000	3524.663	6.634	1969.086	0.061	78940.105
4	94.000	3498.882	7.263	1954.683	0.077	79995.004
5	100.000	3546.762	6.346	1981.431	0.063	95400.201
6	100.000	3167.409	4.799	1769.502	0.048	63461.952
Media		3444.864	6.363	1924.505	0.063	84910.396
Desviación Estándar		140.355	0.869	78.411	0.012	16773.872
Coeficiente de Variación (%)		4.074	13.665	4.074	19.323	19.755

GRÁFICAS



FÓRMULAS

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL
COMPUESTO FIBRA DE CABUYA SACOS (3 LAYERS)**



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

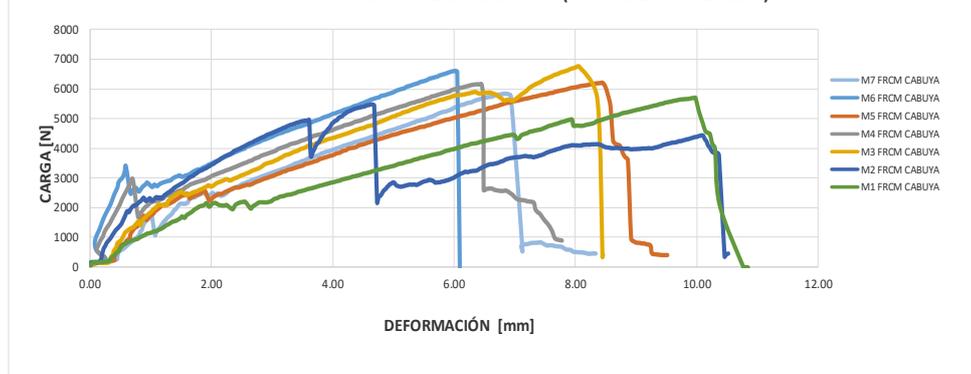
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016

ENSAYO DE TRACCIÓN FRCM CABUYA 3 LAYERS SACOS

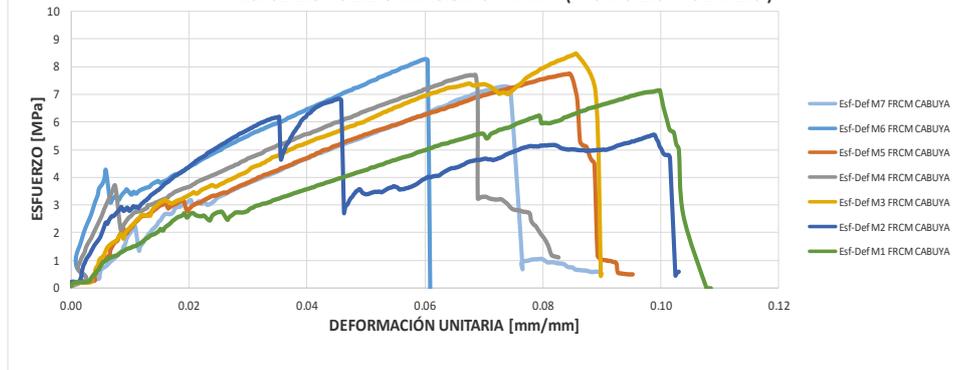
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 1 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 3 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	100.000	5697.653	10.846	7.122	0.108	380.000	65.593	70.491
2	102.000	5476.672	10.518	6.846	0.103	410.909	95.200	185.206
3	94.000	6758.367	8.457	8.448	0.090	353.333	92.000	111.092
4	94.000	6161.716	7.775	7.702	0.083	470.000	90.333	111.543
5	100.000	6191.180	9.524	7.739	0.095	370.000	75.116	94.221
6	100.000	6618.412	6.090	8.273	0.061	338.333	98.276	125.184
7	93.000	5830.243	8.329	7.288	0.090	332.000	83.542	103.886
Media		6150.667	8.868	7.688	0.090	387.096	86.086	116.289
Desviación Estándar		499.868	1.797	0.625	0.017	47.540	12.845	38.633
Coefficiente de Variación (%)		8.127	20.266	8.127	18.846	12.281	14.921	33.222

GRÁFICAS

CARGA VS DEFORMACIÓN (FRCM CABUYA 3 LAYERS)



ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (FRCM CABUYA 3 LAYERS)



FÓRMULAS

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL**



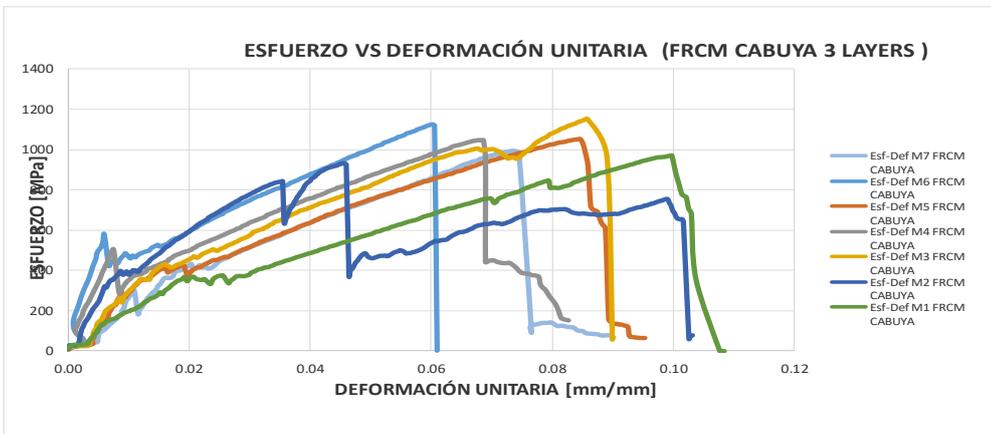
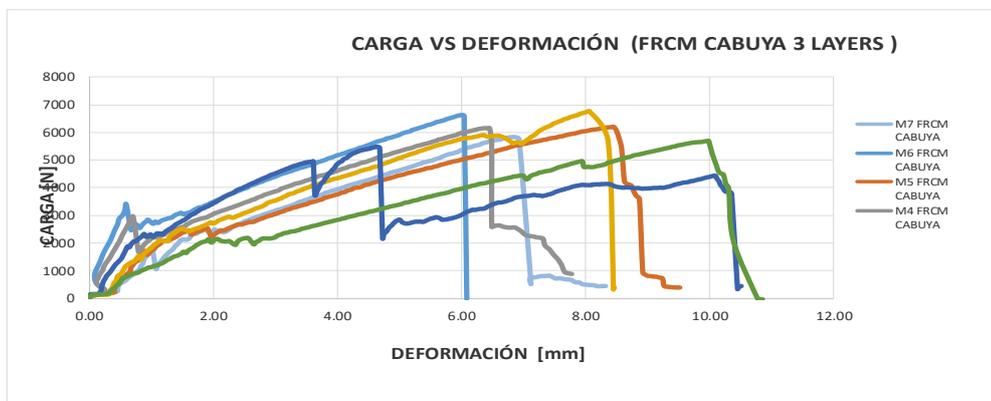
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016

ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM CABUYA 3 LAYERS SACOS

PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	100.000	5697.653	10.846	968.989	0.108	9590.545
2	102.000	5476.672	10.518	931.407	0.103	25198.037
3	94.000	6758.367	8.457	1149.382	0.090	15114.602
4	94.000	6161.716	7.775	1047.911	0.083	15175.928
5	100.000	6191.180	9.524	1052.922	0.095	12819.219
6	100.000	6618.412	6.090	1125.580	0.061	17031.808
7	93.000	5830.243	8.329	991.538	0.090	14134.123
Media		6150.667	8.868	1046.032	0.090	15821.690
Desviación Estándar		499.868	1.797	85.012	0.017	5256.220
Coeficiente de Variación (%)		8.127	20.266	8.127	18.846	33.222

GRÁFICAS



FÓRMULAS

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_l}{L_o}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE VIDRIO 230 (3 LAYERS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL								
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO								
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:							
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH							
FECHA DE ENSAYO:								
22/8/2016								
ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM VIDRIO 230 (3 LAYERS)								
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 1 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 3 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	100.000	2416.070	3.679	3.020	0.037	226.875	28.387	511.461
2	102.000	2257.700	3.008	2.822	0.029	232.500	73.333	613.832
3	94.000	1904.129	3.669	2.380	0.039	380.000	65.593	49.755
4	94.000	2408.704	4.778	3.011	0.051	392.258	64.815	398.772
5	100.000	2283.481	3.114	2.854	0.031	372.727	99.231	431.668
6	100.000	2283.481	3.114	2.854	0.031	315.385	123.333	364.520
Media		2258.928	3.560	2.824	0.036	319.957	75.782	395.001
Desviación Estándar		186.664	0.665	0.233	0.008	74.768	32.519	191.276
Coeficiente de Variación (%)		8.263	18.682	8.263	21.920	23.368	42.911	48.424
GRÁFICAS								
FÓRMULAS								
$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$			$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$			$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$		



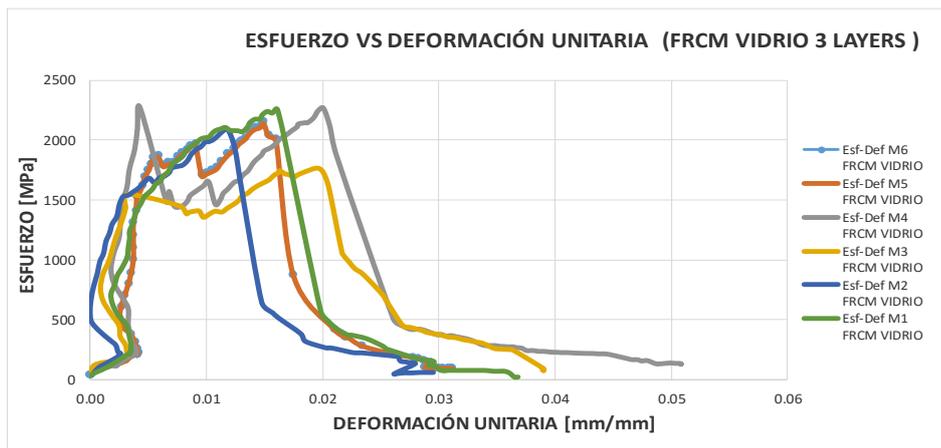
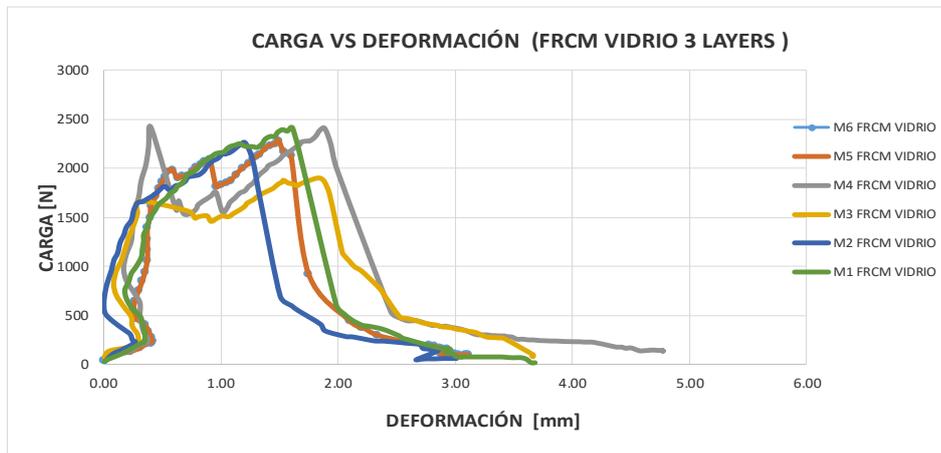
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016

ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM VIDRIO 230 (3 LAYERS)

PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	100.000	2416.070	3.679	2258.010	0.037	382401.101
2	102.000	2257.700	3.008	2090.463	0.029	454690.516
3	94.000	1904.129	3.669	1763.082	0.039	36855.484
4	94.000	2408.704	4.778	2272.362	0.051	300960.061
5	100.000	2283.481	3.114	2134.095	0.031	322742.699
6	100.000	2283.481	3.114	2154.227	0.031	275109.330
Media		2258.928	3.560	2112.040	0.036	295459.865
Desviación Estándar		186.664	0.665	185.210	0.008	142111.333
Coefficiente de Variación (%)		8.263	18.682	8.769	21.920	48.098

GRÁFICAS



FÓRMULAS

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$$

$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050 (2 LAYERS)

REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:				
Jhony Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016				
ENSAYO DE TRACCIÓN FRCM VIDRIO COMBIMAT 1050 (2 LAYERS)								
PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 1 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD ZONA 3 [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	97.000	6401.113	16.670	8.001	0.172	486.250	267.097	251.231
2	95.000	5793.412	25.436	7.242	0.268	503.077	111.538	489.781
3	97.000	5999.662	36.507	7.500	0.413	550.000	273.000	265.725
4	98.000	7623.880	33.019	9.530	0.337	571.000	289.200	315.709
5	98.000	7430.521	31.241	9.288	0.319	428.000	215.143	126.553
6	98.000	7460.353	36.360	9.325	0.371	492.308	220.952	408.104
Media		6784.824	29.872	8.481	0.313	505.106	229.488	309.517
Desviación Estándar		815.339	7.640	1.019	0.085	50.648	64.906	127.314
Coeficiente de Variación (%)		12.017	25.577	12.017	27.040	10.027	28.283	41.133
GRÁFICAS								
FÓRMULAS								
$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$			$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$			$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



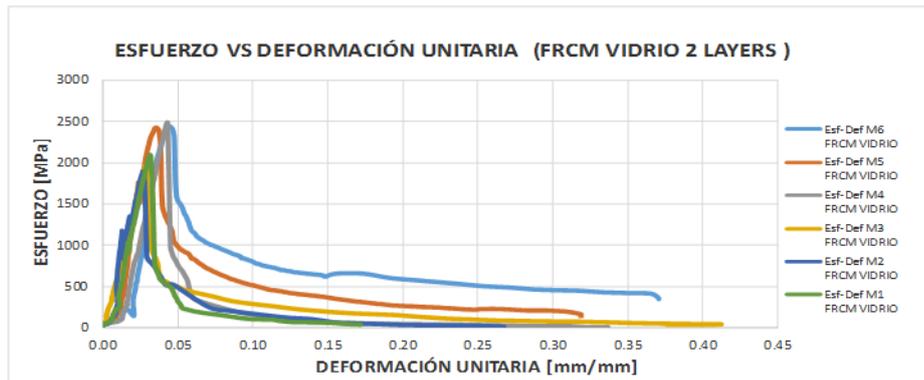
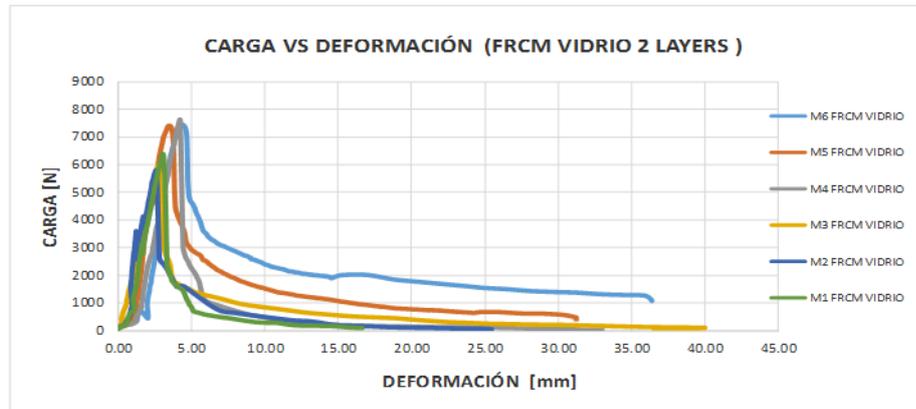
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016

ENSAYO DE TRACCIÓN FCRM VIDRIO COMBIMAT 1050 (2 LAYERS)

PROBETA	Lo[mm]	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN DE ROTURA	ESFUERZO MÁX. [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	97.000	6401.113	16.670	2091.867	0.172	65681.281
2	95.000	5793.412	25.436	1893.272	0.268	128047.208
3	97.000	5999.662	36.507	1960.674	0.413	69470.594
4	98.000	7623.880	33.019	2491.464	0.337	82538.400
5	98.000	7430.521	31.241	2428.275	0.319	33085.674
6	98.000	7460.353	36.360	2438.024	0.371	106693.908
Media		6784.824	29.872	2217.263	0.313	80919.511
Desviación Estándar		815.339	7.640	266.451	0.085	33284.583
Coeficiente de Variación (%)		12.017	25.577	12.017	27.040	41.133

GRÁFICAS



FÓRMULAS

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_l}{L_o}$$

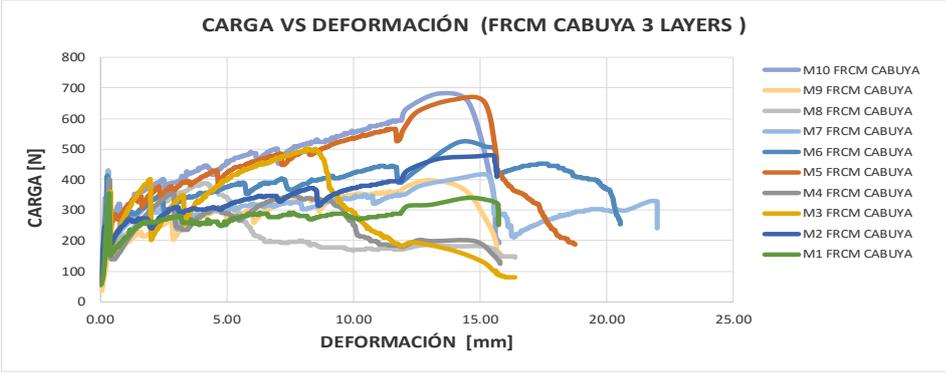
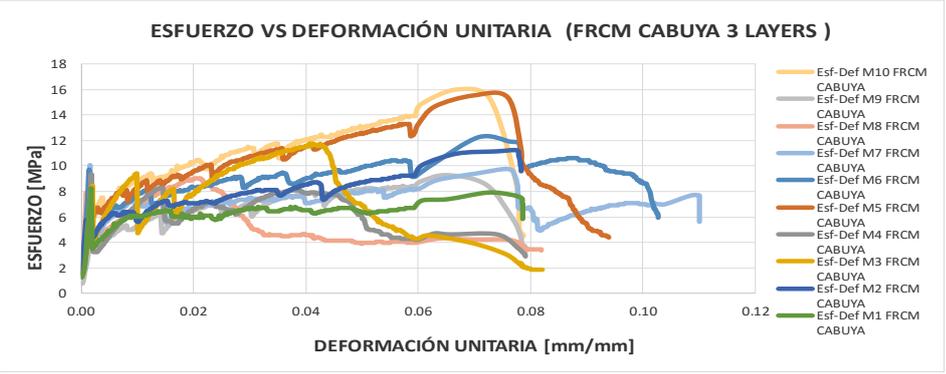
$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_l - 20\% \epsilon_i)}$$

ANEXO 24

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL
MATERIAL COMPUESTO.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE CABUYA ROLLOS (3 LAYERS)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL						
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO						
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:		FECHA DE ENSAYO:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		22/8/2016		
ENSAYO DE FLEXIÓN CABUYA ROLLOS (3 LAYERS)						
PROBETA	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN MÁX. [N]	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	DEFLEXIÓN MAX [mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	353.571	15.731	8.287	0.079	5.392	640.387
2	478.794	15.678	11.222	0.078	12.998	359.724
3	500.893	16.403	11.740	0.082	5.110	957.329
4	394.085	15.806	9.236	0.079	17.223	223.448
5	662.946	18.771	15.538	0.094	17.181	376.825
6	522.991	18.760	12.258	0.094	10.159	502.719
7	423.549	18.803	9.927	0.093	5.921	698.621
8	386.719	18.824	9.064	0.082	7.874	479.631
9	397.768	18.867	9.323	0.080	11.488	338.140
10	681.361	18.771	15.969	0.079	6.851	971.253
Media		17.641	11.256	0.084	10.020	554.808
Desviación Estándar		1.508	2.687	0.007	4.609	257.833
Coeficiente de Variación (%)		8.546	23.874	8.086	46.001	46.472
GRÁFICAS						
<p style="text-align: center;">CARGA VS DEFORMACIÓN (FRCM CABUYA 3 LAYERS)</p> 						
<p style="text-align: center;">ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (FRCM CABUYA 3 LAYERS)</p> 						
FÓRMULAS						
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2}$		$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$		$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$		$\Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE CABUYA SACOS (3 LAYERS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL								
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO								
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:							
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH							
FECHA DE ENSAYO:								
22/8/2016								
ENSAYO DE FLEXIÓN FRCM DE CABUYA (3 LAYERS)								
PROBETA	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN MÁX. [N]	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	DEFLEXIÓN MAX [mm]	ENERGÍA ABSORBIDA [J]	ENERGÍA DE FRACTURA [N]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	556.138	24.594	13.034	0.123	3.666	6.260	7825.000	1481.573
2	633.482	20.488	14.847	0.102	4.841	4.930	6162.500	1277.965
3	633.482	24.978	14.847	0.125	4.632	5.030	6287.500	1335.474
4	596.652	20.093	13.984	0.100	5.531	6.601	8251.250	1053.476
5	534.040	20.978	12.517	0.105	4.073	5.060	6325.000	1280.508
Media		22.226	13.846	0.111	4.549	5.576	6970.250	1285.799
Desviación Estándar		2.361	1.055	0.012	0.718	0.791	988.245	153.995
Coeficiente de Variación (%)		10.625	7.618	10.625	15.790	14.178	14.178	11.977
GRÁFICAS								
FÓRMULAS								
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2} \quad \epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o} \quad E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)} \quad \Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI} \quad E_T = \frac{Area_c}{b_v * d}$								

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE VIDRIO 230 (3 LAYERS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL							
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:						
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH						
FECHA DE ENSAYO:							
22/8/2016							
ENSAYO DE FLEXIÓN FCRM VIDRIO 230 (3 LAYERS)							
PROBETA	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN MÁX. [N]	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	DEFLEXIÓN MAX [mm]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	
1	386.719	7.722	9.064	0.039	11.265	335.245	
2	360.937	10.356	8.459	0.052	10.144	347.482	
3	261.495	8.191	6.129	0.041	6.018	424.334	
4	416.183	3.541	9.754	0.018	11.884	341.991	
5	309.375	12.830	7.251	0.064	8.950	337.560	
6	394.085	14.814	9.236	0.074	11.887	323.751	
7	401.451	4.447	9.409	0.022	12.109	323.751	
8	537.723	5.151	12.603	0.026	14.542	361.107	
9	309.375	13.129	7.251	0.066	12.419	243.281	
10	368.303	7.807	8.632	0.039	11.387	315.855	
Media		8.799	8.779	0.044	11.061	335.436	
Desviación Estándar		3.887	1.766	0.019	2.292	44.601	
Coeficiente de Variación (%)		44.181	20.120	44.181	20.726	13.297	
GRÁFICAS							
FÓRMULAS							
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2}$		$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o}$		$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$		$\Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI}$	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL

COMPUESTO FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050 (2 LAYERS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL								
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO								
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	FECHA DE ENSAYO:						
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	22/8/2016						
ENSAYO DE FLEXIÓN FRCM VIDRIO COMBIMAT 1050 (2 LAYERS)								
PROBETA	CARGA MÁX. [N]	DEFORMACIÓN MÁX. [N]	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁX. [mm/mm]	DEFLEXIÓN MAX [mm]	ENERGÍA ABSORBIDA [J]	ENERGÍA DE FRACTURA [N]	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]
1	570.870	29.596	13.380	0.148	6.532	4.990	6237.500	853.526
2	681.361	35.120	15.969	0.176	7.910	5.124	6405.000	841.243
3	618.750	35.302	14.502	0.177	7.984	5.245	6556.250	756.821
4	522.991	34.598	12.258	0.173	9.522	5.156	6445.000	536.392
5	696.093	34.747	16.315	0.174	36.202	7.540	9425.000	187.776
Media		33.872	14.485	0.169	13.630	5.611	7013.750	635.152
Desviación Estándar		2.407	1.713	0.012	12.662	1.082	1352.780	280.563
Coeficiente de Variación (%)		7.107	11.825	7.107	92.903	19.288	19.288	44.173
GRÁFICAS								
FÓRMULAS								
$\sigma_{max} = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b_v * d^2} \quad \epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_o} \quad E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)} \quad \Delta_{max} = \frac{F_{max} * L^3}{48 EI} \quad E_T = \frac{Area_c}{b_v * d}$								

ANEXO 25

RESULTADO DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL
MATERIAL COMPUESTO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE CABUYA ROLLOS (PRINCIPIO DE ARQUÍMIDES)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 06 -01	
DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO DE TEJIDO DE CABUYA ROLLOS 3 LAYERS EN ESTADO ENDURECIDO 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	520.00	g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$
Masa del recipiente + agua primera marca	3866.80	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4122.40	g	
Volumen	255.60	cm ³	
			Densidad del FRCM 1
			2.034 g/cm ³
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	488.00	g	Densidad del FRCM 2
Masa del recipiente + agua primera marca	3863.40	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4102.90	g	
Volumen	239.50	cm ³	
			2.038 g/cm ³
MUESTRA 3			
Masa de la Muestra	474.00	g	Densidad del FRCM 3
Masa del recipiente + agua primera marca	3847.20	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4077.10	g	
Volumen	229.90	cm ³	
			2.062 g/cm ³
MUESTRA 4			
Masa de la Muestra	512.00	g	Densidad del FRCM 4
Masa del recipiente + agua primera marca	3886.30	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4141.90	g	
Volumen	255.60	cm ³	
			2.003 g/cm ³
			MEDIA
			2.0342 g/cm ³
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			0.0241 g/cm ³
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			1.1828 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		NORMA INEN 856	
		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 06 - 01	
% DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE CABUYA ROLLOS 3 LAYERS 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la muestra seca al horno (A)	485.00	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \text{ [\%]}$
Masa en estado SSS (S)	520.00	g	
			% Absorción del FRCM 1
			7.216 %
MUESTRA 2			
Masa de la muestra seca al horno (A)	454.00	g	% Absorción del FRCM 2
Masa en estado SSS (S)	488.00	g	
			7.489 %
MUESTRA 3			
Masa de la muestra seca al horno (A)	432.00	g	% Absorción del FRCM 3
Masa en estado SSS (S)	474.00	g	
			9.722 %
MUESTRA 4			
Masa de la muestra seca al horno (A)	474.00	g	% Absorción del FRCM 4
Masa en estado SSS (S)	512.00	g	
			8.017 %
			MEDIA
			8.1111 %
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			1.1243 %
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			13.8608 %

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE CABUYA SACOS (PRINCIPIO DE ARQUÍMIDES)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			2016 - 06 - 01
DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO DE TEJIDO DE CABUYA SACOS 3 LAYERS EN ESTADO ENDURECIDO 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	518.00	g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$
Masa del recipiente + agua primera marca	3774.90	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4096.60	g	
Volumen	321.70	cm ³	
			Densidad del FRCM 1
			1.610
			g/cm ³
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	550.00	g	Densidad del FRCM 2
Masa del recipiente + agua primera marca	3833.50	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4138.10	g	
Volumen	304.60	cm ³	
			1.806
			g/cm ³
MUESTRA 3			
Masa de la Muestra	545.00	g	Densidad del FRCM 3
Masa del recipiente + agua primera marca	3834.49	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4128.10	g	
Volumen	293.61	cm ³	
			1.856
			g/cm ³
MUESTRA 4			
Masa de la Muestra	534.00	g	Densidad del FRCM 4
Masa del recipiente + agua primera marca	3820.60	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4120.50	g	
Volumen	299.90	cm ³	
			1.781
			g/cm ³
			MEDIA
			1.7632
			g/cm ³
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			0.1067
			g/cm ³
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			6.0525
			%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 06 - 01
% DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE CABUYA SACOS 3 LAYERS 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la muestra seca al horno (A)	460.00	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \text{ [\%]}$
Masa en estado SSS (S)	518.00	g	
			% Absorción del FRCM 1
			12.609
			%
MUESTRA 2			
Masa de la muestra seca al horno (A)	490.00	g	% Absorción del FRCM 2
Masa en estado SSS (S)	550.00	g	
			12.245
			%
MUESTRA 3			
Masa de la muestra seca al horno (A)	489.00	g	% Absorción del FRCM 3
Masa en estado SSS (S)	545.00	g	
			11.452
			%
MUESTRA 4			
Masa de la muestra seca al horno (A)	475.00	g	% Absorción del FRCM 4
Masa en estado SSS (S)	534.00	g	
			12.421
			%
			MEDIA
			12.1816
			%
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			0.5086
			%
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			4.1755
			%

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO 230 (PRINCIPIO DE ARQUÍMIDES)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 24
DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO DE LA FIBRA DE VIDRIO 230 3 LAYERS EN ESTADO ENDURECIDO 28 DIAS	
MUESTRA 1	
Masa de la Muestra	495.00 g
Masa del recipiente + agua primera marca	3868.30 g
Masa del recipiente + agua segunda marca	4105.50 g
Volumen	237.20 cm ³
$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Densidad del FRCM 1	
2.087 g/cm ³	
MUESTRA 2	
Masa de la Muestra	488.00 g
Masa del recipiente + agua primera marca	3878.00 g
Masa del recipiente + agua segunda marca	4112.40 g
Volumen	234.40 cm ³
Densidad del FRCM 2	
2.082 g/cm ³	
MUESTRA 3	
Masa de la Muestra	478.00 g
Masa del recipiente + agua primera marca	3886.50 g
Masa del recipiente + agua segunda marca	4122.40 g
Volumen	235.90 cm ³
Densidad del FRCM 3	
2.026 g/cm ³	
MUESTRA 4	
Masa de la Muestra	499.00 g
Masa del recipiente + agua primera marca	3875.70 g
Masa del recipiente + agua segunda marca	4117.30 g
Volumen	241.60 cm ³
Densidad del FRCM 4	
2.065 g/cm ³	
MEDIA	
2.0651 g/cm ³	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
0.0275 g/cm ³	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	
1.3298 %	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	NORMA INEN 856 FECHA DE ENSAYO: 2016 - 06 - 01
% DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO 230 3 LAYERS 28 DIAS	
MUESTRA 1	
Masa de la muestra seca al horno (A)	448.00 g
Masa en estado SSS (S)	495.00 g
$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \text{ [\%]}$	
% Absorción del FRCM 1	
10.491 %	
MUESTRA 2	
Masa de la muestra seca al horno (A)	438.00 g
Masa en estado SSS (S)	488.00 g
% Absorción del FRCM 2	
11.416 %	
MUESTRA 3	
Masa de la muestra seca al horno (A)	441.00 g
Masa en estado SSS (S)	478.00 g
% Absorción del FRCM 3	
8.390 %	
MUESTRA 4	
Masa de la muestra seca al horno (A)	456.00 g
Masa en estado SSS (S)	499.00 g
% Absorción del FRCM 4	
9.430 %	
MEDIA	
9.9316 %	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
1.3094 %	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	
13.1838 %	

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT (PRINCIPIO DE ARQUÍMIDES)

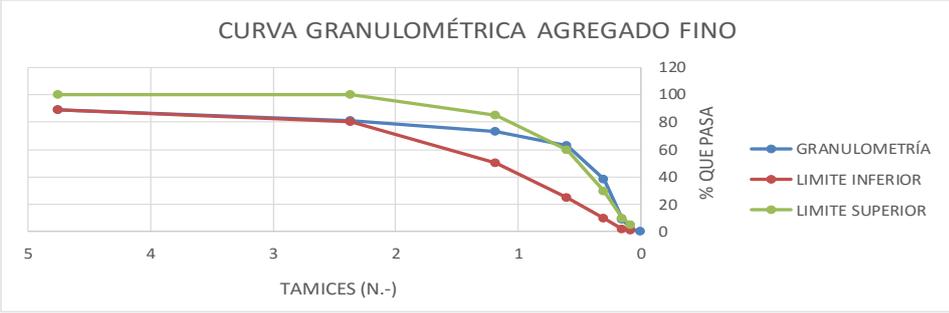
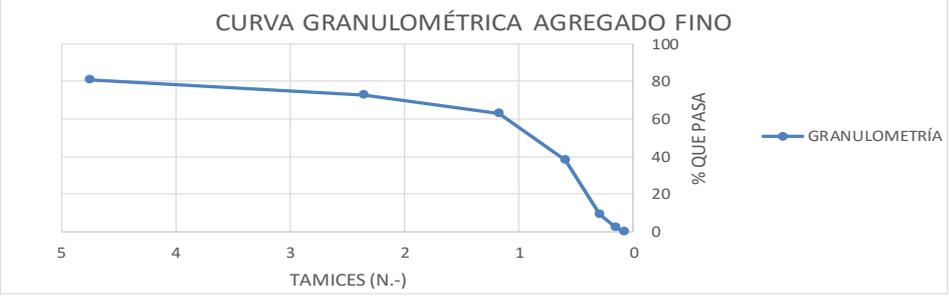
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 -24
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			
DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050 2 LAYERS EN ESTADO ENDURECIDO 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	502.00	g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$
Masa del recipiente + agua primera marca	3845.50	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4094.70	g	
Volumen	249.20	cm ³	
		Densidad del FRCM 1	2.014 g/cm ³
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	544.00	g	Densidad del FRCM 2
Masa del recipiente + agua primera marca	3844.80	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4115.00	g	
Volumen	270.20	cm ³	
		Densidad del FRCM 2	2.013 g/cm ³
MUESTRA 3			
Masa de la Muestra	500.00	g	Densidad del FRCM 3
Masa del recipiente + agua primera marca	3814.40	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4062.40	g	
Volumen	248.00	cm ³	
		Densidad del FRCM 3	2.016 g/cm ³
MUESTRA 4			
Masa de la Muestra	488.00	g	Densidad del FRCM 4
Masa del recipiente + agua primera marca	3866.70	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4109.50	g	
Volumen	242.80	cm ³	
		Densidad del FRCM 4	2.010 g/cm ³
MUESTRA 5			
Masa de la Muestra	507.00	g	Densidad del FRCM 5
Masa del recipiente + agua primera marca	3866.90	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	4118.70	g	
Volumen	251.80	cm ³	
		Densidad del FRCM 5	2.014 g/cm ³
			MEDIA
			2.0134 g/cm ³
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			0.0026 g/cm ³
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			0.1311 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 856 FECHA DE ENSAYO: 2016 - 06 - 01
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			
% DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO COMBIMAT 1050 2 LAYERS 28 DIAS			
MUESTRA 1			
Masa de la muestra seca al horno (A)	447.00	g	$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \text{ [\%]}$
Masa en estado SSS (S)	502.00	g	
		% Absorción del FRCM 1	12.304 %
MUESTRA 2			
Masa de la muestra seca al horno (A)	482.00	g	% Absorción del FRCM 2
Masa en estado SSS (S)	544.00	g	
		% Absorción del FRCM 2	12.863 %
MUESTRA 3			
Masa de la muestra seca al horno (A)	439.00	g	% Absorción del FRCM 3
Masa en estado SSS (S)	500.00	g	
		% Absorción del FRCM 3	13.895 %
MUESTRA 4			
Masa de la muestra seca al horno (A)	424.00	g	% Absorción del FRCM 4
Masa en estado SSS (S)	488.00	g	
		% Absorción del FRCM 4	15.094 %
MUESTRA 5			
Masa de la muestra seca al horno (A)	449.00	g	% Absorción del FRCM 5
Masa en estado SSS (S)	507.00	g	
		% Absorción del FRCM 5	12.918 %
			MEDIA
			13.4149 %
			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
			1.0996 %
			COEFICIENTE DE VARIACIÓN
			8.1970 %

ANEXO 26

RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO –
ARENA DE RIO (ASTM C136 – INEN 696, 2011).

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE RÍO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH		MUESTRA: Arena de Río	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño				FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12	
REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA					
Masa Inicial = 2000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL g.	PESO RETENIDO ACUMULADO g.	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
4	4.75	215	215	11	89
8	2.36	167	382	19	81
16	1.18	165	547	27	73
30	0.60	185	732	37	63
50	0.30	499	1231	62	38
100	0.15	579	1810	91	10
200	0.075	154	1964	98	2
Bandeja		34	1998	100	0
Masa Retenida		1998		444	356
Modulo de finura	4.4395		Error	0.100	
GRÁFICOS					
					
					
FÓRMULAS					
$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$					
$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado}$		$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$			
$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$					



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

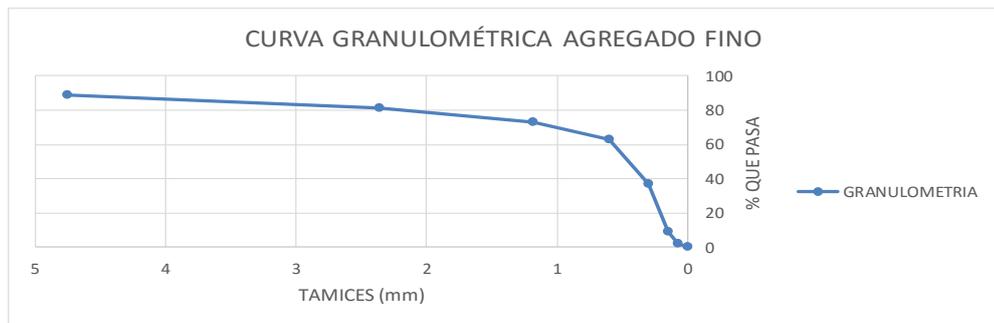
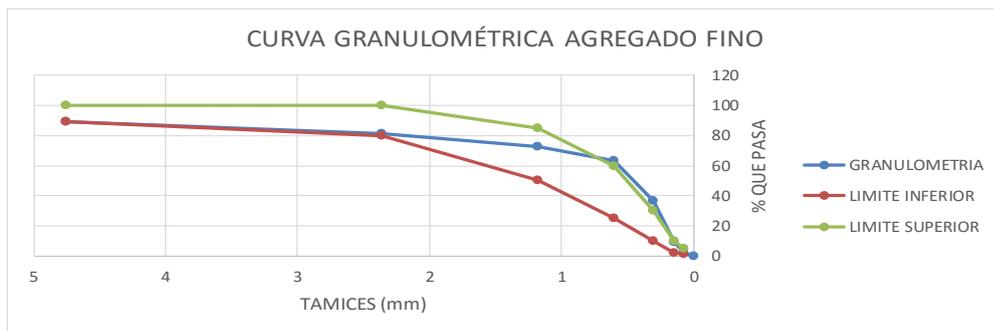
REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	MUESTRA: Arena de Rio
		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12

REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA

Masa Inicial = 2000 g

TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL g.	PESO RETENIDO ACUMULADO g.	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 4	4.75	216	216	11	89
N° 8	2.36	165	381	19	81
N° 16	1.18	169	550	28	73
N° 30	0.60	183	733	37	63
N° 50	0.30	525	1258	63	37
N° 100	0.15	571	1829	91	9
N° 200	0.075	136	1965	98	2
Bandeja		31	1996	100	0
Masa Retenida		1996		446	354
Modulo de finura	4.464		Error		0.200

GRÁFICOS



FÓRMULAS

$$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$$

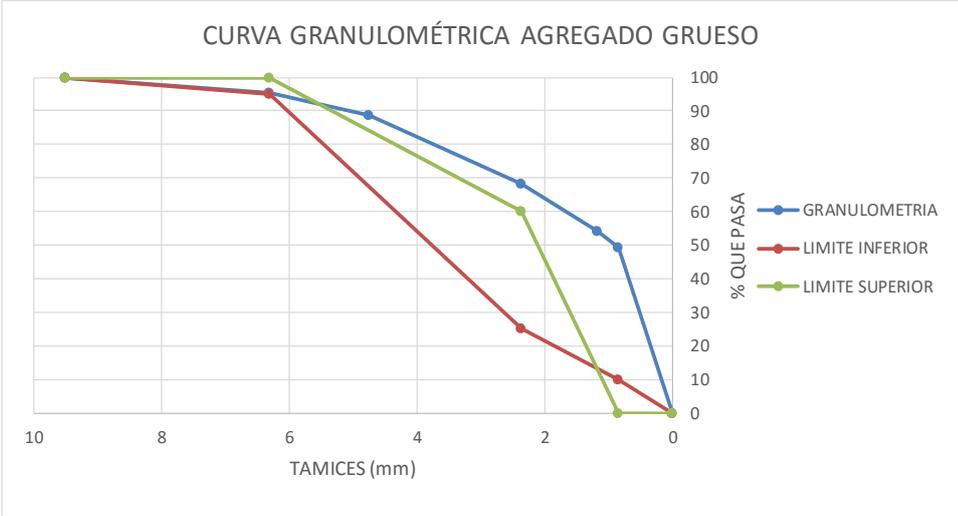
$$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$$

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$$

ANEXO 27

RESULTADO DE LA GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO –
RPIO TRITURADO (ASTM C136).

GRANULOMETRÍA DEL RIPIO TRITURADO PASANTE DE 3/8"

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		MUESTRA: Ripio triturado			
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12			
REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA					
Masa Inicial = 3000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	9.500	3	3	0	100
1/4"	6.30	131	134	4	96
N°4	4.750	205	339	11	89
N°8	2.36	609	948	32	68
N°16	1.180	424	1372	46	54
N°20	0.85	151	1523	51	49
Bandeja		1474	2997	100	0
Masa Retenida		2997		244	
Modulo de finura	2.43866667		Error (%)	0.100	
GRÁFICOS					
					
FÓRMULAS					
$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$					
$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$					
$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$					



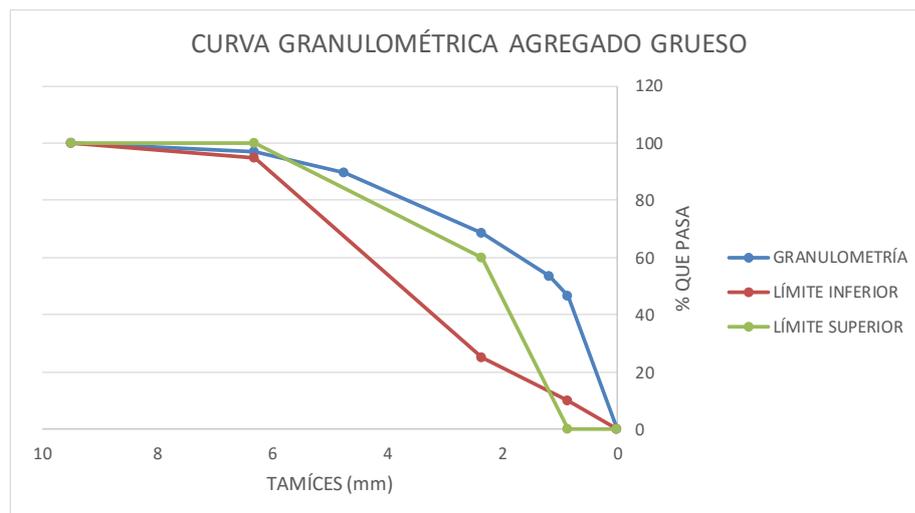
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	MUESTRA: Ripio triturado FECHA DE ENSAYO:
---	--	--

REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA

Masa Inicial = 3000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	9.500	5	5	0	100
1/4"	6.30	84	89	3	97
N°4	4.750	223	312	10	90
N°8	2.36	632	944	31	69
N°16	1.180	449	1393	46	54
N°20	0.85	210	1603	53	47
Bandeja		1391	2994	100	0
Masa Retenida		2994		245	
Modulo de finura	2.447		Error (%)	0.200	

GRÁFICO



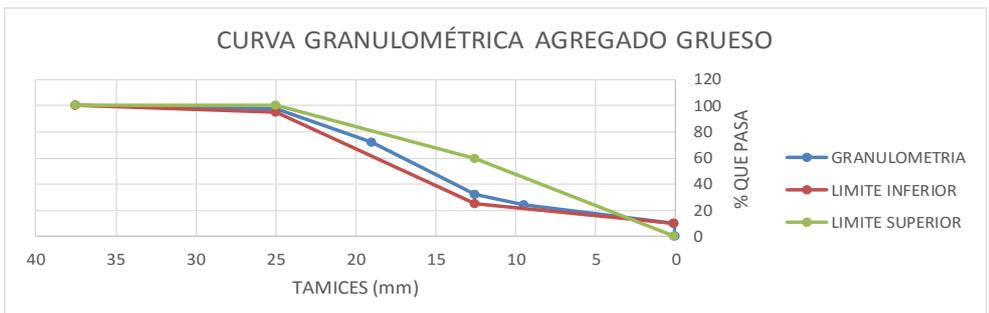
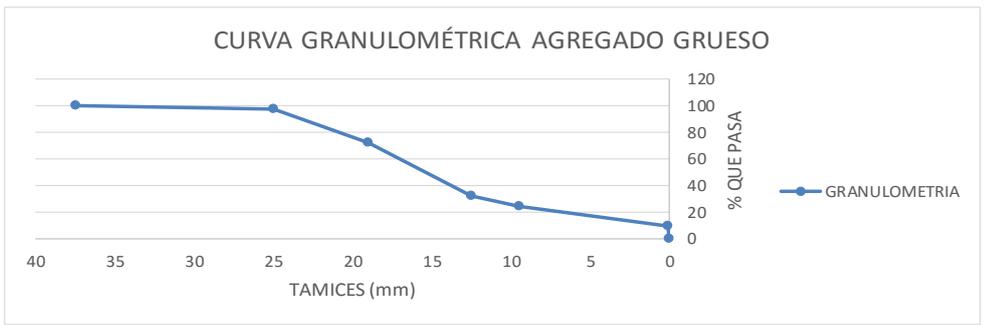
FÓRMULAS

$$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$$

$$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \quad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$$

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$$

GRANULOMETRÍA DEL RIPIO TRITURADO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO					
REALIZADO POR:		MUESTRA: Ripio triturado			
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12			
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH					
REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA					
Masa Inicial = 3000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	37.50	0	0	0	100
1"	25.00	63	63	2	98
3/4"	19.00	767	830	28	72
1/2"	12.50	1207	2037	68	32
3/8"	9.500	248	2285	76	24
N°4	0.075	420	2705	90	10
Bandeja		290	2995	100	0
Masa Retenida		2995		364	
Modulo de finura	3.638333333		Error		0.167
GRÁFICOS					
					
					
FÓRMULAS					
$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$					
$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$					
$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$					



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL



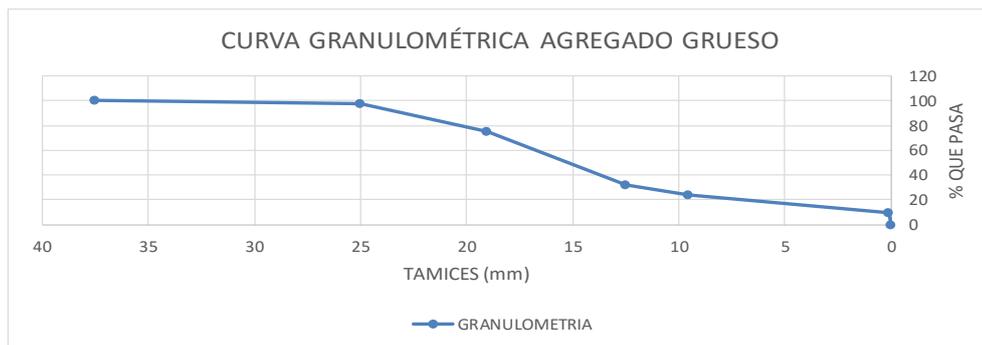
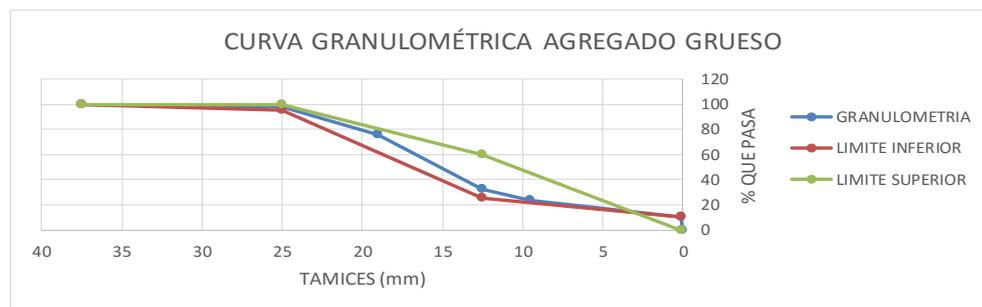
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR: Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	MUESTRA: Ripio triturado
		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 01 - 12

REGISTRO DE DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA

Masa Inicial = 3000 g					
TAMIZ N°	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	37.50	0	0	0	100
1"	25.00	61	61	2	98
3/4"	19.00	675	736	25	75
1/2"	12.50	1291	2027	68	32
3/8"	9.500	256	2283	76	24
N°4	0.075	420	2703	90	10
Bandeja		290	2993	100	0
Masa Retenida		2993		360	
Modulo de finura		3.601	Error		0.234

GRÁFICOS



FÓRMULAS

$$\% \text{Retenido acumulado} = \frac{\text{Masa retenida acumulada (g)}}{\text{Masa inicial (g)}} * 100$$

$$\% \text{Pasa} = 100\% - \% \text{Retenido Acumulado} \qquad \text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Pasa}}{100}$$

$$\% \text{Error} = \frac{\text{Masa inicial (g)} - \text{Masa final (g)}}{\text{Masa final (g)}} * 100$$

ANEXO 28

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA
UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO
GRUESO (INEN 858, 2010).

**ENSAYO DE MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO
FINO**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 858
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 28
MASA UNITARIA COMPACTADA DE LA ARENA DE RÍO NO TAMIZADA PARA EL HORMIGÓN		
Masa del Recipiente	2656.00	g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00	g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00	g
Temperatura del Agua	19.00	°C
Densidad del Agua	0.99849	g/cm3
Volumen del Recipiente	3036.00	cm3
M1= Arido compactado + Recipiente	7879.00	g
M2=Arido compactado + Recipiente	7901.00	g
M3= Arido compactado+ Recipiente	7930.00	g
Promedio masa (arido compactado + recipiente)	7903.33	g
Masa del arido compactado	5247.33	g
(MUC) Masa unitaria compactada	1.7284	g/cm3

**ENSAYO DE MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO
GRUESO**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 858
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO:
MASA UNITARIA COMPACTADA DEL RIPIO TRITURADO 3/8"		
Masa del Recipiente	2656.00	g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00	g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00	g
Temperatura del Agua	19.00	°C
Densidad del Agua	0.99849	g/cm3
Volumen del Recipiente	3036.00	cm3
M1= Arido compactado + Recipiente	7509.00	g
M2=Arido compactado + Recipiente	7677.00	g
M3= Arido compactado+ Recipiente	7759.00	g
Promedio masa (arido compactado + recipiente)	7648.33	g
Masa del arido compactado	4992.33	g
(MUC) Masa unitaria compactada	1.6444	g/cm3

ANEXO 29

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA
UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO

(INEN 858, 2010).

ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 		
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	NORMA INEN 858
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 28
MASA UNITARIA SUELTA DE LA ARENA DE RÍO NO TAMIZADA PARA EL HORMIGÓN		
Masa del Recipiente	2656.00	g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00	g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00	g
Temperatura del Agua	19.00	°C
Densidad del Agua	0.99849	g/cm3
Volumen del Recipiente	3036.00	cm3
M1= Arido suelto + Recipiente	7451.00	g
M2=Arido suelto + Recipiente	7471.00	g
M3= Arido suelto + Recipiente	7475.00	g
Promedio masa (arido suelto+recipiente)	7465.67	g
Masa del arido suelto	4809.67	g
(MUS) Masa unitaria suelta	1.5842	g/cm3

ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 		
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN:	NORMA INEN 858
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 28
MASA UNITARIA SUELTA DEL RIPIO TRITURADO 3/8"		
MUESTRA 1		
Masa del Recipiente	2656.00	g
Masa del Recipiente + Placa	4466.00	g
Masa Recipiente + Agua + Placa	7502.00	g
Temperatura del Agua	19.00	°C
Densidad del Agua	0.99849	g/cm3
Volumen del Recipiente	3036.00	cm3
M1= Arido suelto + Recipiente	6875.00	g
M2=Arido suelto + Recipiente	6907.00	g
M3= Arido suelto + Recipiente	6961.00	g
Promedio masa (arido suelto+recipiente)	6914.33	g
Masa del arido suelto	4258.33	g
(MUS) Masa unitaria suelta	1.4026	g/cm3

ANEXO 30

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA
DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO
SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 – INEN 856).

ENSAYO DE DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS)

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 10
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SSS) DE LA ARENA NO TAMIZADA (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)		$\delta_{sss} = \frac{S}{(B + S - C)}$
Masa del Picnómetro		417.500 g
Masa del picnómetro + agua(calibrado) (B)		1232.500 g
Masa del picnómetro + árido fino estado sss		918.000 g
Masa del picnómetro + rido fino estado + agua (C)		1539.500 g
Temperatura del agua		21.000 °C
Densidad del agua respecto a su temperatura		0.998 g/cm ³
Masa del Árido fino en estado SSS (S)		500.500 g
Volumen desalojado		193.500 g
Densidad relativa (gravedad específica) estado sss		2.587 g/cm ³

ANEXO 31

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA
DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO
SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C127 – INEN 857).

ENSAYO DE DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 		
SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO		
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	NORMA INEN 857
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		FECHA DE ENSAYO: 2016 - 07 - 07
DENSIDAD (SSS) DEL RIPIO TRITURADO TAMIZADO 3/8"		
MUESTRA 1		
Masa de la canastilla al aire	747.900	g
Masa de la canastilla + Agregado Grueso en estado SSS al aire	3247.200	g
Masa de la canastilla sumergida	648.500	g
Masa sumergida (canastilla + agregado grueso SSS)	2199.000	g
Temperatura del Agua	21.000	°C
Densidad del agua respecto a su Temperatura	0.998	g/cm3
Masa del Arido grueso Estado SSS	2499.300	g
Masa sumergida del arido grueso Estado SSS	1550.500	g
Volumen desalojado	946.978	cm3
DENSIDAD SSS	2.639	g/cm3
MUESTRA 2		
Masa de la canastilla al aire	747.900	g
Masa de la canastilla + Agregado Grueso en estado SSS al aire	3247.200	g
Masa de la canastilla sumergida	648.500	g
Masa sumergida (canastilla + agregado grueso SSS)	2196.900	g
Temperatura del Agua	21.000	°C
Densidad del agua respecto a su Temperatura	0.998	g/cm3
Masa del Arido grueso Estado SSS	2499.300	g
Masa sumergida del arido grueso Estado SSS	1548.400	g
Volumen desalojado	949.074	cm3
DENSIDAD SSS	2.633	g/cm3
MUESTRA 3		
Masa de la canastilla al aire	747.900	g
Masa de la canastilla + Agregado Grueso en estado SSS al aire	1985.900	g
Masa de la canastilla sumergida	648.500	g
Masa sumergida (canastilla + agregado grueso SSS)	1415.600	g
Temperatura del Agua	21.000	°C
Densidad del agua respecto a su Temperatura	0.998	g/cm3
Masa del Arido grueso Estado SSS	1238.000	g
Masa sumergida del arido grueso Estado SSS	767.100	g
Volumen desalojado	469.996	cm3
DENSIDAD SSS	2.634	g/cm3
MEDIA	2.636	g/cm3
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.003	g/cm3
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.121	%

ANEXO 32

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE
DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EN ESTADO
SUPERFICIALMENTE SECO.

**ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
DEL AGREGADO FINO Y GRUESO EN ESTADO
SUPERFICIALMENTE SECO.**

**ENSAYO DE % ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ARENA
DE RÍO**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 10
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
% DE ABSORCIÓN DE LA ARENA NO TAMIZADA	
$\%ABS = \frac{(S - A)}{A} \times 100$	
Muestra 1	
Masa Recipiente	151.40 g
Masa Recipiente + Arido SSS	736.90 g
Masa Recipiente + Arido Seco	633.00 g
Masa Arido Estado SSS (S)	585.50 g
Masa Arido Estado Seco (A)	481.60 g
% de Absorción Arido Fino	21.574 %
Muestra 2	
Masa Recipiente	496.50 g
Masa Recipiente + Arido SSS	1086.60 g
Masa Recipiente + Arido Seco	978.00 g
Masa Arido Estado SSS (S)	590.10 g
Masa Arido Estado Seco (A)	481.50 g
% de Absorción Arido Fino	22.555 %
Muestra 2	
Masa Recipiente	211.50 g
Masa Recipiente + Arido SSS	808.20 g
Masa Recipiente + Arido Seco	693.00 g
Masa Arido Estado SSS (S)	596.70 g
Masa Arido Estado Seco (A)	481.50 g
% de Absorción Arido Fino	23.925 %
MEDIA	22.685 %
DESVIACIÓN ESTÁDAR	1.181 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	5.206 %

**ENSAYO DE % ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO RIPIO
TRITURADO 3/8"**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 07 - 07
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	
% DE ABSORCIÓN DEL RIPIO TRITURADO 3/8" $\%ABS = \frac{(S - A)}{A} \times 100$	
MUESTRA 1	
Masa Recipiente	498.00 g
Masa Recipiente + Árido SSS	3107.00 g
Masa Recipiente + Árido Seco	2932.20 g
Masa Arido Estado SSS	2609.00 g
Masa Arido Estado Seco	2434.20 g
Masa de agua contenida en el Árido	174.80 g
% de Absorción Árido Grueso	7.181 %
MUESTRA 2	
Masa Recipiente	498.00 g
Masa Recipiente + Árido SSS	3143.00 g
Masa Recipiente + Árido Seco	2925.70 g
Masa Arido Estado SSS	2645.00 g
Masa Arido Estado Seco	2427.70 g
Masa de agua contenida en el Árido	217.30 g
% de Absorción Árido Grueso	8.951 %
MUESTRA 3	
Masa Recipiente	455.00 g
Masa Recipiente + Árido SSS	1752.00 g
Masa Recipiente + Árido Seco	1660.40 g
Masa Arido Estado SSS	1297.00 g
Masa Arido Estado Seco	1205.40 g
Masa de agua contenida en el Árido	91.60 g
% de Absorción Árido Grueso	7.599 %
MEDIA	7.910 %
VARIACIÓN ESTÁNDAR	0.9250561 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	11.6942746 %

ANEXO 33

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DENSIDAD EN ESTADO FRESCO
DEL HORMIGÓN (ASTM C138).

ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN (ASTM C138)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 04 - 08
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO 1:1,7:2,7	
Recipiente Vacío	2656.00 g
Recipiente + Agua + Vidrio	7502.00 g
Peso Del Vidrio	1812.00 g
$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	
Recipiente + Agua	5690.00 g
Recipiente + Hormigón 1	9569.00 g
Recipiente + Hormigón 2	9576.00 g
Recipiente + Hormigón 3	9603.00 g
Densidad del Agua	1.00 g/cm ³
Peso del Agua	3034.00 g
Volumen del agua	3034.00 cm ³
	DENSIDAD DEL HORMIGÓN 1: 1,7 : 2,7
	2.2785 g/cm ³
	DENSIDAD DEL HORMIGÓN 1: 1,7 : 2,7
	2.2808 g/cm ³
	DENSIDAD DEL HORMIGÓN 1: 1,7 : 2,7
	2.2897 g/cm ³
	MEDIA
	2.2830 g/cm ³
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	0.0059 g/cm ³
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
	0.2592 %

ANEXO 34

RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN

(ASTM C231).

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN (ASTM

C231)

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
FACULTAD DE INGENIERÍA			
ESCUELA DE ING. CIVIL			
SISTEMAS COMPUESTOS FCRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO: 2016 - 03 - 14	
Jhonny Guaman Marcela Pazmiño			
CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN 1:1.7:2.7			
LECTURA 1	2.40	%	MEDIA % 2.26
LECTURA 2	2.30	%	
LECTURA 3	2.30	%	DESVIACIÓN ESTÁNDAR % 0.11
LECTURA 4	2.20	%	COEFICIENTE DE VARIACIÓN % 5.05
LECTURA 5	2.10	%	

ANEXO 35

RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL
HORMIGÓN (ASTM C 1585).

ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DEL HORMIGÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING.CIVIL		SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO																	
REALIZADO POR:		UBICACIÓN:												FECHA DE ENSAYO 28 DIAS:					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño		Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH												2016 - 05 - 24					
ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL HORMIGÓN																			
Datos Previos		Tiempo [min]	Tiempo [seg]	[s] ^{1/2}	Especimen 1			Especimen 2			Especimen 3			Especimen 4			Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación [%]
Peso Muestras Secas					Masa [g]	Δ Masa [g]	l [mm]	Masa [g]	Δ Masa [g]	l [mm]	Masa [g]	Δ Masa [g]	l [mm]	Masa [g]	Δ Masa [g]	l [mm]			
Especimen 1 [g]		0	0	0.000	945.500	0.000	0.000	897.500	0.000	0.000	922.800	0.000	0.000	931.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Especimen 2 [g]		1	60	7.746	957.300	11.800	1.335	910.700	13.200	1.491	933.900	11.100	1.261	945.100	13.900	1.530	1.404	0.110	7.840
Especimen 3 [g]		3	180	13.416	963.200	17.700	2.003	916.000	18.500	2.090	939.800	17.000	1.932	947.700	16.500	1.816	1.960	0.100	5.119
Especimen 4 [g]		5	300	17.321	967.100	21.600	2.444	920.100	22.600	2.553	944.100	21.300	2.420	952.300	21.100	2.322	2.435	0.082	3.372
Especimen 1 [g]		10	600	24.495	973.600	28.100	3.179	926.600	29.100	3.287	950.400	27.600	3.136	959.200	28.000	3.081	3.171	0.076	2.381
Especimen 2 [g]		15	900	30.000	979.300	33.800	3.824	932.400	34.900	3.942	956.100	33.300	3.784	965.300	34.100	3.753	3.826	0.072	1.880
Especimen 3 [g]		20	1200	34.641	983.800	38.300	4.334	937.000	39.500	4.462	960.200	37.400	4.250	970.100	38.900	4.281	4.331	0.081	1.871
Especimen 4 [g]		60	3600	60.000	1003.100	57.600	6.517	957.300	59.800	6.755	979.100	56.300	6.397	990.700	59.500	6.548	6.554	0.129	1.965
Especimen 1 [mm ²]		90	5400	73.485	1010.100	64.600	7.309	963.300	65.800	7.432	985.800	63.000	7.158	996.300	65.100	7.164	7.266	0.114	1.563
Especimen 2 [mm ²]		120	7200	84.853	1017.100	71.600	8.101	969.200	71.700	8.099	992.400	69.600	7.908	1001.800	70.600	7.769	7.969	0.140	1.753
Especimen 3 [mm ²]		360	21600	146.969	1019.800	74.300	8.407	971.800	74.300	8.393	997.000	74.200	8.431	1005.300	74.100	8.154	8.346	0.112	1.337
Especimen 4 [mm ²]		1440	86400	293.939	1021.300	75.800	8.577	973.100	75.600	8.539	998.300	75.500	8.579	1006.600	75.400	8.297	8.498	0.117	1.375

GRÁFICA



ANEXO 36

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL
CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES).

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES)

ENSAYO DE DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING.CIVIL 			
SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO			
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH	FECHA DE ENSAYO:
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño			
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO 28 DÍAS			
MUESTRA 1			
Masa de la Muestra	625.00	g	$\delta = \frac{m}{v} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$
Masa del recipiente + agua primera marca	1003.60	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	1279.90	g	
Volumen	276.30	cm ³	
		Densidad del hormigón 1	2.262 g/cm ³
MUESTRA 2			
Masa de la Muestra	621.20	g	Densidad del hormigón 2
Masa del recipiente + agua primera marca	1008.90	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	1282.30	g	
Volumen	273.40	cm ³	
		Densidad del hormigón 2	2.272 g/cm ³
MUESTRA 3			
Masa de la Muestra	628.50	g	Densidad del hormigón 3
Masa del recipiente + agua primera marca	1012.30	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	1290.90	g	
Volumen	278.60	cm ³	
		Densidad del hormigón 3	2.256 g/cm ³
MUESTRA 4			
Masa de la Muestra	636.50	g	Densidad del hormigón 4
Masa del recipiente + agua primera marca	1011.50	g	
Masa del recipiente + agua segunda marca	1290.90	g	
Volumen	279.40	cm ³	
		Densidad del hormigón 4	2.278 g/cm ³
MEDIA			2.2670 g/cm ³
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			0.0099 g/cm ³
COEFICIENTE DE VARIACIÓN			0.4387 %

ENSAYO DE % ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	
REALIZADO POR:	NORMA INEN 856
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño	UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH FECHA DE ENSAYO: 2016 - 05 - 24
% DE ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN 28 DIAS	
MUESTRA 1	
Masa de la muestra seca al horno (A)	577.00 g
Masa en estado SSS (S)	625.00 g
$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \text{ [%]}$	
% Absorción del hormigón	
8.319 %	
MUESTRA 2	
Masa de la muestra seca al horno (A)	572.30 g
Masa en estado SSS (S)	621.20 g
% Absorción del hormigón	
8.544 %	
MUESTRA 3	
Masa de la muestra seca al horno (A)	580.50 g
Masa en estado SSS (S)	628.50 g
% Absorción del hormigón	
8.269 %	
MUESTRA 4	
Masa de la muestra seca al horno (A)	587.30 g
Masa en estado SSS (S)	636.50 g
% Absorción del hormigón	
8.377 %	
MEDIA	
8.3774 %	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
0.1199 %	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	
1.4315 %	

ANEXO 37

RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO DE CEMENTO HIDRAULICO (INEN 1572 – 1576).

DOSIFICACIONES DEL HORMIGÓN

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING.CIVIL 							
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH			FECHA DE ENSAYO:		
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño					2016 - 02 - 03		
REGISTRO DE DOSIFICACIONES DE CILINDROS DE CONTROL A LOS 7 DÍAS							
DOSIFICACIÓN	CEMENTO (kg)	ARENA (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (kg)	a/c (seco)	a/c (fluido)	ASENTAMIENTO (cm)
1:1.5:2.5	4.80	7.20	12.00	2.88	0.550	0.60	3.00
1:1.7:2.7	4.44	7.56	12.00	2.78	0.600	0.625	3.00
1:1.8:2.8	6.43	11.57	18.00	5.30	0.600	0.825	4.00
1:1.8:2.8	6.43	11.57	18.00	3.54	0.500	0.550	3.00
1:1.7:2.7	4.44	7.56	12.00	3.33	0.625	0.75	3.5

ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1572-1576) (PRIMER DIA DE FUNDICIÓN)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. CIVIL**



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

REALIZADO POR:

Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño

UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH

REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS

7 DÍAS (PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN)

DOSIFICACIÓN	a/c	ASENTAMIENTO (cm)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	hprom (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	Dprom (mm)	Peso (Kg)	Área (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (N/mm ²)
1:1.7:2.7	0.68	8.000	302.000	301.000	300.000	301.000	150.010	150.100	150.055	12.043	17684.420	252.662	205897.078	11.643
1:1.7:2.7	0.66	8.000	300.000	303.000	302.000	301.667	151.060	151.480	151.270	12.388	17971.962	331.226	269919.757	15.019
1:1.7:2.7	0.65	7.000	302.000	302.000	301.000	301.667	150.170	152.170	151.170	12.231	17948.209	244.173	198979.298	11.086
1:1.7:2.7	0.65	7.000	303.000	300.000	301.000	301.333	154.050	149.700	151.875	12.151	18116.006	261.716	213275.284	11.773
MEDIA														12.380
DESVIACIÓN ESTÁNDAR														1.784
COEFICIENTE DE VARIACIÓN														14.411

14 DÍAS (PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN)

1:1.7:2.7	0.68	8.000	305.000	304.000	306.000	305.000	151.640	151.490	151.565	12.362	18042.127	335.770	273622.713	15.166
1:1.7:2.7	0.66	8.000	306.000	304.000	306.000	305.333	151.960	151.870	151.915	12.476	18125.550	433.280	353084.699	19.480
1:1.7:2.7	0.65	7.000	306.000	303.000	306.000	305.000	151.520	151.790	151.655	12.354	18063.560	390.417	318155.163	17.613
MEDIA														17.420
DESVIACIÓN ESTÁNDAR														2.164
COEFICIENTE DE VARIACIÓN														12.420

21 DÍAS (PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN)

1:1.7:2.7	0.68	8.000	301.000	303.000	302.000	302.000	150.760	151.600	151.180	12.255	17950.583	354.397	288802.063	16.089
1:1.7:2.7	0.66	8.000	303.000	301.000	303.000	302.333	151.450	151.970	151.710	12.387	18076.665	468.870	382087.386	21.137
1:1.7:2.7	0.65	7.000	302.000	303.000	302.000	302.333	151.940	152.110	152.025	12.342	18151.809	365.421	297785.644	16.405
MEDIA														17.877
DESVIACIÓN ESTÁNDAR														2.828
COEFICIENTE DE VARIACIÓN														15.818

28 DÍAS (PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN)

1:1.7:2.7	0.68	8.000	301.000	302.000	301.000	301.333	151.580	151.260	151.420	12.188	18007.622	407.009	331676.168	18.419
1:1.7:2.7	0.68	8.000	303.000	302.000	303.000	302.667	151.810	151.730	151.770	12.257	18090.966	385.350	314026.008	17.358
1:1.7:2.7	0.66	8.000	302.000	303.000	302.000	302.333	152.160	151.450	151.805	12.401	18099.311	470.098	383088.097	21.166
1:1.7:2.7	0.65	7.000	304.000	303.000	304.000	303.667	151.940	151.800	151.870	12.326	18114.814	406.068	330909.337	18.267
MEDIA														18.930
DESVIACIÓN ESTÁNDAR														1.989
COEFICIENTE DE VARIACIÓN														10.505

35 DÍAS (PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN)

1:1.7:2.7	0.68	8.000	300.000	301.000	301.000	300.667	149.780	148.770	149.275	12.276	17501.047	406.964	331639.497	18.950
1:1.7:2.7	0.66	8.000	300.000	300.000	301.000	300.333	150.900	151.560	151.230	11.923	17962.459	468.687	381938.257	21.263
1:1.7:2.7	0.65	7.000	303.000	304.000	303.000	303.333	151.850	151.120	151.485	12.349	18023.086	396.660	323242.653	17.935
MEDIA														19.383
DESVIACIÓN ESTÁNDAR														1.706
COEFICIENTE DE VARIACIÓN														8.801

ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1572-1576) (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA													ESCUELA DE ING. CIVIL	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO																
REALIZADO POR:					UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH											
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño					REGISTRO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS											
7 DÍAS (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)																
DOSIFICACIÓN	a/c	ASENTAMIENTO (cm)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h _{prom} (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D _{prom} (mm)	Peso (Kg)	Área (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (N/mm ²)		
1:1.7:2.7	0.64	7.500	303.000	305.000	303.000	303.667	150.450	151.730	151.090	12.500	17929.217	288.190	234849.241	13.099		
1:1.7:2.7	0.61	7.500	305.000	305.000	305.000	305.000	151.160	150.260	150.710	12.558	17839.144	365.324	297706.597	16.688		
1:1.7:2.7	0.64	7.000	305.000	301.000	306.000	304.000	151.880	151.530	151.705	12.682	18075.473	333.330	271634.330	15.028		
MEDIA													14.938			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													1.797			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN													12.026			
14 DIAS (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)																
1:1.7:2.7	0.64	7.500	303.000	303.000	304.000	303.333	151.510	150.360	150.935	12.468	17892.449	389.434	317354.105	17.737		
1:1.7:2.7	0.64	7.000	305.000	307.000	306.000	306.000	151.540	151.400	151.470	12.730	18019.516	402.255	327802.081	18.192		
MEDIA													17.964			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													0.322			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN													1.790			
21 DIAS (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)																
1:1.7:2.7	0.64	7.500	304.000	303.000	304.000	303.667	152.190	152.080	152.135	12.412	18178.086	420.804	342917.867	18.864		
1:1.7:2.7	0.61	7.500	300.000	300.000	300.000	300.000	152.100	148.140	150.120	12.072	17699.744	479.467	390723.000	22.075		
1:1.7:2.7	0.64	7.000	304.000	304.000	305.000	304.333	152.440	151.630	152.035	12.723	18154.197	442.838	360873.619	19.878		
MEDIA													20.977			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													1.641			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN													7.824			
28 DIAS (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)																
1:1.7:2.7	0.61	7.500	303.000	304.000	303.000	303.333	151.690	151.720	151.705	12.368	18075.473	411.482	335321.266	18.551		
1:1.7:2.7	0.61	7.500	300.000	301.000	300.000	300.333	151.380	151.910	151.645	12.383	18061.178	477.160	388843.000	21.529		
1:1.7:2.7	0.64	7.000	302.000	303.000	302.000	302.333	151.900	151.700	151.800	12.651	18098.118	425.701	346908.487	19.168		
MEDIA													20.349			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													1.572			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN													7.724			
35 DIAS (SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN)																
1:1.7:2.7	0.61	7.500	304.000	305.000	304.000	304.333	151.650	151.410	151.530	12.428	18033.795	484.364	394713.619	21.887		
1:1.7:2.7	0.61	7.500	302.000	303.000	304.000	303.000	151.510	151.440	151.475	12.407	18020.706	507.340	413437.018	22.942		
MEDIA													22.415			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													0.746			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN													3.328			

ANEXO 38

RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DEL
ASENTAMIENTO EN HORMIGONES DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN
1578 – ASTM C143).

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE ASENTAMIENTO DE HORMIGONES HIDRÁULICOS

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA					
		ESCUELA DE ING. CIVIL					
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO							
REALIZADO POR:			UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH			FECHA DE ENSAYO: 2016 - 08 - 15	
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño							
ENSAYO DE ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN							
PRIMER DÍA DE FUNDICIÓN				SEGUNDO DÍA DE FUNDICIÓN			
7 DÍAS				7 DÍAS			
DOSIFICACIÓN	a/c	ASENTAMIENTO (cm)	DOSIFICACIÓN	a/c	ASENTAMIENTO (cm)	DOSIFICACIÓN	a/c
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.64	7.500	1:1.7:2.7	0.61
1:1.7:2.7	0.66	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.65	7.000	1:1.7:2.7	0.64	7.000	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.65	7.000					
14 DÍAS				14 DÍAS			
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.64	7.500	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.66	8.000	1:1.7:2.7	0.64	7.000	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.65	7.000	1:1.7:2.7	0.64	7.000	1:1.7:2.7	0.64
21 DÍAS				21 DÍAS			
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.64	7.500	1:1.7:2.7	0.61
1:1.7:2.7	0.66	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.65	7.000	1:1.7:2.7	0.64	7.000	1:1.7:2.7	0.64
28 DÍAS				28 DÍAS			
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.61
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.66	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.64
1:1.7:2.7	0.65	7.000	1:1.7:2.7	0.64	7.000	1:1.7:2.7	0.64
35 DÍAS				35 DÍAS			
1:1.7:2.7	0.68	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.61
1:1.7:2.7	0.66	8.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.61
1:1.7:2.7	0.65	7.000	1:1.7:2.7	0.61	7.500	1:1.7:2.7	0.61

ANEXO 39

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, A LA
COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL METODO BRASILEÑO (ASTM
C496M).

**ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL MÉTODO BRASILEÑO
(ASTM C496M)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 																	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO																	
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH										NORMA ASTM C 496M					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño												FECHA DE ENSAYO 28 DIAS: 2016 - 10 - 03					
TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL EN ESPECIMENES CILINDRICOS DE HORMIGON																	
FUNDICIÓN	PROBETA	ASENT. [cm]	a/c	PESO [kg]	Dpromedio [mm]	Hpromedio [mm]	CARGA MÁX. [kN]	CARGA MAX. [N]	RESISTENCIA POR COMP. DIAM. [MPa]	PROMEDIO RESISTENCIA POR COMP. DIAM. [MPa]	f'c [MPa]	MR (ft) Neville [MPa]	MR/f'c	VALORES REFERENCIALES			
														ft Neville [MPa]	MR (ft) Neville [MPa]	MR (f'c) ACI [MPa]	MR/f'c
PRIMER DÍA	1	8.00	0.68	12.22	151.66	304.67	122.21	122212.00	1.68	2.05	18.00	2.74	0.15	2.06	2.75	2.69	0.15
	2	8.00	0.66	12.36	151.20	304.33	169.17	169172.00	2.34								
	3	7.00	0.65	12.41	151.69	304.33	154.96	154955.00	2.14								
SEGUNDO DÍA	1	7.50	0.61	12.45	151.57	300.67	151.54	151536.00	2.12	2.03	18.00	2.71	0.15				
	2	7.00	0.64	12.31	151.01	300.33	138.85	138852.60	1.95								
MEDIA										2.043	$f_t = \frac{2 * P}{\pi * l * d}$						
DESVIACIÓN ESTÁNDAR										0.015							
COEFICIENTE DE VARIACIÓN										0.718							

ANEXO 40

RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

**ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL MÉTODO BRASILEÑO
(ASTM C496M)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ING. CIVIL 																	
SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO																	
REALIZADO POR:		UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales UNACH										NORMA ASTM C 496M					
Jhonny Guaman, Marcela Pazmiño												FECHA DE ENSAYO 28 DIAS: 2016 - 10 - 03					
TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL EN ESPECIMENES CILINDRICOS DE HORMIGON																	
FUNDICIÓN	PROBETA	ASENT. [cm]	a/c	PESO [kg]	Dpromedio [mm]	Hpromedio [mm]	CARGA MÁX. [kN]	CARGA MAX. [N]	RESISTENCIA POR COMP. DIAM. [MPa]	PROMEDIO RESISTENCIA POR COMP. DIAM. [MPa]	f'c [MPa]	MR (ft) Neville [MPa]	MR/f'c	VALORES REFERENCIALES			
														ft Neville [MPa]	MR (ft) Neville [MPa]	MR (f'c) ACI [MPa]	MR/f'c
PRIMER DÍA	1	8.00	0.68	12.22	151.66	304.67	122.21	122212.00	1.68	2.05	18.00	2.74	0.15	2.06	2.75	2.69	0.15
	2	8.00	0.66	12.36	151.20	304.33	169.17	169172.00	2.34								
	3	7.00	0.65	12.41	151.69	304.33	154.96	154955.00	2.14								
SEGUNDO DÍA	1	7.50	0.61	12.45	151.57	300.67	151.54	151536.00	2.12	2.03	18.00	2.71	0.15				
	2	7.00	0.64	12.31	151.01	300.33	138.85	138852.60	1.95								
MEDIA										2.043	$f_t = \frac{2 * P}{\pi * l * d}$						
DESVIACIÓN ESTÁNDAR										0.015							
COEFICIENTE DE VARIACIÓN										0.718							

ANEXO 41

DISEÑO DE LA COLUMNA CONCÉNTRICA.

DISEÑO DE COLUMNA

Para el diseño de la columna tomamos como referencia una columna real y trabajaremos

Con una escala 1: 3.

ESCALA	ALTURA DE ENTRE PISO (m)	COLUMNA (cm)
REAL	2,70	30 x 30
1:3	0,90	10,0 x 10,0

Para la columna a escala de dimensiones 10 x 10 x 90 cm, primero determinaremos el area bruta de la columna:

$$A_g = b \times h$$

$$A_g = 10,0 \times 10,0$$

$$A_g = 100 \text{ cm}^2$$

Cuantía máxima de refuerzo longitudinal (NEC-SE-HM, pág. 53):

$$0,01 \leq \frac{\rho_s}{A_g} \leq 0,03$$

Para la determinacion del acero de la columna a escala se tomara una cuantia menor al 1,00 % del area bruta de la columna para simular las condiciones desfavorables de una columna con problemas de resistencia.

Cuantía máxima y minima de refuerzo longitudinal (NEC-SE-HM):

$$0,01 \leq \frac{\rho_s}{A_g} \leq 0,03$$

$$0,01 \leq 0,0080 \leq 0,03$$

Nota: No está dentro del rango ya que simularemos una columna con problemas de resistencia

$$A_{st \text{ asumido}} = 0,80\% A_g$$

$$A_{st} = \frac{0,80\% * A_g}{100\%}$$

$$A_{st} = \frac{0,80\% * 100 \text{ cm}^2}{100\%}$$

$$A_{st} = 0,80 \text{ cm}^2$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (0,42)^2}{4}$$

$$A_{varilla} = 0,139 \text{ cm}^2$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

$$\#_{varillas} = \frac{0,80 \text{ cm}^2}{0,139 \text{ cm}^2}$$

$$\#_{varillas} = 5,75 \text{ varillas} \cong 6 \text{ varillas}$$

Según la NEC deberíamos tener un Ast mínimo del 1% del area bruta, por lo tanto se debería usar **8 ϕ 4,2 mm.**

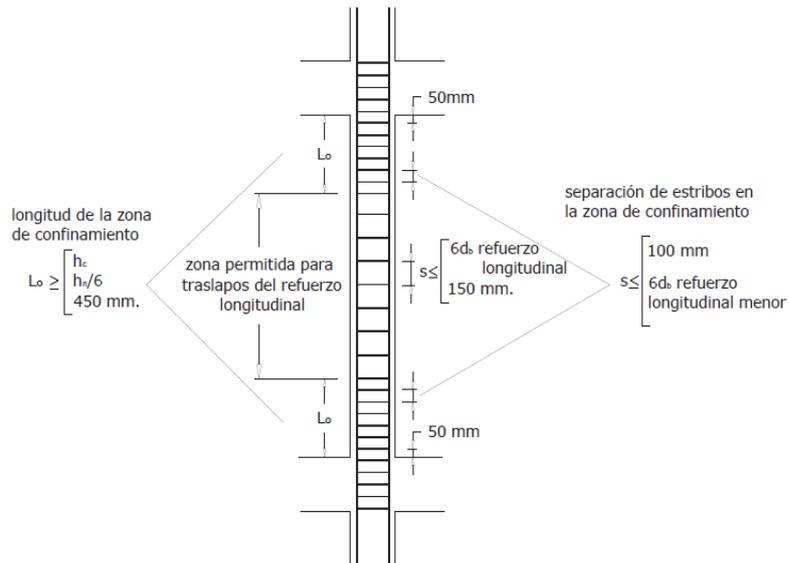
Determinamos las separaciones del acero trasversal usando la NEC 2015, Estructuras de Hormigon Armado (Codigo NEC- SE- HM):

Utilizaremos un recubrimiento de 4 cm por lo tanto a una escala de 1:3, el recubrimiento es de 1,33 cm.

1.-Control de espaciamento

$S \geq$	3.75 cm
	1.5 db (diametro de la varilla de mayor diametro)
	1.5*(2*diametro dela particula)
$S \geq$	3.75/3= 1.25 cm
	1.5 * (0.42) =0.63cm
	1.5*(3/8")=0.95 cm

Refuerzo trasversal a lo largo del eje longitudinal del elemento, (Codigo NEC- SE- HM, pag. 55):



Longitud de confinamiento L_o

$L_o \geq$	$hc/6$ (hc = altura de entre piso)
	h (h =dimension mayor de seccion)
	450mm
$L_o \geq$	$(2700/6)/3= 150$ mm
	$h=100$ mm
	$(450)/3=150$ mm

Espaciamiento en la zona de confinamiento

$S \geq$	100 mm
	6 db (diametro de la varilla longitudinal)
	Dimension $>/4$
$S \geq$	$100/3= 33.3$ mm
	$6 * (4.2) =25.2$ mm
	$(300/4)/3=25$ mm

Espaciamiento en la zona no confinada

$S \geq$	6 db (diametro de la varilla longitudinal)
	150 mm
$S \geq$	$6 * (4.2) = 25.2 \text{ mm}$
	$150/3 = 50 \text{ mm}$

En esta investigación para el armado de la columna no se considera la zona de confinamiento para simular las condiciones desfavorables de una columna con problemas de resistencia, se asume un espaciamiento de 20 cm para toda la columna por lo tanto con una escala 1:3 tenemos una separación de 6,67cm lo que es igual a 12 estribos distribuidos en toda la columna.

Acero para estribos por confinamiento (Codigo NEC- SE- HM, pag. 56):

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{F_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0.3 \frac{2,5 \text{ cm} \times 7,33 \text{ cm} \times 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \left[\left(\frac{100 \text{ cm}^2}{7,33 \times 7,33 \text{ cm}^2} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,24 \text{ cm}^2$$

Nota 1: el valor de $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ se considera solo para el cálculo del área de confinamiento para estribos según la NEC 2015, sin embargo debido a las condiciones desfavorables que se simula en esta investigación, el f'_c usado es 180 Kg/cm^2 .

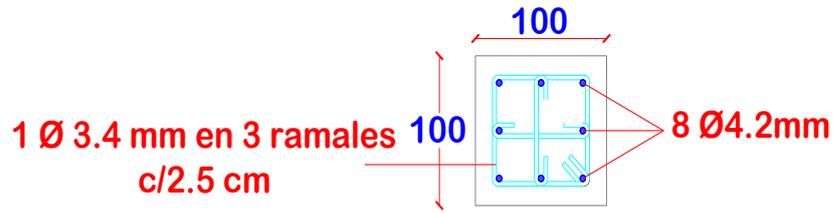
Nota 2: el valor de $s = 2,5 \text{ cm}$ se usa en lugar de $6,67 \text{ cm}$ para determinar el área de confinamiento real que especifica la NEC 2015.

$$A_{sh} = 0.9 \frac{s b_c f'_c}{F_y}$$

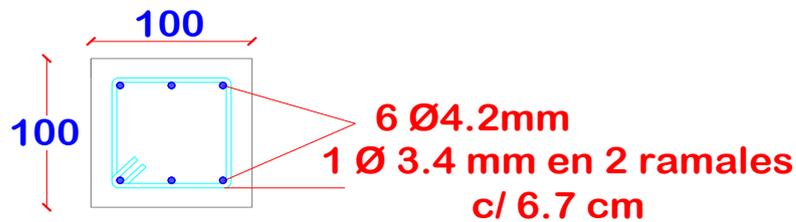
$$A_{sh} = 0.09 \frac{2,5 \text{ cm} \times 7,33 \text{ cm} \times 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A_{sh} = 0.08 \text{ cm}^2$$

Usar un estribo de 3,4mm se tiene un área de 0,08 cm². Por lo tanto, según la NEC se debería colocar un refuerzo en 3 ramales como se indica a continuación:



Para simular las condiciones desfavorables de la columna asumimos un refuerzo transversal como se indica a continuación:



Calculo de la carga última según el ACI- 318

$$\phi = 0,65$$

$$A_g = 100 \text{ mm} * 100\text{mm} = 10000\text{mm}^2$$

$$A_{st} = (0,008)(10000) = 80\text{mm}^2$$

$$P_u = 0,80 * \phi * [0,85 * f_c * (A_g - A_{st}) + (A_{st} * F_y)]$$

$$P_u = 0,80 * (0,65) * [0,85 * 21 * (10000 - 80) + (80 * 420)]$$

$$P_u = 109549,44 \text{ N}$$

$$P_u = 109,55 \text{ KN}$$

Calculo de la esbeltez

Determinamos el radio de giro

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{\frac{b \times h^3}{12}}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{\frac{10,0 \times 10,0^3}{12}}{100}}$$

$$r = 2,89cm$$

La esbeltez es igual a:

$$\lambda = \frac{kL}{r} \leq 22$$

k=1 por q es una estructura articulada-articulada

$$\lambda = \frac{1 \times 90cm}{2,89 cm}$$

$$\lambda = 31,14 \geq 22 \text{ COLUMNA ESBELTA}$$

ANEXO 42

DISEÑO DE LA VIGA A FLEXIÓN PURA.

DISEÑO DE LA VIGA

Para el diseño de la columna tomamos como referencia una viga real y trabajaremos

Con una escala 1: 2 :

ESCALA	LUZ	b (cm)	h (cm)	SECCION
REAL	3,00	25	35	875
1:2	1,50	13	17	221

Determinamos la carga de la viga, partiendo de la formula del esfuerzo normal debido a flexión:

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M * \frac{h}{2}}{\frac{b}{12} * h^3} = \frac{12 * M * h}{2 * b * h^3} = \frac{6 * M}{b * h^2}$$

Tomando en cuenta que el momento máximo de una viga con dos cargas puntuales y a una distancia de L/3 es igual a

$$M = P * a$$

$$a = \frac{L}{3}$$

$$P = \frac{P}{2}$$

$$M_{max} = \frac{P}{2} * \frac{L}{3}$$

$$M_{max} = \frac{P * L}{6}$$

Remplazamos en la ecuación de esfuerzo el momento máximo:

$$\sigma = \frac{6 * \left(\frac{P * L}{6}\right)}{b * h^2}$$

$$\sigma = \frac{P * L}{b * h^2}$$

El esfuerzo máximo se encuentra en la INEN 2554, pág. 3

Despejamos P de la fórmula del esfuerzo normal a flexión

$$P = \frac{\sigma * b * h^2}{L}$$

$$P = \frac{210 \frac{Kg}{cm^2} * 13cm * (17cm)^2}{140cm}$$

$$P = 5635,50 Kg$$

$$P = 5,636 Ton$$

Realizamos el cálculo de cortantes y momentos mediante diagramas:

$$\sum F_v = 0$$

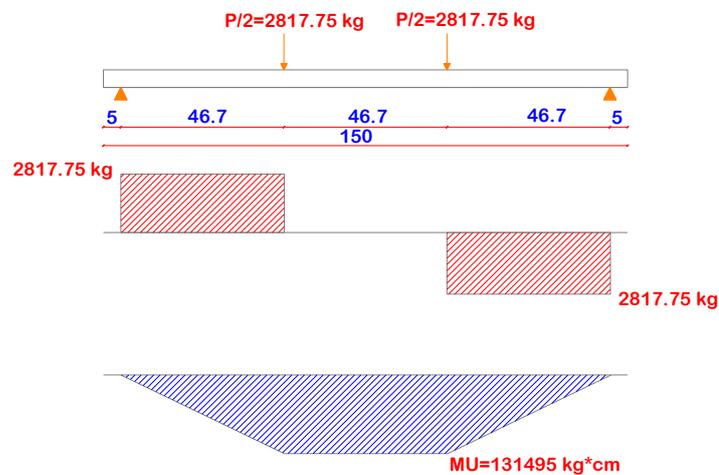
$$R_A + R_B = 5635,50$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A = \frac{\left[\left(2817,75 * \frac{280}{3} \right) + \left(2817,75 * \frac{140}{3} \right) \right]}{140}$$

$$R_A = 2817,75 kg$$

$$R_B = 2817,75 kg$$



$$M_{max} = \frac{5635,50 * 140}{6}$$

$$M_{max} = M_u = 131495 kg * cm$$

El diagrama de cortantes y momentos nos proporciona el cortante y momento actuante o momento último de la viga, para encontrar el momento nominal a flexión.

$$\phi M_n = M_u$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{131495}{0.90}$$

$$\mathbf{M_n = 146105,56 \text{ kg} * \text{cm}}$$

Para determinar el acero de refuerzo de la viga, primero se calcula las cuantías:

✓ Cuantía calculada

$$\rho_{calculada} = \frac{0,85 * f'_c}{F_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0,85 * \phi * f'_c * b * d^2}} \right)$$

$$\rho_{calculada} = \frac{0,85 * 210}{4200} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 131495}{0,85 * 0,90 * 210 * 13 * 15^2}} \right)$$

$$\mathbf{\rho_{calculada} = 0,0143}$$

✓ Cuantía mínima

$$\rho_{mim} = \frac{14}{F_y}$$

$$\rho_{mim} = \frac{14}{4200}$$

$$\mathbf{\rho_{mim} = 0,0033333}$$

✓ Cuantía balanceada

$$\rho_{bal} = 0,85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{F_y} * \frac{0,003}{\frac{F_y}{E_s} + 0,003}$$

$$\rho_{bal} = 0,85 * 0,85 * \frac{210}{4200} * \frac{0,003}{\frac{4200}{2,1 * 10^6} + 0,003}$$

$$\rho_{bal} = 0,021675$$

✓ Cuantía máxima

$$\rho_{max} = 0,5 * \rho_{bal}$$

$$\rho_{max} = 0,5 * 0,021675$$

$$\rho_{max} = 0,0108375$$

Debido a que la cuantía calculada es mayor a la cuantía máxima diseñamos el acero de refuerzo con la cuantía máxima.

$$\rho_{calculada} > \rho_{max}$$

$$0,0143 > 0,0108375$$

Acero de refuerzo longitudinal inferior

$$A_s = \rho_{max} * b * d$$

$$A_s = 0,0108375 * 13 * 15$$

$$A_s = 2,1133 \text{ cm}^2$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (1)^2}{4}$$

$$A_{varilla} = 0,785 \text{ cm}^2$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

$$\#_{varillas} = \frac{2,1133 \text{ cm}^2}{0,785 \text{ cm}^2}$$

$$\#_{varillas} = 2,69 \text{ varillas}$$

Asumimos

$$\#_{varillas} = 3 \text{ varillas}$$

3 varillas ϕ de 10mm

Acero de refuerzo longitudinal superior

$$A_s = \frac{14}{F_y} * b * d$$

$$A_s = \frac{14}{4200} * 13 * 15$$

$$A_s = 0.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (0,8)^2}{4}$$

$$A_{varilla} = 0,503 \text{ cm}^2$$

$$\#_{varillas} = \frac{A_s}{A_{varilla}}$$

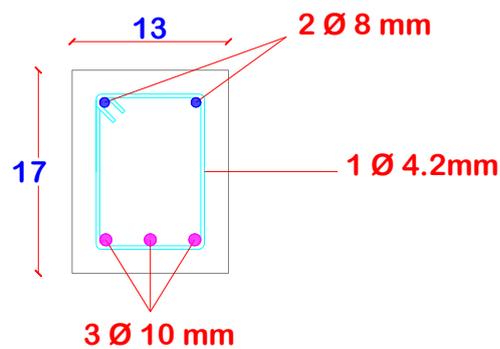
$$\#_{varillas} = \frac{0,65 \text{ cm}^2}{0,503 \text{ cm}^2}$$

$$\#_{varillas} = 1,29 \text{ varillas}$$

Asumimos

$$\#_{varillas} = 2 \text{ varillas}$$

2 varillas ϕ de 8mm



Separaciones de acero transversal de la viga

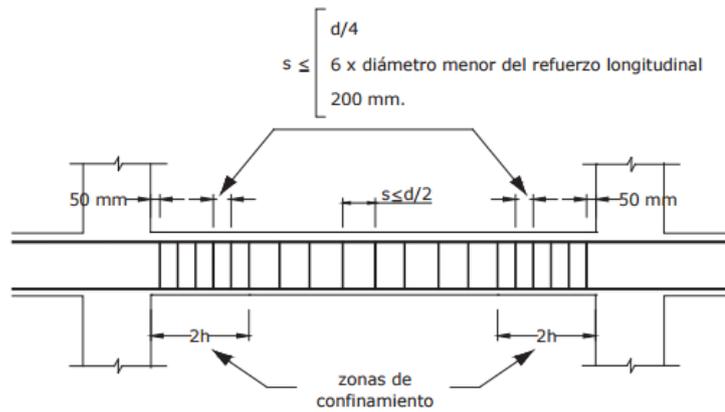


Figura 6: Separación de estribos

$$\frac{50\text{mm}}{2} = 25\text{mm} = 2,5\text{cm}$$

$$2h = 2 * (170\text{mm})$$

$$2h = 340\text{mm} = 34,00\text{cm}$$

$$s_2 \leq \frac{d}{2}$$

$$s_2 \leq \frac{150}{2}$$

$$s_2 \leq 75\text{mm} = 7,50\text{cm}$$

$S_1 \leq$	$d/4$
	$6 * (\text{diámetro menor del refuerzo longitudinal})$
	200 mm
$S_1 \leq$	$150/4 = 37.5\text{mm} = 3.75\text{cm}$
	$6 * (8.0) = 48 \text{ mm} = 4.8 \text{ cm}$
	$(200/2) = 100\text{mm} = 10.0 \text{ cm}$

En resumen los espaciamientos transversales son:

$$s_1 = 3,75\text{cm}$$

$$s_2 = 7,50\text{cm}$$

Estribos de confinamiento

Del diagrama de cortante tomamos el cortante actuante o ultimo

$$V_{act} = V_{act} = 3757 \text{ kg}$$

Para encontrar el cortante nominal

$$\phi V_n = V_u$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_n = \frac{3757}{0,75}$$

$$V_n = 5009,33 \text{ kg}$$

Calculamos el cortante del concreto

$$V_c = 0,53 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V_c = 0,53 * \sqrt{210} * 13 * 15$$

$$V_c = 1497,68 \text{ kg}$$

Calculamos el cortante del acero transversal

$$V_s = V_n - V_c$$

$$V_s = 5009,33 - 1497,68$$

$$V_s = 3511,65 \text{ kg}$$

Acero transversal mínimo, tomamos el mayor valor:

$$A_{v1 \text{ min}} = 3,5 * \left(\frac{b * s}{F_y} \right)$$

$$A_{v1 \text{ min}} = 3,5 * \left(\frac{13 * 3,75}{4200} \right)$$

$$A_{v1 \text{ min}} = 0,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{v2 \text{ min}} = \frac{V_s * s}{F_y * d}$$

$$A_{v2 \text{ min}} = \frac{3511,65 * 3,75}{4200 * 15}$$

$$A_{v2 \text{ min}} = 0,21 \text{ cm}^2$$

Diseñamos el estribo para una área de **0,21 cm²**

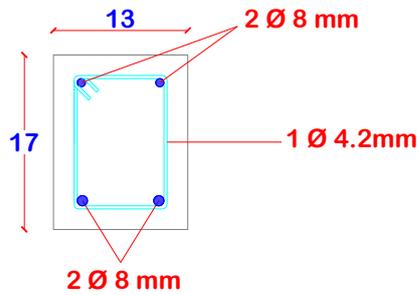
$$A_{varilla} = \frac{\pi * (D_{varilla})^2}{4}$$

$$A_{varilla} = \frac{\pi * (0,42)^2}{4}$$

$$A_{varilla} = 0,14 \text{ cm}^2$$

1 estribo ϕ de 4,2mm en dos ramales

Para simular condiciones desfavorables de la viga con problemas de resistencia e inducir a la falla por flexión se armara de la siguiente manera el acero longitudinal:



Las separaciones del acero transversal se respetaran según como lo indica la NEC-SE-HM

ANEXO 43

ARCHIVO FOTOGRÁFICO.



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO – ARENA DE RÍO PASANTE N°20 (ASTM C136 – INEN
696,2011)**



Tomamos la muestra de
arena de río



Tamizamos el agregado que haya
pasado el tamiz N.-20



Pesamos el material de
cada tamiz

**ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO
(INEN 858, 2010)**



Colocación de la arena
en el molde



Compactacion y enrazado de la arena
en el molde



Peso de molde y arena



**SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO (INEN
858, 2010)**



Colocación de la arena
en el molde



Enrazamiento de la arena en el molde



Peso de molde y arena

**ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO (ESTADO SATURADO
SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C128 –INEN 856)**



Colocación de la arena
en agua por 24 horas



Colocación de la arena saturada en el
picnometro



Agitación del picnometro
con la arena



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO EN
ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO.**



Pesando la muestra de arena saturada y bandeja.



Colocación de la muestra de arena saturada y bandeja en el horno por 24 horas.

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE CUBOS DE MORTERO



Materiales que se usaron para la elaboración de cubos



Mescla de Mortero



Encontrados para la elaboración de cubos



SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO (INEN 2502, 2009)



Mesa de flujo para medir la fluidez



Proceso para determinar la fluidez del mortero

ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO (ASTM- C138, 2009)



Mescla de Mortero



Colocación y compactación del mortero en el molde en tres capas



Peso de mortero y molde



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

ENSAYO DE DENSIDAD y % DE ABSORCIÓN EN ESTADO ENDURECIDO DEL MORTERO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES)



Peso de vigueta ensayada a flexión



Colocación de la vigueta en el recipiente con agua y marcar hasta donde suba el agua



Incrementar el agua hasta la marca y pesar el agua más recipiente

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO (METODO VICAT) (INEN 158, 2009)



Colocación del mortero en el Vicat y regular la aguja



Sacar al ambiente y tomar datos periódicamente hasta que el mortero se endurezca



Muestra al finalizar el ensayo



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE (ASTM-C231, 2003)



Humedecer el molde completamente

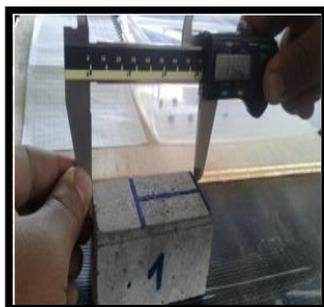


Colocar el mortero o hormigón en tres capas, compactarlo y enrrasar



Colocar la tapa, bombear y luego soltar para determinar el contenido de aire

ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL MORTERO (ASTM C1403)



Medición de viguetas ensayadas a flexión



Pesando las viguetas ensayadas a flexión



Se colocaran las viguetas ensayadas sobre tornillos pequeños en un recipiente con agua



SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS CON 50mm DE ARISTA (INEN 488, 2009)



Cubo colocado en la máquina de compresión



Cubos ensayados



Así quedo el cubo despues de quitar las partes rotas

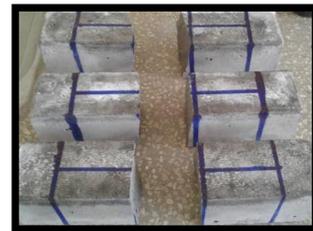
ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTERO (INEN 198)



Medición de viguetas ensayadas a flexion



Pesando las viguetas ensayadas a flexión



Se colocaran las viguetas ensayadas sobre tornillos pequeños en un recipiente con agua



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

ELABORACIÓN DE PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO



Elaboración de mortero y bañar al tejido en el mismo



Colocar en los moldes los tejidos bañados de mortero y enrasar



Después de 28 días desencoframos y tendremos los materiales compuestos

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO



Colocación de placas con tornillos para mejorar la adherencia



Ensayo a tracción de material compuesto a base de fibra de cabuya



Ensayo a tracción de material compuesto a base de fibra de vidrio



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO



Marcar los centros de cada uno de los materiales compuestos



Colocación del material compuesto en la maquina marshall y ensayarlo a flexión



Materiales compuestos de fibra de cabuya y vidrio ensayadas

ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES)



Pesar el material compuesto en una balanza analítica



Colocamos el material compuesto en el recipiente con agua y colocamos una marca hasta donde suba el agua



Colocamos agua hasta la marca y procedemos a pesar



**SISTEMAS COMPUESTOS FRMC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO – ARENA DE RÍO (ASTM C136 – INEN 696,2011)



Muestra de arena sin tamizar



Posterior al tamizado llevamos a la balanza.



Pesamos el material de cada tamiz.

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO – RIPIO TRITURADO (ASTM C136)



Tomar una muestra de ripio triturado



Tamizando el agregado grueso



Sacando en una bandeja el material de cada tamiz para pesarlo



**SISTEMAS COMPUESTOS FRM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO Y
AGREGADO GRUESO (INEN 858,2010)**



Colocación, compactado
y enraizado de arena.



Colocación, compactado y enraizado
de ripio.



Pesamos el agregado fino y
agregado grueso.

**ENSAYO DE LA DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO Y
AGREGADO GRUESO (INEN 858)**



Colocación y enrasado
de arena



Colocación y enrasado de ripio



Pesamos el agregado fino y
agregado grueso.



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO (ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO SSS) (ASTM C127 –INEN 857)



Colocar en ripio sumegido en agua por 24 horas



Equipo necesario para detrmnar la densidad.



Colocamos el material en la canastilla, sumegimos en el agua y procedemos a pesar.

ENSAYO DE LA DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL HORMIGÓN (ASTM C 138)



Elaboración del hormigón



Colocar el hormigon en el molde en tres capas, compactar cada capa y enrrasar



Pesamos el mode mas el hormigon



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DEL HORMIGÓN (ASTM C 1585)



Realización de probetas de hormigón cilíndricas según la norma.



Marcamos el nivel de agua y tomamos medidas de las probetas



Colocamos las probetas sobre tornillos y lo colocamos en un molde con agua hasta la marca

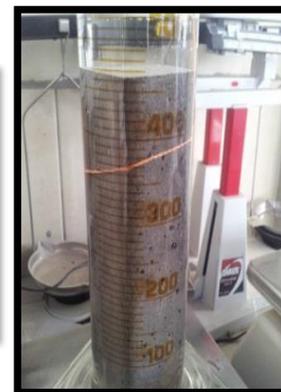
ENSAYO DE DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (PRINCIPIO DE ARQUIMIDES)



Elaboración viguetas del hormigón



Colocamos las viguetas en el horno por 24 horas



Realizamos el principio de Arquímedes



SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1572-1576)



Medimos diámetros y alturas de los cilindros de hormigón



Colocamos el cilindro en la máquina de compresión y procedemos a ensayar



Cilindro ensayado a compresión

DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO EN HORMIGONES DE CEMENTO HIDRÁULICO (INEN 1578-ASTM C 143)



Humedecemos el cono de Abrams y colocamos el hormigón en tres capas y compactamos



Enrasamos, y limpiamos la parte inferior



Levantamos el cono de Abrams y medimos su asentamiento.

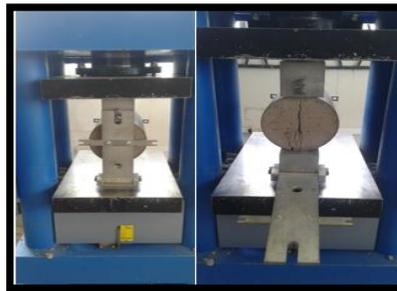


**SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO
PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO**

**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL POR EL MÉTODO BRASILEÑO
(ASTMC 496M)**



Pasamos los cilindros y los colocamos en la máquina de tracción indirecta



Realizamos el ensayo de tracción indirecta en la máquina universal



Cilindros ensayados a tracción indirecta

ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (INEN 109)



Colocamos la varilla en la máquina de tracción



Colocamos los deformímetros y procedemos a ensayar



Varillas ensayadas a tracción



SISTEMAS COMPUESTOS FRCC A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ELABORACIÓN DE LAS VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO



Elaboracion de armaduras de vigas y columnas.



Elaboracion de encofrados de modelos a escala de vigas y columnas

ELABORACIÓN DE LAS VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO



Elaboración del hormigón y medir el asentamiento que sea concordante con el determinado en ensayos ya elaborados.



Elaboración de columnas, vigas y cilindros. Cada uno de estos se los realizo en tres capas y se las compacto respectivamente



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN VIGAS



Cortamos la fibra con las medidas requeridas, en la fibra de vidrio posterior a cortar colocaremos resina



Bañamos las fibras en un lechado de cemento, para evitar que la fibra absorva demasiada agua del mortero.

COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN VIGAS



Procedemos a colocar el refuerzo en viga



Viga con refuerzo FRCM (U continua)



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN COLUMNAS



Se procedió a colocar una platina para que se nos facilite realizar el encamisado a la columna



Después de realizar un baño en el lechado de cemento a las fibras lo sujetamos a un extremo con tacos y tornillos

COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN COLUMNAS



Procedimos a colocar el encamisado con las fibras de cabuya y vidrio respectivamente.



Columna con refuerzo FRCM (Encamisado)



SISTEMAS COMPUESTOS FRCM A BASE DE TEJIDOS DE FIBRAS DE CABUYA Y VIDRIO PARA EL FORTALECIMIENTO DE COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

ENSAYO DE FLEXIÓN PURO EN VIGAS (4 PUNTOS) (ADAPTACIÓN, ASTM 78-02)



Colocación



Despues de realizar un baño en el lechado de cemento a las fibras lo sujetamos a un extremo con tacos y tornillos

COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN COLUMNAS



Ensayo de columnas concentricas con carga axial pura, en las columnas sin refuerzo FRCM tuvimos un comportamiento explosivo



Ensayo de columnas concentricas con carga axial pura, en las columnas con refuerzo FRCM, pudimos evidenciar que se incremento su capacidad de carga y se evito su comportamiento explosivo