



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Título del proyecto:**

**“REFORZAMIENTO DE COLUMNAS DE LADRILLO TRABADO CON  
MATERIALES COMPUESTOS FRCM A BASE DE FIBRAS DE SISAL  
(CABUYA)”**

**Autor: (es):**

DANIELA ESTEFANIA MORENO BARSALLO  
VANESSA ESTEFANIA RODAS SERRANO

**Director:**

Ing. Oscar Cevallos V; Ph.D.

**Riobamba – Ecuador**


**2017**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“REFORZAMIENTO DE COLUMNAS DE LADRILLO TRABADO CON MATERIALES COMPUESTOS FRCC A BASE DE FIBRAS DE SISAL (CABUYA)”** presentado por: **Daniela Estefanía Moreno Barsallo y Vanessa Estefanía Rodas Serrano** y dirigida por: **Ing. 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 firman:

Ing. Víctor Velázquez  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firma

Ing. Oscar Cevallos V; PhD  
DIRECTOR DEL PROYECTO



Firma

Ing. Alexis Martínez  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firma

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Daniela Moreno, Vanessa Rodas y a Oscar Cevallos V, PhD; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.”

**Daniela Estefanía Moreno Barsallo**  
C.I. 060342816-0



**Firma**

**Vanessa Estefanía Rodas Serrano**  
C.I. 060454925-3



**Firma**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mis padres por apoyarme en cada decisión de mi vida, por motivarme a seguir adelante y sobre todo por creer en mí.*

*A los docentes y quienes conforman la Universidad Nacional de Chimborazo por las enseñanzas impartidas durante todo mi ciclo universitario. De manera especial al Ingeniero Oscar Cevallos por guiarnos durante todo el desarrollo de esta investigación.*

*A Vanessa por la paciencia, el apoyo y por ser la primera persona que conocí en la carrera y con quien estoy culminando esta etapa de mi vida.*

*A mi familia y a quienes siempre confiaron en mí.*

***Daniela Moreno***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado fuerza ante todos los momentos difíciles y haber llegado a este punto de mi vida.*

*A la Universidad Nacional de Chimborazo y a sus docentes por haberme impartido conocimientos para formarme como buen profesional, en especial al Ing. Óscar Cevallos por su paciencia y apoyo incondicional durante el proceso de esta investigación.*

*A mis familiares y amigos que confiaron y me apoyaron en todo momento.*

**Vanessa Rodas**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Silvia y Daniel, por ser mi ejemplo, por jamás juzgarme y enseñarme a seguir adelante a pesar de los obstáculos, por brindarme su amor y comprensión, por jamás dejarme caer y estar a mi lado en los momentos más difíciles, y en especial por nunca dejar de creer en mí.*

*A mis abuelitos Germán y Carmen por ser mi guía y apoyo durante toda mi vida.*

*A quienes estuvieron a mi lado apoyándome y animándome para terminar esta etapa de mi vida.*

***Daniela Moreno***

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, Shaned Serrano porque sin ella no hubiera llegado a este momento, por todo lo que ella sacrifico por mí, por ser mi apoyo incondicional y especial por todo su amor.*

*A mis abuelos José Serrano y Elsa Avalos que fueron mis segundos padres, y siempre estuvieron a mi lado.*

*A mis Tíos Kathy Serrano, José Luis Serrano, Richard Serrano, que de una u otra forma fueron un gran apoyo durante mi formación.*

*A todas mis amigas y amigos que de una u otra forma me han brindado su ayuda. En especial a Daniela por la mutua paciencia.*

**Vanessa Rodas**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xxi
RESUMEN.....	xxiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I.....	3
1 FUNDAMENTACION TEORICA.....	3
1.1 Antecedentes del tema .....	3
1.2 Ladrillo .....	5
1.2.1 Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo .....	5
1.3 Mortero .....	6
1.3.1 Componentes del mortero .....	6
1.3.2 Características del mortero fresco .....	9
1.3.3 Características del mortero endurecido (AFAM, 2012).....	9
1.4 Columnas.....	11
1.4.1 Columnas frente a cargas axiales .....	12
1.4.2 Columnas frente a cargas excéntricas .....	14
1.5 Materiales compuestos .....	17
1.5.1 Clasificación de los materiales compuestos .....	17
1.5.2 Componentes del material compuesto .....	19
1.5.3 Tipos de fibras usadas como refuerzo.....	19
1.6 Técnicas de reforzamiento estructural.....	24
1.6.1 Sistema FRP .....	24
1.6.2 Sistema FRCM.....	26
1.7 Reforzamiento de columnas con materiales compuestos .....	27
CAPITULO II.....	29
2 METODOLOGÍA .....	29
2.1 Tipo de estudio .....	29
2.2 Población Muestra .....	30
2.2.1 Población:.....	30
2.2.2 Muestra:.....	30
2.3 Operacionalización de variables.....	31
2.4 Procedimientos .....	34
2.4.1 Caracterización del ladrillo .....	36
2.4.2 Caracterización de la fibra de cabuya .....	46
2.4.3 Caracterización de los agregados para mortero .....	57
2.4.4 Caracterización del mortero dosificación 1:4 (polvo de piedra)....	65
2.4.5 Caracterización del mortero para el material compuesto dosificación 1:1.10 (arena).....	80
2.4.6 Caracterización del material compuesto .....	82
2.5 Procesamiento y análisis .....	85
2.5.1 Prisma de mampostería. ....	87
2.5.2 Tripletas de Ensayos a corte.....	91
2.5.3 Columnas .....	99
CAPITULO III.....	111
3 RESULTADOS.....	111
3.1 Caracterización del ladrillo .....	111
3.2 Caracterización de la fibra y tejido de la cabuya.....	112

3.3	Caracterización de los agregados .....	113
3.3.1	Caracterización del polvo de piedra .....	113
3.3.2	Caracterización de la arena .....	114
3.4	Caracterización de los morteros .....	114
3.4.1	Caracterización del mortero 1:4 .....	114
3.4.2	Caracterización del mortero 1:1.10 .....	115
3.5	Caracterización del material compuesto.....	116
3.6	Ensayos finales .....	117
3.6.1	Ensayo de pilas sin reforzamiento .....	117
3.6.2	Ensayo de pilas con reforzamiento .....	126
3.6.3	Ensayo de corte sin refuerzo .....	138
3.6.4	Ensayo de corte con refuerzo .....	143
3.6.5	Ensayo de columnas sin reforzamiento sometida a carga axial ....	153
3.6.6	Ensayo de columnas con reforzamiento sometida a carga axial ...	164
3.6.7	Ensayo de columnas sin reforzamiento sometida a carga excéntrica 175	
3.6.8	Ensayo de columnas con reforzamiento sometida a carga excéntrica 184	
CAPITULO IV.....		198
4	DISCUSIÓN .....	198
CAPITULO V .....		210
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	210
5.1	Conclusiones .....	210
5.2	Recomendaciones .....	213
CAPITULO VI.....		215
6	PROPUESTA.....	215
6.1	Título de la propuesta .....	215
6.2	Introducción.....	215
6.3	Objetivos .....	216
6.3.1	Objetivo General .....	216
6.3.2	Objetivos Específicos.....	216
6.4	Fundamentación Científico –Técnica.....	216
6.4.1	Estructura de mampostería.....	216
6.5	Descripción de la propuesta.....	229
6.5.1	Descripción de la vivienda.....	229
6.5.2	Análisis sismo-resistente de la vivienda ubicada en el cantón Chambo provincia de Chimborazo .....	239
6.5.3	Modelación.....	249
6.5.4	Análisis de resultados modelación .....	267
6.5.5	Análisis de costo .....	269
6.6	Diseño Organizacional. ....	269
6.7	Monitoreo y Evaluación de la propuesta .....	270
CAPITULO VII .....		272
7	BIBLIOGRAFÍA .....	272
CAPITULO VIII.....		278
8	APÉNDICES Y ANEXOS.....	278
8.1	Caracterización del ladrillo .....	278
8.1.1	Ensayo de compresión (INEN 0294) .....	278

8.1.2	Ensayo de flexión (INEN 0295).....	280
8.1.3	Absorción .....	282
8.1.4	Absorción por capilaridad (ASTM C1403).....	283
8.1.5	Densidad del ladrillo (Principio de Arquímedes).....	284
8.2	Caracterización de la fibra de cabuya.....	285
8.2.1	ROLLO .....	285
8.2.2	SACO .....	297
8.3	Caracterización del agregado para mortero (polvo de piedra) .....	308
8.3.1	Granulometría Agregado Fino (INEN 696) .....	308
8.3.2	Masa unitaria suelta y compactada (INEN 858) .....	310
8.3.3	Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856) 312	
8.4	Caracterización del agregado para mortero del material compuesto (arena) .....	314
8.4.1	Granulometría Agregado Fino (INEN 696) .....	314
8.4.2	Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856) 318	
8.5	Caracterización del mortero dosificación 1:4 (polvo de piedra) .....	320
8.5.1	Determinación del Flujo en morteros (INEN 2502) .....	320
8.5.2	Tiempo de Fraguado (INEN 158) .....	321
8.5.3	Densidad en Estado Fresco (ASTM C 138).....	323
8.5.4	Densidad de Porcentaje de Absorción de Mortero en estado Endurecido (Principio de Arquímedes).....	324
8.5.5	Porcentaje de Absorción Mortero Endurecido .....	325
8.5.6	Resistencia a Compresión de Mortero 1:4 (INEN 488).....	327
8.5.7	Resistencia a Flexión de Mortero 1:4 (INEN 198) .....	329
8.6	Caracterización del mortero para el material compuesto dosificación 1:1.10 (arena) .....	331
8.6.1	Resistencia a Compresión de Mortero 1:1,10 (INEN 488).....	331
8.7	Caracterización del material compuesto.....	335
8.7.1	1 LAYER .....	335
8.7.2	3 LAYERS .....	337
8.8	Anexo Fotográfico.....	339

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ladrillo de arcilla. Archexpo (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.archiexpo.es/">http://www.archiexpo.es/</a> .....</i>	5
<i>Figura 2. Yeso. Arqhys (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.arqhys.com/construccion/yeso-tipos.html">http://www.arqhys.com/construccion/yeso-tipos.html</a> .....</i>	6
<i>Figura 3. Cal. Shandong Huaye Strainles Steel Group (s.f). Recuperado de: <a href="http://es.made-in-china.com/co_qdrisingsun/product_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material_hrruyygry.html">http://es.made-in-china.com/co_qdrisingsun/product_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material_hrruyygry.html</a>.....</i>	6
<i>Figura 4. Cal. Allbiz (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.br.all.biz/ar/gir-mtf-bgg1068844">http://www.br.all.biz/ar/gir-mtf-bgg1068844</a>.....</i>	7
<i>Figura 5 Cemento. Vilssa (s.f). Recuperado de: <a href="http://vilssa.com/noticias-contradictorias-sube-la-produccion-de-cemento-y-baja-la-actividad-de-la-construccion">http://vilssa.com/noticias-contradictorias-sube-la-produccion-de-cemento-y-baja-la-actividad-de-la-construccion</a>.....</i>	7
<i>Figura 6 Granulometría. Análisis de laboratorio de piedra y arena gruesa de la cantera arunta (TACNA-PERU) (s.f). Recuperado de: <a href="http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa_I/AAAAAAAAAAY/gkyQP9G_sGs/s1600/2.gif">http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa_I/AAAAAAAAAAY/gkyQP9G_sGs/s1600/2.gif</a>.....</i>	8
<i>Figura 7 Densidad Relativa. Ensayo de Laboratorio de suelos (s.f). Recuperado de: <a href="https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/gravedad-especifica-de-los-suelos/">https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/gravedad-especifica-de-los-suelos/</a>.....</i>	8
<i>Figura 8. Ensayo de Fluidez. AFAM (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.afam-morteros.com/">http://www.afam-morteros.com/</a> .....</i>	9
<i>Figura 9. Ensayo de Flexión y Compresión. AFAM (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.afam-morteros.com/">http://www.afam-morteros.com/</a> .....</i>	10
<i>Figura 10. Densidad. AFAM (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.afam-morteros.com/">http://www.afam-morteros.com/</a> .....</i>	10
<i>Figura 11. Columna de Ladrillo Trabado de 30x 30 cm. Apuntes ingeniero civil (s.f). Recuperado de: <a href="http://apuntesingenierocivil.blogspot.com">http://apuntesingenierocivil.blogspot.com</a> .....</i>	11
<i>Figura 12. Elementos sometidos a compresión. Recuperado de: <a href="http://publiespe.espe.edu.ec/">http://publiespe.espe.edu.ec/</a> .....</i>	12
<i>Figura 13. Falla a compresión de un pilar de ladrillo. Como (2012).....</i>	12
<i>Figura 14. Combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes. Como (2012).....</i>	13
<i>Figura 15. Diagrama esfuerzo deformación del ladrillo, mortero y mampostería bajo carga axial. Como (2012).....</i>	13
<i>Figura 16. Modelo de Carga Excéntrica en columnas. Portales Edu. (2013) .....</i>	14
<i>Figura 17. Modelo de Flexión de columnas que soportan carga axial F. Portales Edu. (2013).....</i>	15
<i>Figura 18. Efecto de estrechamiento de la zona resistente debido a las deformaciones de flexión. Como (2012) .....</i>	15
<i>Figura 19. Muelle de carga tanto por una fuerza excéntrica en su cabeza y su propio peso distribuido a lo largo de su longitud. Como (2012) .....</i>	16
<i>Figura 20. Estabilizar o desestabilizar efectos del peso W de la magnitud de la carga de la cabeza P que un muelle puede sostener (Da La Mendola, papaya 1993). Como (2012).....</i>	16
<i>Figura 21. Estructura Básica del Material Compuesto. (s.f). Recuperado de: <a href="https://arquitecturacarbono.wordpress.com/2011/03/23/%C2%BFque-es-un-material-compuesto/">https://arquitecturacarbono.wordpress.com/2011/03/23/%C2%BFque-es-un-material-compuesto/</a>.....</i>	17

<i>Figura 22. Planta y fibras de Cabuya. Tamayo (2012)</i> .....	21
<i>Figura 23. Proceso obtención de cabuya</i> .....	22
<i>Figura 24. Aplicación Sistema FRP. (s.f). Recuperado de: <a href="http://mdai.aq.upm.es/wp-content/uploads/2014/05/Intervenciu00F3n%20y%20Consolidaci00F3n%20Estructural.pdf">http://mdai.aq.upm.es/wp-content/uploads/2014/05/Intervenciu00F3n%20y%20Consolidaci00F3n%20Estructural.pdf</a></i> .....	25
<i>Figura 25. Aditivo Acelerante SIKA 3</i> .....	36
<i>Figura 26. Materiales para realizar caping del ladrillo.</i> .....	37
<i>Figura 27. Caping para ensayo de compresión del ladrillo: (a) mezcla en la máquina, (b) colocación ladrillo, (c) y (d) muestra final.</i> .....	38
<i>Figura 28. Caping para ensayo de flexión del ladrillo: (a) mezcla en el equipo, (b) muestra final.</i> .....	38
<i>Figura 29. Ensayo de compresión del ladrillo: (a) ensayo compresión, (b) deformímetro análogo, (c) y (d) muestra después del ensayo.</i> .....	40
<i>Figura 30. Ensayo de flexión del ladrillo: (a) máquina para ensayo, (b) ensayo de flexión, (c) muestra después del ensayo.</i> .....	42
<i>Figura 31. Porcentaje de Absorción: (a) muestras secadas al horno (b) muestras sumergidas.</i> .....	43
<i>Figura 32. Absorción por Capilaridad: (a) muestras en recipiente con agua, (b) absorción del ladrillo.</i> .....	44
<i>Figura 33. Densidad y Absorción (Arquímedes): (a) recipiente, (b) muestra sumergida, (c) aumento de agua.</i> .....	46
<i>Figura 34. Tipos de Presentación de fibras de cabuya utilizados en la investigación</i> .....	47
<i>Figura 35. Densidad Específica: (a) muestras sumergidas en agua destilada, (b) estructura para el ensayo, (c) fibras sumergidas en la canasta y (d) ensayo de densidad</i> .....	49
<i>Figura 36. Densidad Lineal: (a) muestras (b) registro de masa de muestra</i> .....	50
<i>Figura 37. Masa por Unidad de Área: (a) muestras y (b) registro de masa.</i> .....	51
<i>Figura 38. Porcentaje de Absorción: (a) filamentos con resina, (d) balanza de precisión, (c) muestras y (d) registro de masa</i> .....	52
<i>Figura 39. Materiales para ensayo de tracción de tejidos: (a) placas y adhesivo epóxico y (b) placa con adhesivo epóxico</i> .....	55
<i>Figura 40. Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Muestras de tejido y (b) probetas de tejido</i> .....	55
<i>Figura 41. Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas.</i> .....	55
<i>Figura 42. Ensayo de Tracción del Hilo: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas.</i> .....	56
<i>Figura 43. Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas</i> .....	56
<i>Figura 44. Ensayo de Tracción del Hilo: (a) muestras antes del ensayo y (b) muestras fallida</i> .....	56
<i>Figura 45. Granulometría Agregado Fino: (a) tamices, (b) máquina de ensayo de granulometría y (c) muestras de cada tamiz</i> .....	59
<i>Figura 46. Masa Unitaria Suela y Compactada: (a) agregado fino, (b) materiales para el ensayo, (c) ensayo de masa unitaria suelta o compactada y (d) registro de masa.</i> .....	61

<i>Figura 47. Densidad y Absorción del Árido Fino: (a) y (b) Cono utilizado para determinar si la muestra se encuentra en estado sss. (c) Calibración del picnómetro y (d) muestra después del ensayo</i> .....	64
<i>Figura 48. Tiempo de Fraguado: (a) equipo Vicat, (b) perforaciones con aguja Vicat Y (c) últimas perforaciones.</i> .....	66
<i>Figura 49. Flujo de Mortero:(a) muestra del mortero en el equipo y (b) muestra después de los golpes</i> .....	68
<i>Figura 50. Densidad en Estado Fresco: (a) materiales para la mezcla, (b) ensayo de densidad fresco y (c) masa de la muestra de mortero.</i> .....	69
<i>Figura 51. Densidad y Absorción del Mortero en Estado Endurecido: (a) muestras para el ensayo.</i> .....	71
<i>Figura 52. Contenido de Aire: (a) mezcla para el ensayo y (b) equipo de ensayo.</i> .....	73
<i>Figura 53. Resistencia a Compresión de cubos de mortero 1:4: (a) encofrado de cubos, (d) cubos antes del ensayo, (c) máquina de compresión y (d) muestras después del ensayo.</i> .....	76
<i>Figura 54. Resistencia a Flexión de viguetas de mortero: (a) encofrado de viguetas, (b) viguetas antes del ensayo, (c) sistema de ensayo y (d) viguetas después del ensayo</i> .....	79
<i>Figura 55. Resistencia a la compresión de cubos 1:1,10: cubos después del ensayo.</i> .....	81
<i>Figura 56. Resistencia a Flexión de mortero 1:1,10: viguetas después del ensayo.</i> .....	81
<i>Figura 57. Medidas del material compuesto</i> .....	83
<i>Figura 58. Material Compuesto: (a) encofrado material compuesto, (b) materiales, (c) ensayo de tracción, (d) muestra con 3 layers después del ensayo, (e ) y (f) muestra con 1 layer después del ensayo.</i> .....	85
<i>Figura 59. Pila de prueba de resistencia a la compresión</i> .....	87
<i>Figura 60. Procedimiento para la elaboración de columnas:(a) humedecer los ladrillos, (b) mezcla del mortero, (c) colocación de mortero (d) pila finalizada.</i> 89	
<i>Figura 61. Procedimiento para el refuerzo de columnas:(a) humedecer muestras de cabuya, (b) humedecer las columnas (c) colocación de mortero (d) colocación de la fibra, (e) colocación de la última capa de mortero.</i> .....	90
<i>Figura 62. Ensayo de pilas:(a) pila sin refuerzo antes del ensayo (b) pila sin refuerzo después del ensayo.</i> .....	91
<i>Figura 63. Ensayo de pilas:(a) pila con refuerzo antes del ensayo (b) pila con refuerzo después del ensayo.</i> .....	91
<i>Figura 64. Procedimiento para la elaboración de probetas de corte:(a) colocación de mortero, (b) colocación del segundo ladrillo, (c) colocación de mortero (d) colocación del tercer ladrillos.</i> .....	93
<i>Figura 65. Procedimiento Refuerzo corte: (a) colocación de mortero, (b) impregnación mortero en tejidos, (c) colocación fibras en ladrillo, (d) muestras finales</i> .....	94
<i>Figura 66. Estructura experimental para pruebas de corte</i> .....	95
<i>Figura 67. Ensayo de corte:(a) probeta sin refuerzo antes del ensayo (b) probeta sin refuerzo después del ensayo.</i> .....	98
<i>Figura 68. Ensayo de corte:(a) probeta con refuerzo antes del ensayo (b) probeta con refuerzo después del ensayo</i> .....	98

<i>Figura 69. Columna carga concéntrica y carga excéntrica. SHANLEY (2011).</i>	99
<i>Figura 70. . Carga Crítica. SHANLEY (2011)</i>	100
<i>Figura 71. Carga Crítica. SHANLEY (2011)</i>	100
<i>Figura 72. Excentricidad. Singer &amp; Pytel (1982),</i>	102
<i>Figura 73. Área bajo la curva de Carga- Deformación .Pierre, Pierre, Kenneth &amp; Demers (2005).</i>	103
<i>Figura 74. Columnas</i>	104
<i>Figura 75. Procedimiento para la elaboración de columnas:(a) corte de ladrillos, (b) mezcla del mortero, (c) colocación de mortero (d) colocación de primera fila de ladrillos, (e) y (f) nivelación de cada fila y (g) muestras finales.</i>	105
<i>Figura 76. Procedimiento para el refuerzo de columnas:(a) humedecer muestras de cabuya, (b) humedecer las columnas (c) colocación de mortero (d) colocación de la fibra, (e) segunda capa de mortero y (f) última capa de mortero.</i>	106
<i>Figura 77. Ensayo de columnas concéntricas:(a) columna sin refuerzo antes del ensayo (b) columna sin refuerzo después del ensayo.</i>	107
<i>Figura 78. Ensayo de columnas concéntricas:(a) columna con refuerzo antes del ensayo, (b) columna con refuerzo después del ensayo.</i>	107
<i>Figura 79. Ensayo de columnas excéntricas:(a) columna sin refuerzo antes del ensayo (b) columna sin refuerzo después del ensayo.</i>	110
<i>Figura 80. Ensayo de columnas excéntricas:(a) columna con refuerzo antes del ensayo, (b) columna con refuerzo después del ensayo.</i>	110
<i>Figura 81. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL1</i>	117
<i>Figura 82. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL1</i>	118
<i>Figura 83. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL1</i>	118
<i>Figura 84. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL2</i>	119
<i>Figura 85. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL2</i>	119
<i>Figura 86. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL2</i>	120
<i>Figura 87. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL3</i>	120
<i>Figura 88. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL3</i>	121
<i>Figura 89. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL3</i>	121
<i>Figura 90. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL4</i>	122
<i>Figura 91. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL4</i>	122
<i>Figura 92. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL4</i>	123
<i>Figura 93 .Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: S/R-PL</i>	124
<i>Figura 94. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: S/R-PL...</i>	124
<i>Figura 95. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: S/R-PL</i>	125
<i>Figura 96. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL1</i>	126
<i>Figura 97. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL1</i>	126
<i>Figura 98. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL1</i>	127
<i>Figura 99. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL2</i>	128
<i>Figura 100. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL2</i>	128
<i>Figura 101. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL2</i>	129
<i>Figura 102. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL2</i>	130
<i>Figura 103. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL3</i>	130
<i>Figura 104. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL3</i>	131
<i>Figura 105. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL4</i>	132
<i>Figura 106. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL4</i>	132
<i>Figura 107. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL4</i>	133

<i>Figura 108. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: C/R-PL</i>	134
<i>Figura 109. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: CR-PL...</i>	134
<i>Figura 110. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: C/R-PL</i>	135
<i>Figura 111. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Pilas S/R y C/R</i>	136
<i>Figura 112. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de Pilas S/R y C/R</i>	136
<i>Figura 113. Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Pilas S/R y C/R.....</i>	137
<i>Figura 114. Diagrama Carga vs. Deformación S/R. <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	138
<i>Figura 115. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R. <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	138
<i>Figura 116. Diagrama Carga vs. Deformación <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	139
<i>Figura 117. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R. <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	139
<i>Figura 118. Diagrama Carga vs. Deformación <math>h_3=304\text{ cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,55\text{MPa}</math>)</i>	140
<i>Figura 119. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R. <math>h_3=304\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,55\text{MPa}</math>)</i>	140
<i>Figura 120. Diagrama Carga vs. Deformación Resumen S/R.....</i>	141
<i>Figura 121. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen S/R.....</i>	141
<i>Figura 122. Regresión Lineal de los puntos experimentales S/R</i>	142
<i>Figura 123. Diagrama Carga vs. Deformación C/R <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	143
<i>Figura 124. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R. <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	143
<i>Figura 125. Diagrama Carga vs. Deformación C/R <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	144
<i>Figura 126. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	144
<i>Figura 127. Diagrama Carga vs. Deformación C/R <math>h_3=304\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,55\text{MPa}</math>)</i>	145
<i>Figura 128. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R <math>h_3=304\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,55\text{MPa}</math>)</i>	145
<i>Figura 129. Diagrama Carga vs. Deformación Resumen C/R.....</i>	146
<i>Figura 130. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: C/R.....</i>	146
<i>Figura 131. Regresión Lineal de los puntos experimentales C/R.....</i>	147
<i>Figura 132. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	148
<i>Figura 133. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>)</i>	148
<i>Figura 134. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	149
<i>Figura 135. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>)</i>	149

<i>Figura 136. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0.55MPa).....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 137. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0.55MPa) .....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 138. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co1 .....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 139. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co1 .....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 140. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co1.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 141. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co1</i>	<i>154</i>
<i>Figura 142. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co2 .....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 143. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co2 .....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 144 .Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co2.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 145. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co2</i>	<i>156</i>
<i>Figura 146. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co3 .....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 147. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co3 .....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 148. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co3.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 149. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co3</i>	<i>158</i>
<i>Figura 150. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co4 .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 151. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co4 .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 152. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co4.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 153. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co4</i>	<i>160</i>
<i>Figura 154. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: S/R-Co1</i>	<i>161</i>
<i>Figura 155. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: S/R-Co..</i>	<i>161</i>
<i>Figura 156. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: S/R-Co .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 157. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co1.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 158. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co1.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 159. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co1 .....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 160. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co1 .....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 161. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co2.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 162. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co2.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 163. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co2 .....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 164. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co2 .....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 165. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co3.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 166. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co3.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 167. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co3 .....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 168. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co3 .....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 169. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co4.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 170. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co4.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 171. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co4 .....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 172. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co4 .....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 173. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: C/R-Co .....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 174. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: C/R-Co.</i>	<i>172</i>
<i>Figura 175. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen C/R-Co.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 176. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE2.....</i>	<i>175</i>

<i>Figura 177. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE2</i>	175
<i>Figura 178. Momento vs Curvatura S/R-CE2</i>	176
<i>Figura 179. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE2</i>	176
<i>Figura 180. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE3</i>	177
<i>Figura 181. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE3</i>	177
<i>Figura 182. Momento vs Curvatura S/R-CE3</i>	178
<i>Figura 183. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE3</i>	178
<i>Figura 184. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE4</i>	179
<i>Figura 185. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE4</i>	179
<i>Figura 186. Momento vs Curvatura S/R-CE4</i>	180
<i>Figura 187. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE4</i>	180
<i>Figura 188. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resúmen: S/R-CE</i>	181
<i>Figura 189. Diagrama Carga vs. Pandeo Resúmen: S/R-CE</i>	181
<i>Figura 190. Momento vs Curvatura Resúmen: S/R-CE</i>	182
<i>Figura 191. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE1</i>	184
<i>Figura 192. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE1</i>	184
<i>Figura 193. Momento vs Curvatura C/R-CE1</i>	185
<i>Figura 194. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE1</i>	185
<i>Figura 195. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE2</i>	186
<i>Figura 196. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE2</i>	186
<i>Figura 197. Momento vs Curvatura C/R-CE2</i>	187
<i>Figura 198. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE2</i>	187
<i>Figura 199. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE3</i>	188
<i>Figura 200. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE3</i>	188
<i>Figura 201. Momento vs Curvatura C/R-CE3</i>	189
<i>Figura 202. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE3</i>	189
<i>Figura 203. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE4</i>	190
<i>Figura 204. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE4</i>	190
<i>Figura 205. Momento vs Curvatura C/R-CE4</i>	191
<i>Figura 206. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE4</i>	191
<i>Figura 207. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resúmen: C/R-CE</i>	192
<i>Figura 208. Diagrama Carga vs. Pandeo Resúmen: C/R-CE</i>	192
<i>Figura 209. Momento vs Curvatura Resúmen: C/R-CE</i>	193
<i>Figura 210. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Columnas Concéntricas S/R y C/R</i>	195
<i>Figura 211. Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Columnas Concéntricas S/R y C/R</i>	195
<i>Figura 212. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Columnas Excéntricas S/R y C/R</i>	196
<i>Figura 213. Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Columnas Excéntricas S/R y C/R</i>	196

<i>Figura 214. Comparación Diagrama Momento vs Curvatura de Columnas Excéntricas S/R y C/R.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 215. Comparación probeta Carga <math>h_1=0\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0\text{MPa}</math>) S/R y C/R.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 216. Comparación probeta Carga <math>h_2=152\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,33\text{MPa}</math>) S/R y C/R.....</i>	<i>200</i>
<i>Figura 217. Comparación probeta Carga <math>h_3=304\text{cm}</math> (pre-compresión lateral=<math>0,55\text{MPa}</math>) S/R y C/R.....</i>	<i>200</i>
<i>Figura 218. Comparación Carga de Pilas S/R y C/R.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 219. Comparación Esfuerzo de Pilas S/R y C/R.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 220. Comparación Módulo de Elasticidad Esfuerzo de Pilas S/R y C/R.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 221. Comparación Carga de Columnas Concéntricas S/R y C/R.....</i>	<i>202</i>
<i>Figura 222. Comparación Esfuerzo de Columnas Concéntricas S/R y C/R.....</i>	<i>202</i>
<i>Figura 223. Análisis de Ductilidad en Columnas sometidas a Carga Concéntrica.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 224. Comparación Carga de Columnas Concéntricas S/R y C/R.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 225. Análisis de Ductilidad en Columnas sometidas a Carga Excéntrica.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 226. Cálculo de Derivas eje <math>x</math>.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 227. Cálculo de Derivas eje <math>y</math>.....</i>	<i>205</i>
<i>Figura 228. Carga Axial Máxima ETABS.....</i>	<i>205</i>
<i>Figura 229. Momento columnas B-2 ETABS.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 230. Momento columnas B-3 ETABS.....</i>	<i>208</i>
<i>Figura 231. Momento columnas A-3 ETABS.....</i>	<i>208</i>
<i>Figura 232. Momento columnas C-2 ETABS.....</i>	<i>209</i>
<i>Figura 233. Columna de Ladrillo Trabado. Archexpo (s.f). Recuperado de: <a href="http://www.archiexpo.es/">http://www.archiexpo.es/</a>.....</i>	<i>222</i>
<i>Figura 234. Elementos sometidos a compresión. Recuperado de: <a href="http://publiespe.espe.edu.ec/">http://publiespe.espe.edu.ec/</a>.....</i>	<i>224</i>
<i>Figura 235. Falla a compresión de un pilar de ladrillo. Como (2012).....</i>	<i>224</i>
<i>Figura 236. Combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes. Como (2012).....</i>	<i>225</i>
<i>Figura 237. Diagrama esfuerzo deformación del ladrillo, mortero y mampostería bajo carga axial. Como (2012).....</i>	<i>225</i>
<i>Figura 238. Modelo de Carga Excéntrica en columnas. Portales Edu. (2013).....</i>	<i>226</i>
<i>Figura 239. Modelo de Flexión de columnas que soportan carga axial <math>F</math>. Portales Edu. (2013).....</i>	<i>227</i>
<i>Figura 240. Efecto de estrechamiento de la zona resistente debido a las deformaciones de flexión. Como (2012).....</i>	<i>227</i>
<i>Figura 241. Pilar de carga tanto por una fuerza excéntrica en su cabeza y su propio peso distribuido a lo largo de su longitud. Como (2012).....</i>	<i>228</i>
<i>Figura 242. Estabilizar o desestabilizar efectos del peso <math>W</math> de la magnitud de la carga de la cabeza <math>P</math> que un muelle puede sostener (Da La Mendola, papaya 1993). Como (2012).....</i>	<i>228</i>
<i>Figura 243. Vivienda analizada.....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 244. Planta baja N+00.....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 245. Planta Alta N+2.00.....</i>	<i>232</i>
<i>Figura 246. Planta de Cubiertas N+4.90.....</i>	<i>233</i>

<i>Figura 247. Corte Arquitectónico en elevación A-A'</i> .....	234
<i>Figura 248. Corte Arquitectónico en elevación B-B'</i> .....	234
<i>Figura 249. Fachada Frontal</i> .....	235
<i>Figura 250. Fachada Lateral</i> .....	235
<i>Figura 251. Vista lateral</i> .....	236
<i>Figura 252. Vista Posterior</i> .....	236
<i>Figura 253. Detalle cimentación</i> .....	237
<i>Figura 254. Detalle Columna</i> .....	237
<i>Figura 255. Detalle conexión columna-viga</i> .....	238
<i>Figura 256. Detalle vigas</i> .....	238
<i>Figura 257. Detalle entablado</i> .....	238
<i>Figura 258. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.Fuente: NEC_SE_DS</i> .....	242
<i>Figura 259. Espectro de diseño calculado</i> .....	245
<i>Figura 260. Definición columna</i> .....	251
<i>Figura 261. Definición viga</i> .....	251
<i>Figura 262. Definición entablado</i> .....	252
<i>Figura 263. Definición pared</i> .....	252
<i>Figura 264. Definición cargas</i> .....	253
<i>Figura 265. Definición Carga sísmica en X</i> .....	253
<i>Figura 266. Definición Carga sísmica en Y</i> .....	253
<i>Figura 267. Combinaciones de carga</i> .....	254
<i>Figura 268. Combinación Envolvente en XX</i> .....	254
<i>Figura 269. Combinación Envolvente en YY</i> .....	254
<i>Figura 270. Carga viva planta alta N+2.00</i> .....	255
<i>Figura 271. Carga muerta planta alta N+2.00</i> .....	255
<i>Figura 272. Carga viva cubierta N+4.90</i> .....	256
<i>Figura 273. Carga muerta cubierta N+4.90</i> .....	256
<i>Figura 274. Distribución de cargas portico 1</i> .....	257
<i>Figura 275. Distribución de cargas portico 3</i> .....	257
<i>Figura 276. Distribución de cargas portico A</i> .....	258
<i>Figura 277. Distribución de cargas portico C</i> .....	258
<i>Figura 278. Estructura en ETABS antes de la modelación</i> .....	259
<i>Figura 279. Estructura en ETABS deformada bajo el estado de carga Peso Propio</i> .....	259
<i>Figura 280. Deriva de piso en CSX</i> .....	260
<i>Figura 281. Deriva de piso en CSY</i> .....	260
<i>Figura 282. Momentos pórtico 1</i> .....	261
<i>Figura 283. Momento mayor pórtico 1</i> .....	261
<i>Figura 284. Momentos pórtico 2</i> .....	262
<i>Figura 285. Momento mayor pórtico 2</i> .....	262
<i>Figura 286. Momentos pórtico 3</i> .....	262
<i>Figura 287. Momento mayor pórtico 3</i> .....	263
<i>Figura 288. Momentos pórtico A</i> .....	263
<i>Figura 289. Momento mayor pórtico A</i> .....	263
<i>Figura 290. Momentos pórtico B</i> .....	264
<i>Figura 291. Momento mayor pórtico B</i> .....	264
<i>Figura 292. Momentos pórtico C</i> .....	264

<i>Figura 293. Momento mayor pórtico C</i> .....	265
<i>Figura 294. Cargas Axiales pórtico 1</i> .....	265
<i>Figura 295. Cargas Axiales pórtico 2</i> .....	266
<i>Figura 296. Cargas Axiales pórtico 3</i> .....	266
<i>Figura 297. Cargas Axiales pórtico A</i> .....	266
<i>Figura 298. Cargas Axiales pórtico B</i> .....	267
<i>Figura 299. Cargas Axiales pórtico C</i> .....	267

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y Desventajas del material compuesto con matriz cementicia</i>	18
<i>Tabla 2. Propiedades de fibra de cabuya (A. Tamayo, 2008)</i>	22
<i>Tabla 3. Ventajas y Desventajas del sistema FRP.</i>	25
<i>Tabla 4. Ventajas y desventajas del sistema FRCM</i>	27
<i>Tabla 5. Muestras de la investigación</i>	30
<i>Tabla 6 Variable independiente</i>	32
<i>Tabla 7. Variable dependiente</i>	33
<i>Tabla 8. Dosificación para caping</i>	36
<i>Tabla 9. Dosificación del mortero 1:4</i>	65
<i>Tabla 10. Dosificación del mortero 1:1.10</i>	80
<i>Tabla 11. Altura para la aplicación de pre- compresión</i>	86
<i>Tabla 12. Muestras de Columnas, tipo de carga</i>	86
<i>Tabla 13. Caracterización del Ladrillo.</i>	111
<i>Tabla 14. Caracterización de la fibra y tejido de cabuya.</i>	112
<i>Tabla 15. Caracterización del polvo de piedra</i>	113
<i>Tabla 16. Caracterización de la arena</i>	114
<i>Tabla 17. Caracterización del mortero 1:4</i>	114
<i>Tabla 18. Caracterización del mortero 1:1.10</i>	115
<i>Tabla 19. Caracterización del material compuesto</i>	116
<i>Tabla 20. Resultados de ensayo de pilas sin refuerzo</i>	125
<i>Tabla 21. Resultados de ensayo de pilas con refuerzo</i>	135
<i>Tabla 22. Resultados de ensayo de corte a probetas sin refuerzo</i>	142
<i>Tabla 23. Resultados de ensayo de pilas con refuerzo</i>	147
<i>Tabla 24. Análisis de fallas de corte Sin refuerzo</i>	151
<i>Tabla 25. Análisis de fallas de corte con refuerzo</i>	152
<i>Tabla 26. Resultados de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas concéntricas</i>	162
<i>Tabla 27. Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas concéntricas</i>	163
<i>Tabla 28. Resumen de columnas con reforzamiento sometidas a cargas concéntricas</i>	173
<i>Tabla 29. Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas con reforzamiento sometidas a cargas concéntricas</i>	174
<i>Tabla 30. Resumen de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas excéntricas</i>	182
<i>Tabla 31. Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas excéntricas</i>	183
<i>Tabla 32. Resultados de columnas con reforzamiento sometidas a cargas excéntricas.</i>	193
<i>Tabla 33. Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas con reforzamiento sometidas a cargas excéntricas</i>	194
<i>Tabla 34. Carga Axial Máxima resultados de laboratorio S/R</i>	206
<i>Tabla 35. Carga Axial Máxima resultados de laboratorio C/R.</i>	206
<i>Tabla 36. Momento Máximo columna excéntrica S/R</i>	206
<i>Tabla 37. Momento Máximo columna excéntrica S/R</i>	207
<i>Tabla 38. Esfuerzos Admisibles</i>	220
<i>Tabla 39. Módulo de Elasticidad</i>	220

<i>Tabla 40. Relación de Poisson Madera .....</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 41. Cálculo Espectro Elástico .....</i>	<i>242</i>
<i>Tabla 42. Espectro de Diseño por el Método Dinámico.....</i>	<i>244</i>
<i>Tabla 43. Densidad mampostería .....</i>	<i>246</i>
<i>Tabla 44. Módulo de Elasticidad mampostería S/R.....</i>	<i>247</i>
<i>Tabla 45. Módulo de Elasticidad mampostería C/R.....</i>	<i>247</i>
<i>Tabla 46. Módulo de Elasticidad Madera .....</i>	<i>249</i>
<i>Tabla 47. Relación de Poisson madera.....</i>	<i>249</i>
<i>Tabla 48. Módulo de Corte Madera .....</i>	<i>249</i>
<i>Tabla 49. Cargas Axiales Etabs.....</i>	<i>268</i>
<i>Tabla 50. Momento Máximo Etabs .....</i>	<i>268</i>
<i>Tabla 51. Cargas y Momentos Máximos análisis práctico.....</i>	<i>268</i>
<i>Tabla 52. Análisis de Precios Unitarios FRCM por m<sup>2</sup> .....</i>	<i>269</i>
<i>Tabla 53. Análisis de Precios Unitarios FRP por m<sup>2</sup> .....</i>	<i>269</i>

## RESUMEN

En numerosas zonas rurales del Ecuador, la construcción informal ha desencadenado serios problemas en la calidad y seguridad de las edificaciones. Uno de los casos más serios de edificaciones con problemas estructurales se observa en las edificaciones construidas con elementos portantes de mampostería. El Ecuador se encuentra en una zona de alta sismicidad, y un claro ejemplo de esto es el fuerte terremoto que afectó la zona costera del país el pasado 16 de abril de 2016. Por este motivo, en esta tesis se estudia una forma efectiva y económica de contrarrestar las deficiencias estructurales de las edificaciones construidas con columnas de mampostería, y como medio de reforzamiento se plantea el uso de materiales compuestos FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites) producidos a base de fibras de sisal (cabuya). En el desarrollo de esta investigación, se realizaron diversos ensayos en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo para caracterizar cada uno de los materiales usados. Los tejidos de cabuya estudiados fueron obtenidos de sacos y rollos, siendo los tejidos de sacos los que obtuvieron mejores resultados. Adicionalmente, se llevaron a cabo ensayos tanto en ladrillos así como en agregados (polvo de piedra y arena) y en los diferentes morteros usados para producir los materiales compuestos y en la construcción de diversos elementos de mampostería. Se ensayaron elementos de mampostería con y sin refuerzo FRCM, tales como: ocho pilas de ladrillo (ensayos de compresión), ocho columnas (ensayo ante cargas concéntricas de compresión), ocho columnas (ensayo ante cargas excéntricas de compresión), y 12 probetas de tripletes de ladrillo para ensayos de corte. Luego de realizar un levantamiento de información de campo y visitar varias zonas rurales, se seleccionó una vivienda de dos pisos construida con columnas de ladrillo trabado, ubicada en el Cantón Chambo - Provincia de Chimborazo, para realizar una modelación estructural y determinar las solicitaciones que esta debería soportar ante un sismo. Nuestra propuesta se basa en estudiar la posibilidad de usar el sistema de reforzamiento FRCM a base de tejidos de cabuya para mejorar el comportamiento mecánico de la edificación estudiada.

## Abstract

In rural areas of Ecuador, informal construction has unleashed serious problems in the quality and safety of buildings. One of the most serious cases of buildings with structural problems is seen in buildings constructed with masonry bearing elements. Ecuador is located in an area of high seismicity, and a clear example of this is the strong earthquake that affected the coastal zone of the country on April 16th, 2016. For this reason, in this thesis, an effective and economic way of counteracting the structural deficiencies of buildings constructed with masonry columns is studied, and as a strengthening technique, the use of FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix) composites produced with sisal (cabuya) fibers is proposed. In the development of this research, several tests were carried out in the Laboratory of Civil Engineering of the National University of Chimborazo to characterize each of the materials used. The fabrics of cabuya studied were obtained from sacks and rolls, being the fabrics from sacks those that obtained better results. Additionally, tests were carried out on both bricks and aggregates (stone dust and sand) and on the different mortars used to produce and built the composites and various types of masonry elements. Masonry elements with and without FRCM reinforcement were tested, such as: eight brick piles (compression tests), eight columns (concentric compression tests), eight columns (eccentric compression tests), and 12 specimens (triplets of bricks) for shear tests. On the other hand, after conducting a field research and visiting several rural areas, a two-story building located in Chambo Canton - Province of Chimborazo, constructed with masonry columns of clay brick, was selected to perform a structural modeling and determine the solicitations that this should withstand in an earthquake. Our proposal is based on studying the possibility of using a FRCM strengthening system based on fabrics of cabuya to improve the mechanical behavior of the building studied.

  
Reviewed by: Msc. Geovanna Vallejo

Language Center Teacher



## INTRODUCCIÓN

La finalidad de este estudio es analizar la factibilidad del uso de materiales compuestos a base de fibras de sisal (cabuya) para el reforzamiento de columnas de ladrillo trabado.

El daño más común en las estructuras durante los sismos es la fracturación o falla en la mampostería, debido a su vulnerabilidad ante cargas sísmicas. En el país existen construcciones realizadas únicamente con ladrillo incluso en elementos estructurales (columnas), podemos tomar como ejemplo ciertas construcciones en la provincia de Chimborazo, las mismas que necesitarán reforzar sus elementos estructurales en caso de cualquier percance sea natural o no, para mejorar su comportamiento frente a cargas fuera de su eje longitudinal.

En la actualidad, existen diferentes técnicas de reforzamiento (refuerzo con angulares, encamisados metálicos, de polímeros reforzados con fibras (FRP) de hormigón vertido o proyectado, etc.). Aunque los procedimientos de ejecución y los materiales empleados han ido evolucionando con el tiempo, existe una carencia de métodos de análisis para el proyecto de reforzamiento de columnas de ladrillo trabado, es por eso que se plantea este trabajo con una nueva propuesta de ejecución y análisis para el refuerzo de pilares con materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos (Fabric Reinforced Cementitious Matrix – FRCM Composites) a base de fibras de sisal (cabuya).

La utilización de materiales compuestos a base de fibras ha avanzado a una gran velocidad debido a la búsqueda de un sistema que mejore el comportamiento ante la aplicación de cargas de flexión y tracción, de acuerdo a las exigencias actuales de la industria de la construcción y a la variedad de fibras aparecidas en estos años que podrían reemplazar a las de acero.

Con lo mencionado anteriormente, se encuentra importante realizar este trabajo de investigación, en el cual se aportará con información relacionada a la utilización de material compuesto para el reforzamiento de columnas de ladrillo. Para esto se

centra en determinar las características físicas y mecánicas de los componentes del material compuesto y evaluar la resistencia de las columnas de ladrillo frente a cargas de compresión axial pura y cargas de compresión excéntrica para generar la presencia de momentos. Al realizar este estudio podremos determinar si este refuerzo aporta mejoras de comportamiento mecánico del elemento.

En el capítulo 1 (fundamentación teórica), se realiza una revisión teórica de todo lo relacionado con los temas a tratarse durante el análisis de la tesis, relacionada con las características y propiedades mecánicas de los materiales usados, además de la aplicación de FRCM en la construcción.

En el capítulo 2 (metodología), se detalla los ensayos preliminares para la obtención de propiedades de los materiales como son, el ladrillo , cabuya , agregados, se presenta el procedimiento experimental y la caracterización mecánica del material compuesto. Finalmente, se describe los ensayos que se realizaron a las muestras final (pilas y columnas).

En el capítulo 3 (resultados), se tabulan los valores obtenidos de cada uno de los ensayos realizados, así como gráficas de los resultados adquiridos de las muestras finales.

En el capítulo 4 (discusión), se analiza y se discute los resultados obtenidos de los materiales y ensayos finales para ofrecer suficiente evidencia y respaldar las conclusiones.

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

En el capítulo 6 (propuesta), se propone el uso de materiales compuestos (FRCM) a base de fibras naturales de cabuya para mejorar el comportamiento mecánico de una estructura de mampostería.

## **CAPITULO I**

### **1 FUNDAMENTACION TEORICA**

#### **1.1 Antecedentes del tema**

La construcción en toda su historia ha sido el futuro desde la evolución en los métodos de la edificación como en el desarrollo del ser humano como sociedad, es el conjunto de modificaciones y alteraciones introducidas en la superficie terrestre con el objeto de satisfacer las necesidades humanas. La construcción es un factor importante en el desarrollo de una sociedad.

Una estructura se analiza y diseña para que cumpla con condiciones de servicio y resistencia, sin embargo en la provincia de Chimborazo especialmente las zonas rurales existen construcciones únicamente elaboradas con ladrillo trabado, las mismas que no son seguras para quienes habitan en ellas.

El concreto es uno de los materiales de construcción artificiales más antiguos que se conocen. Ya los romanos empleaban un concreto a base de cal y puzolanas para realizar sus construcciones, la industria de la construcción es muy importante lo cual hace inevitable la necesidad de agregados de calidad. El concreto reforzado con fibras es un material nuevo en nuestro país, pero se tiene evidencia de que los antiguos egipcios usaron paja para reforzar los ladrillos de lodo, evidencias de que la fibra de asbesto fue utilizada para reforzar los postes de arcilla hace aproximadamente 5 000 años, también se utilizaban fibras para reforzar elementos de mampostería construidas de adobe, las fibras generalmente utilizadas son la paja seca o pelo de caballo; las que ayudan a controlar el encogimiento, las grietas y resquebrajamiento por efecto del secado. Actualmente, las fibras de acero, de vidrio y, más recientemente, las de polipropileno, son alternativas viables para reforzar al concreto. Pero últimamente, se han realizado estudios a otro grupo de fibras llamadas “naturales” (Reyes, 2008).

Los sistemas de refuerzo estructural (Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites) FRCM están constituidos por el acoplamiento de una red de fibra de un alto rendimiento y una matriz inorgánica estabilizada empleada con la función de adhesivo. En algunos artículos publicados entre 1995 y 1997 en el CI Concrete International se entrega información sobre una nueva tecnología conocida como refuerzos mediante compuestos en base a resinas poliméricas y distintos tipos de fibras minerales o metálicas, materiales denominados FRP (Fiber Reinforced Polymer) para reparación, restauración y refuerzo estructural (Nanni, 1995). En la actualidad, la industria está aplicando una nueva clase de sistema de refuerzo que utiliza el mismo tipo de fibras pero embebidas en matrices cementíceas denominados FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix). En comparación con los FRP, los FRCM ofrecen una mayor compatibilidad con los elementos estructurales de concreto y albañilería, y un comportamiento superior a altas temperaturas, condiciones de incendio y radiación ultravioleta (Beltrán, 1986).

En la actualidad existen diferentes técnicas de refuerzos (refuerzo con angulares, encamisados metálicos, de polímeros reforzados con fibras (FRP), de hormigón vertido o proyectado, etc.). Aunque los procedimientos de ejecución y los materiales empleados han ido evolucionando con el tiempo existe una carencia de métodos de análisis para el proyecto de reforzamiento de columnas de ladrillo trabado, es por eso que se plantea este trabajo con una nueva propuesta de ejecución y análisis para el refuerzo de pilares con materiales compuestos (FRCM) a base de fibras de sisal (cabuya).

Una estructura se analiza y diseña para que cumpla con condiciones de servicio y resistencia. Sin embargo en la provincia de Chimborazo especialmente en especial en sectores rurales existen construcciones únicamente elaboradas con ladrillo trabado, las mismas que no son seguras para quienes habitan en ellas, por ello se halla importante verificar la funcionalidad de un concreto compuesto con fibra de cabuya para el reforzamiento de columnas de ladrillo.

## 1.2 Ladrillo

Los ladrillos son piezas de arcilla cocida, generalmente con forma de prisma rectangular, que se usa en la construcción de muros, paredes, pilares, etc.



*Figura 1. Ladrillo de arcilla. Archexpo (s.f). Recuperado de: <http://www.archiexpo.es/>*

### 1.2.1 Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo

Entre las propiedades físicas que se estudian en los ladrillos se encuentran:

- **La absorción de agua:** Cuando se coloca el mortero de pega o de relleno de las unidades, succiona parte del agua del mortero, que afecta su adherencia y la consistencia del mortero.
- **Densidad:** Es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas.

Entre las propiedades mecánicas que se estudian en los ladrillos se encuentran,

- **La resistencia a la compresión:** se usa como control de calidad en la elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), para conocer la calidad de los materiales y su materia prima utilizados en la fabricación de ladrillo y para encontrar la resistencia a la compresión de la mampostería.

- **El módulo de rotura** (ensayo de flexión) es una propiedad importante como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la mampostería cuando se solicitan esfuerzos de compresión y flexión, casos muy comunes en la mampostería (García , Guerrero , & Monroy, 2012).

### 1.3 Mortero

La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero. El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

#### 1.3.1 Componentes del mortero

##### 1.3.1.1 Aglutinantes

Los aglutinantes utilizados en la preparación del mortero pueden ser:

- **Yeso:** El aglutinante más antiguo, mezclado con el agua endurece rápidamente, pero suele tener resistencia baja.



*Figura 2. Yeso. Arqhys (s.f). Recuperado de: <http://www.arqhys.com/construccion/yeso-tipos.html>*

- **Cal:** La cal apagada, se utiliza para producir un simple mortero de cal, mezclándolo con arena y agua.



*Figura 3. Cal. Shandong Huaye Strainles Steel Group (s.f). Recuperado de: [http://es.made-in-china.com/co\\_qdrisingsun/product\\_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material\\_hrruyygy.html](http://es.made-in-china.com/co_qdrisingsun/product_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material_hrruyygy.html)*

- **Cal hidráulica:** Están hechas de piedra caliza marmóreas, mezclas de materiales calizos y arcillosos.



*Figura 4. Cal. Allbiz (s.f). Recuperado de: <http://www.br.all.biz/ar/gir-mtf-bgg1068844>*

- **Cemento:** Se obtiene mediante proceso químico, permitiendo que endurezca incluso bajo el agua.



*Figura 5 Cemento. Vilssa (s.f). Recuperado de: <http://vilssa.com/noticias-contradictorias-sub-la-produccion-de-cemento-y-baja-la-actividad-de-la-construccion>*

### **1.3.1.2 Agregados**

Los agregados se clasifican como finos o gruesos.

Las arenas se utilizan como agregados finos, mientras que la grava o rocas trituradas representan agregados gruesos.

#### **1.3.1.2.1 Propiedades de los agregados**

- **Granulometría:** la propiedad física que define el tamaño del agregado, un análisis granulométrico divide a la muestra en porciones del material del mismo tamaño determinando porcentajes respecto a la masa inicial de la muestra (INEN 696).



**Figura 6** Granulometría. Análisis de laboratorio de piedra y arena gruesa de la cantera arunta (TACNA-PERU) (s.f). Recuperado de:  
[http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa\\_I/AAAAAAAAAY/gkyQP9G\\_sGs/s1600/2.gif](http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa_I/AAAAAAAAAY/gkyQP9G_sGs/s1600/2.gif)

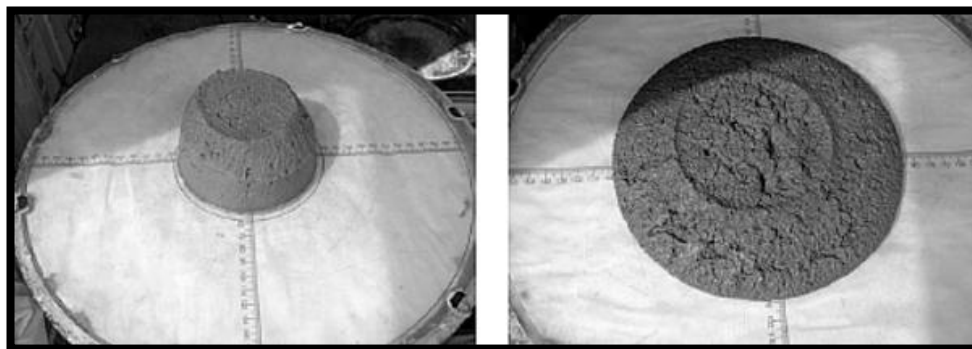
- **Módulo de finura:** Es el índice de la finura del agregado fino, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. “Se considera que el módulo de finura de una arena adecuada para producir hormigón, debe estar entre 2,3 y 3,1 donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina; 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa”
- **Tamaño máximo nominal.** Es el tamaño del tamiz anterior al primer tamiz en el que hubo una retención del 15% o más de la muestra (INEN 696).
- **Densidad relativa** Es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas. Este ensayo se realiza bajo la norma (NTE INEN 856).



**Figura 7** Densidad Relativa. Ensayo de Laboratorio de suelos (s.f). Recuperado de:  
<https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/gravedad-especifica-de-los-suelos/>

### 1.3.2 Características del mortero fresco

- **Tiempo de fraguado:** Es un periodo donde mediante reacciones químicas del cemento y del agua generan que endurezca y aglutine el agregado de la mezcla y se endurezca, este tiempo es de suma importancia ya que nos permite colocar y acabar el hormigón (Gabalec, 2008).
- **Fluidez o consistencia:** Define la manejabilidad o trabajabilidad del mortero. La fluidez adecuada se logra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, también dependerá mucho condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc. La trabajabilidad mejora con la adición de cal, plastificantes o aireantes (AFAM, 2012).



*Figura 8. Ensayo de Fluidez. AFAM (s.f). Recuperado de: <http://www.afam-morteros.com/>*

- **Peso volumétrico y contenido de aire:** El peso volumétrico se expresa en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$  éste parámetro sirve para verificar la uniformidad del producto, En general los concretos pueden ser ligeros, de peso normal (2,000-2,400  $\text{kg/m}^3$ ) y pesados. El contenido de aire se verifica especialmente en los concretos donde intencionalmente se ha introducido aire para determinar el porcentaje de vacíos del mortero.

### 1.3.3 Características del mortero endurecido (AFAM, 2012).

- **Resistencia mecánica:** El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las solicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Las resistencias a compresión y flexión del mortero se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas.



*Figura 9. Ensayo de Flexión y Compresión. AFAM (s.f). Recuperado de: <http://www.afam-morteros.com/>*

- **Densidad:** La densidad o masa específica del hormigón depende principalmente de la naturaleza de los agregados, su granulometría y la forma de compactación que fue empleada. Mientras mayor sea la densidad de los agregados utilizados y mejor compactada esté la mezcla, será mayor la densidad del hormigón.



*Figura 10. Densidad. AFAM (s.f). Recuperado de: <http://www.afam-morteros.com/>*

- **Absorción:** Determina la permeabilidad de un mortero. Si el mortero es permeable al agua, transmitirá ésta hacia el interior originando la consiguiente aparición de humedades por filtración. La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción presentará.

#### 1.4 Columnas

La columna es un elemento estructural encargado de transmitir cargas hacia la cimentación, generalmente son realizadas de concreto reforzado u otro material resistente a fuerzas axiales y momentos.

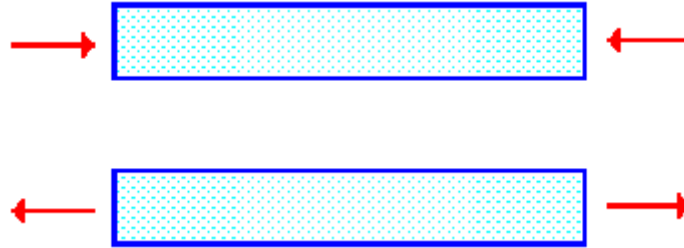
En la provincia de Chimborazo específicamente en zonas rurales se realizan columnas de ladrillo trabado, las mismas que son resistentes a la compresión pero tienen una escasa o nula resistencia a la tracción o flexión generando así inseguridad a sus ocupantes.



*Figura 11. Columna de Ladrillo Trabado de 30x 30 cm. Apuntes ingeniero civil (s.f). Recuperado de: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com>*

### 1.4.1 Columnas frente a cargas axiales

En términos generales, la manera más eficiente que tienen los elementos estructurales de resistir las solicitaciones se produce cuando tales solicitaciones tienen una orientación coincidente con el eje longitudinal de los elementos.

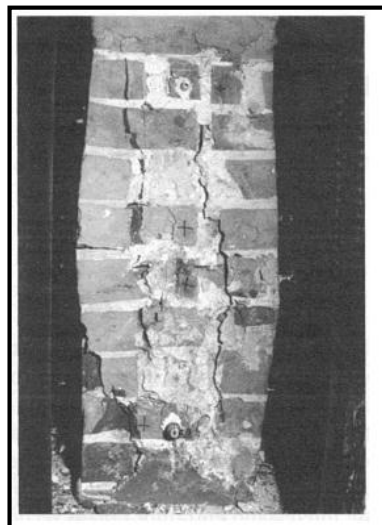


*Figura 12. Elementos sometidos a compresión. Recuperado de: <http://publiespe.espe.edu.ec/>*

En este caso los elementos resisten a las solicitaciones mediante esfuerzos axiales (paralelos a las acciones) que pueden ser de tracción o compresión, dependiendo de las acciones externas.

Las columnas de ladrillo trabado, es una compleja estructura cuya resistencia a la compresión depende de la interacción entre los ladrillos y componentes del mortero.

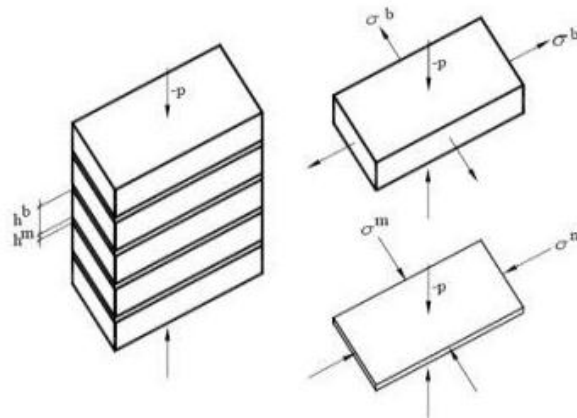
Las pruebas revelan que las fisuras radiales en los bloques anticipan la rotura frágil de forma uniaxial mampostería comprimido, que se caracteriza por la expulsión de fragmentos de ladrillo. Como puede verse en la figura 13.



*Figura 13. Falla a compresión de un pilar de ladrillo. Como (2012)*

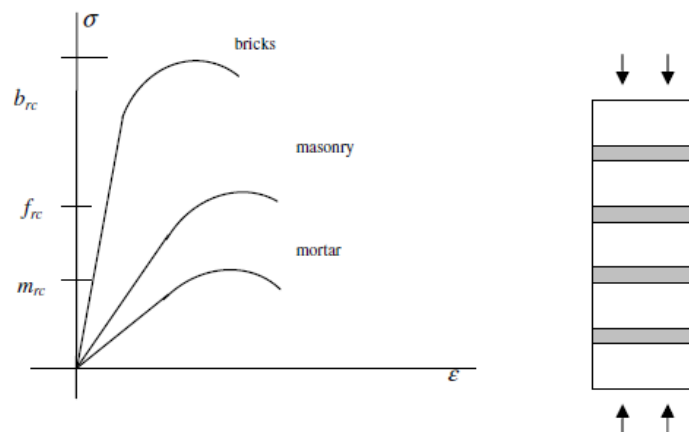
Cuando el ladrillo se encuentra sometido a un esfuerzo de compresión axial, el mortero tiende a expandirse lateralmente, siendo la adherencia entre dicho ladrillo y el mortero la que presenta impedimento a este movimiento.

De este modo, en la combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes entre ladrillo y mortero se originan tensiones distintas en ambos elementos. Como puede verse en el gráfico, mientras que las piezas rígidas de ladrillo se encuentran sometidas a una tracción bidireccional unida a la compresión axial.



**Figura 14.** Combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes. Como (2012)

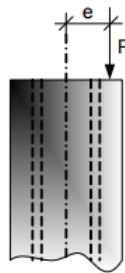
Al aplicar cargas de compresión axial podemos ver los diagramas de  $\sigma$ - $\epsilon$  de una columna de ladrillo y sus componentes (ladrillo y mortero).



**Figura 15.** Diagrama esfuerzo deformación del ladrillo, mortero y mampostería bajo carga axial. Como (2012)

### 1.4.2 Columnas frente a cargas excéntricas

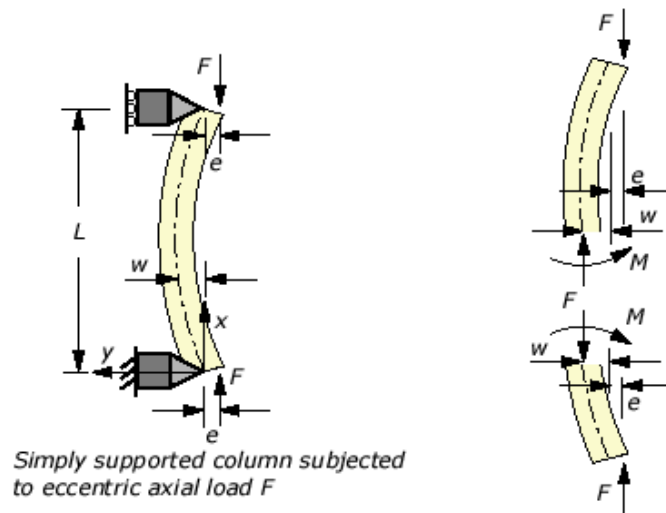
Una columna es un elemento sometido a compresión, el cual es lo suficientemente delgado respecto a su longitud para que bajo la acción de una carga gradualmente creciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menor que la necesaria para romperlo por aplastamiento. En esto se diferencia de un elemento corto sometido a compresión, el cual, aunque este cargado excéntricamente, experimenta una flexión lateral despreciable. Aunque no existe un límite perfectamente definido entre elemento corto y columna, se suele considerar que un elemento a compresión es una columna si su longitud es igual o mayor a diez veces la dimensión menor de la sección transversal. Las cargas que puede soportar una columna pueden ser concéntricas, cuando se aplican sobre su centroide, o excéntricas, cuando se aplican a cierta distancia de su eje centroidal.



*Figura 16. Modelo de Carga Excéntrica en columnas. Portales Edu. (2013)*

Cuando se incrementa la longitud de una columna, disminuye su capacidad de soportar carga. Cuando la excentricidad es pequeña y la columna es corta, la flexión lateral es despreciable, comparada con el efecto de la compresión; por el contrario al aumentar la longitud, una pequeña excentricidad puede producir un gran esfuerzo de flexión.

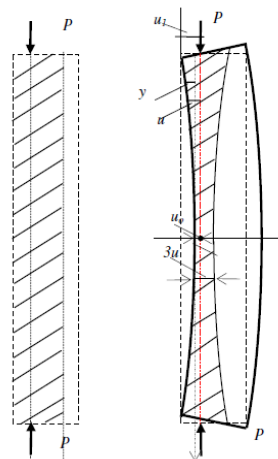
En el caso de una columna de ideales bajo una carga axial, la columna se mantiene recta hasta que se alcanza la carga crítica. Sin embargo, la carga no se aplica siempre en el centroide de la sección transversal, como se supone en la teoría de pandeo de Euler. En la gráfica se observa una columna de longitud  $L$  sujeta a una fuerza axial  $F$ . En un extremo de la columna, la fuerza  $F$  se aplica una distancia  $e$  desde el eje de la columna central (Nash, 2007).



**Figura 17.** Modelo de Flexión de columnas que soportan carga axial  $F$ . Portales Edu. (2013).

Las columnas cargadas axialmente rara vez ocurren en la práctica, debido a que casi siempre hay cierta flexión, como lo evidencia la torcedura inicial ligera de las columnas, la manera en que se aplican las cargas mediante vigas y losas, y los momentos introducidos por la construcción es continua. La combinación de una carga axial  $P_u$  y momento Flexionante  $M_u$  equivale a una carga  $P_u$  aplicada en la excentricidad  $e = M_u/P_u$

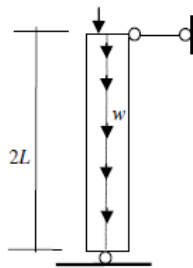
La carga axial  $P$  se aplica en sus secciones finales con excentricidad  $e$  incluidos en el intervalo de  $t/2 > e \geq t/6$ , donde  $t$  es la anchura de sección.



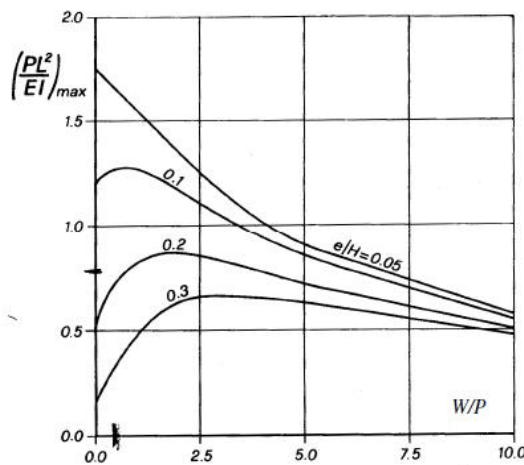
**Figura 18.** Efecto de estrechamiento de la zona resistente debido a las deformaciones de flexión. Como (2012)

En la figura 18 la distancia de la carga axial P desde el borde de la sección se indica con u, mientras que U1 y Uo son las mismas distancias, pero hasta el final y la sección media del pilar, respectivamente. Tenemos así  $u1 = t / 2 - e$ . esta fuerte condición de la excentricidad de carga corresponde a las posiciones de la carga punto de P en secciones extremas incluyen entre los bordes de la sección y su núcleo. La carga axial excéntrica reduce todas las secciones resistentes del pilar.

Las ordenadas representan los valores adimensionales de la carga máxima que puede sostener con la relación asumida  $W / P$  y la relación de excentricidad  $e / H$ , donde H indica la altura de la sección. La inspección de los diagramas en la figura 19 revela que la adición de peso W, si es relevante con respecto a P, en presencia de grandes excentricidades, aumenta la carga P que el pilar puede sostener. En este caso, podemos decir que el peso W tiene un efecto estabilizador. Por el contrario, en presencia de pequeñas excentricidades, el efecto del peso tiene, por regla general, un efecto desestabilizador (Como, 2012).



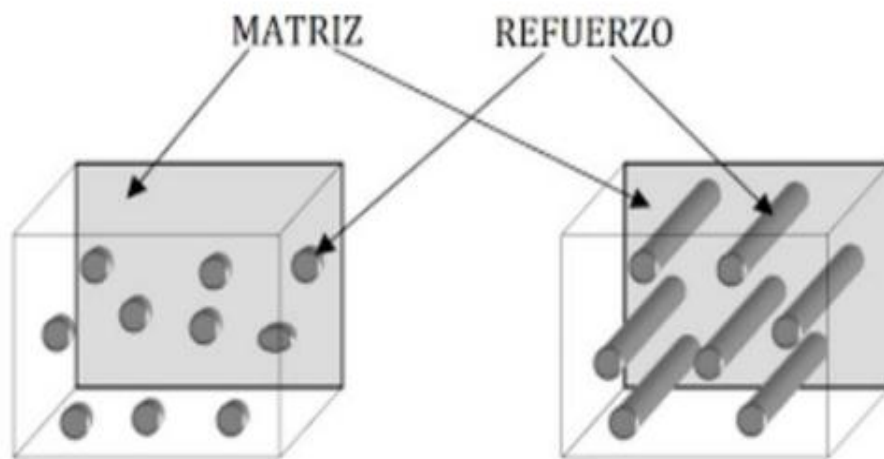
**Figura 19.** Muelle de carga tanto por una fuerza excéntrica en su cabeza y su propio peso distribuido a lo largo de su longitud. Como (2012)



**Figura 20.** Estabilizar o desestabilizar efectos del peso W de la magnitud de la carga de la cabeza P que un muelle puede sostener (Da La Mendola, papaya 1993). Como (2012)

## 1.5 Materiales compuestos

Son aquellos que están formados por dos o más materiales distintos, con el propósito de conseguir una combinación de propiedades que no sería posible obtener únicamente con los materiales originales. Aunque existe una gran variedad de materiales compuestos, todos se encuentran compuestos por matriz y refuerzo.



*Figura 21. Estructura Básica del Material Compuesto. (s.f). Recuperado de: <https://arquitecturacarbono.wordpress.com/2011/03/23/%C2%BFque-es-un-material-compuesto/>*

### 1.5.1 Clasificación de los materiales compuestos

En función de la naturaleza de la matriz existe la siguiente clasificación;

- **Compuestos de matriz polimérica:** La matriz es un plástico y una variedad de fibras, como las de carbono o vidrio, a estas se las puede considerar las más comunes
- **Compuestos de matriz metálica:** Son unos de los más utilizados en la industria automotriz, están formados por metales livianos como el aluminio y fibras como las de carburo de silicio para el refuerzo
- **Compuestos de matriz cerámica o cementicia:** Se utilizan en aplicaciones de alta temperatura. Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras (Stupenengo, 2011).

En función a la forma existe la siguiente clasificación:

- **Compuestos reforzados con partículas:** Las partículas suelen ser más resistentes que la matriz mejorando así sus propiedades mecánicas y obteniendo así materiales más resistentes
  
- **Compuestos reforzados con fibras:** Los sistemas de refuerzo FRCM poseen dos componentes primarios: la matriz cementícea y una o más mallas de refuerzo conformadas por haces de fibras. La matriz corresponde típicamente a un mortero fino compuesto por cemento portland puzolánico con una baja dosis de polímeros orgánicos secos (menos del 5% en relación al peso de cemento) una arena fina de granulometría continua y con una adición de microfibras para asegurar un desempeño tixotrópico en estado fresco y controlar la microfisuración asociada a la retracción del mortero. La incorporación de polímeros orgánicos resulta necesaria para obtener propiedades reológicas, tiempo de fraguado y propiedades mecánicas compatibles. Por otro lado, la efectividad mecánica del sistema FRCM está altamente influenciada por la capacidad de la matriz cementícea para saturar y embeber los haces de fibra de las mallas.

*Tabla 1. Ventajas y Desventajas del material compuesto con matriz cementicia*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Estabilidad dimensional a altas temperaturas.</i></li> <li>• <i>Alta estabilidad química.</i></li> <li>• <i>Alta estabilidad térmica.</i></li> <li>• <i>Excelentes propiedades mecánicas(resistencia y rigidez)</i></li> <li>• <i>Resistente a la absorción de humedad.</i></li> <li>• <i>Aplicable a tempeturas extremas (2000 °C a 4000 °C)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Muy frágil</i></li> <li>• <i>Se requieren presiones muy altas de consolidación</i></li> <li>• <i>Muy caro de producir y mantener</i></li> </ul>

*Fuente: Cevallos, 2015*

- **Compuestos estructurales.** Presentan una combinación de materiales semejantes, en donde sus propiedades dependen de la geometría de los

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

## **1.5.2 Componentes del material compuesto**

### **1.5.2.1 La matriz:**

La matriz actúa como ligante. El material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo. La matriz de un material compuesto soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta, transfiere la carga a las fibras fuertes, evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto (Stupenengo, 2011).

Es responsable de las propiedades físicas y químicas, transmite los esfuerzos al agente reforzante, lo protege y da cohesión al material.

### **1.5.2.2 Refuerzo:**

El material de refuerzo es un componente variable, aquel que se agregara a la matriz para otorgar al material compuesto alguna propiedad que la matriz no posee.

El refuerzo en el material compuesto aporta la resistencia mecánica, rigidez, dureza y va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes corresponden a su resistencia a la tracción específica y su elevado módulo de elasticidad, resistencia al medio ambiente, la ductilidad, bajo costo, buena manejabilidad y facilidad de fabricación. La fase de refuerzo puede ser de muchas formas, tales como corta o continuo, fibras o filamentos, fibras o telas tejidas, partículas o cintas. El criterio para la selección del tipo y forma del refuerzo variará según el requisito de diseño para el material compuesto (Cevallos, 2014).

## **1.5.3 Tipos de fibras usadas como refuerzo**

### **1.5.3.1 Fibras de acero:**

Son pedazos cortos y discontinuos de acero con aspecto y esbeltez entre 20 y 100 y con variadas secciones transversales. Las fibras de acero se pueden clasificar por su manufactura, según la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM A 820).

### **1.5.3.2 Fibras de vidrio:**

La fibra de vidrio se conforma de hebras delgadas hechas a base de sílice o de formulaciones especiales de vidrio, extruidas a modo de filamentos de diámetro microscópico. Se han realizado constantes estudios sobre las fibras de vidrio, en los años 60 se usaron fibras de acero convencional de borosilicato (fibras de vidrio-E) y fibras de vidrio de sílice-cal-soda (fibra de vidrio-A). Las pruebas realizadas en estas fibras dieron como resultado que reaccionaran de manera negativa con la pasta de cemento y reducían la resistencia de concreto.

### **1.5.3.3 Fibras sintéticas.**

Estas fibras son producidas por el hombre y son resultado de investigación y de las industrias petroquímicas y textiles. Algunos tipos de estas son: acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. A diferencia de otras fibras, éstas poseen la cualidad de reducir la contracción plástica y, consecuentemente, la fisuración y pueden ayudar al concreto después de que se fisura.

### **1.5.3.4 Fibras naturales:**

Estas han sido utilizadas desde los primeros tiempos, puesto que no se conocía el refuerzo convencional de acero que ahora existe, algunos ejemplos son los ladrillos de barro con paja y los morteros reforzados con excremento de caballo. Las fibras naturales, por lo general, se usan para concretos con bajo contenido de fibras (REYES. 2008).

#### 1.5.3.4.1 Fibra de Sisal (Cabuya)

La cabuya es una planta nativa que se da en Ecuador generalmente en el sector interandino, esta tiene origen en Colombia y Venezuela, extendiéndose hacia Centro América hasta las Antillas.

La conocida fibra de cabuya es extraída de la hoja de cabuya. Es una planta que crece de forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de los Andes.

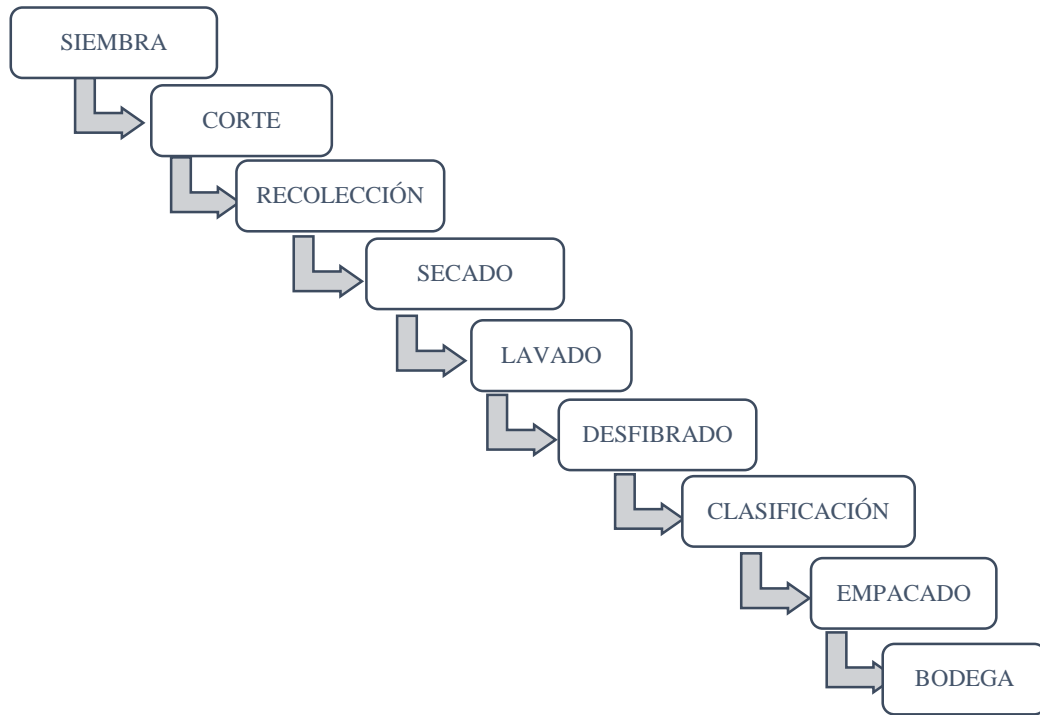
En el Ecuador esta planta ha sido explotada desde tiempos inmemorables. Viene del quechua “Chahuar” o también conocida como “Chuchau”. Esta planta tiene varios usos en el campo ecuatoriano; utilizándose la fibra para elaboración de productos textiles, hace las veces de jabón, leña; el jugo como fijador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



*Figura 22. Planta y fibras de Cabuya. Tamayo (2012)*

#### 1.5.3.4.1.1 Obtención de la cabuya

Para la obtención de la cabuya se siguen una serie de pasos bien definidos



*Figura 23. Proceso obtención de cabuya*

#### 1.5.3.4.1.2 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/cm<sup>3</sup>. Esto las hace atractivas para diferentes industrias, ya que se puede obtener un interesante ahorro de energía debido a su contextura liviana combinada con la resistencia a la tracción. La gran resistencia de la fibra de la cabuya obedece especialmente a sus propiedades mecánicas, que se observan en la Tabla 2. (A. Tamayo, 2008)

*Tabla 2 . Propiedades de fibra de cabuya (A. Tamayo, 2008)*

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la Tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Absorción de la Humedad (%)
1.3	305.15	7.5	-

La fibra de cabuya seria entonces una excelente elección para la elaboración de materiales compuestos, debido a sus buenas propiedades mecánicas.

#### **1.5.3.5 Propiedades y comportamiento de materiales compuestos con fibras naturales**

El comportamiento de un material compuesto dependen directamente de las propiedades de los elementos que lo conforman, es decir de la matriz, el refuerzo y la interfaz formada entre estos elementos.

Las funciones del refuerzo para mejorar una o varias propiedades de la matriz son: aumentar la resistencia a tracción, compresión y corte, aumentar el módulo de elasticidad y rigidez, aumentar la temperatura de deformación por calor y disminuir la contracción; dependiendo del diseño requerido.

Algunas de las ventajas de las fibras al formar parte de materiales compuestos son:

- Ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y desecho al final del ciclo.
- Renovables, y necesitan menor cantidad de energía de entrada por unidad de producción.
- Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio.
- Mejor elasticidad que las fibras minerales.
- Menos abrasivos durante el proceso de fabricación.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.
- 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio.
- Si se requiere un compuesto 100% biodegradable se pueden mezclar con biopolímeros como almidón, lignina, hemicelulosa, caucho, etc.

## **1.6 Técnicas de reforzamiento estructural**

Para el reforzamiento de estructuras se tienen varias técnicas como el suplemento de armaduras, perfiles metálicos, encamisados de hormigón con morteros de alta resistencia con o sin armadura. Sin embargo la aplicación de esta clase de reforzamientos genera algunos problemas como aumento de peso propio, aumento de inercia, disminución de la superficie o altura libre, y mano de obra especializada.

Por lo antes mencionado, actualmente se está empleando una nueva técnica la cual se basa en el refuerzo y reparación de estructuras mediante el uso de materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras (FRP), los mismos que pueden ser empleados en elementos estructurales como son vigas, losas y pilares. Dicha técnica a generado una mejora estructural sin afectar prácticamente a la rigidez ni al peso propio del elemento, en donde para su ejecución en obra, se colocan sin la ayuda de instrumentos y maquinarias específicos, por un número limitado de operarios, en tiempos extremadamente breves y, a menudo, sin que resulte necesario interrumpir el servicio de la estructura (Rodríguez, 2016).

### **1.6.1 Sistema FRP**

El termino FRP significa “Fiber Reinforced Polymer”, lo cual quiere decir, “material polimérico fibroreforzado”, es un compuesto estructural constituido por un conjunto de fibras plásticas presentes en forma continua y direccionadas, caracterizadas por sus elevadas prestaciones mecánicas, estas se encuentran envueltas por el elemento continuo el cual se identifica como matriz de resina, la misma que protege y transfiere la tensión entre fibras de manera uniforme. La matriz tiene la misión de transmitir los esfuerzos al refuerzo, hace la función de aglomerante y protección del mismo, y a su vez, proporciona la forma (Rodríguez, 2016).

Este sistema de refuerzo consiste en la adhesión externa del material de refuerzo sobre la superficie del hormigón, actuando como una armadura externa para el elemento, presenta varias ventajas principalmente en resistencia a la tracción.



**Figura 24.** Aplicación Sistema FRP. (s.f). Recuperado de: <http://mdai.aq.upm.es/wp-content/uploads/2014/05/Intervenciu00F3n%20y%20Consolidaci00F3n%20Estructural.pdf>

### 1.6.1.1 Ventajas y desventajas del sistema FRP

**Tabla 3.** Ventajas y Desventajas del sistema FRP.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad dimensional</li> <li>• Fácil de reparar</li> <li>• Aplicación fácil, no requiere de uso de equipos especiales, ni mano de obra especializada.</li> <li>• Incrementa la resistencia de la estructura sin aumentar mucho su rigidez.</li> <li>• Resistencia ante factores ambientales agresivos, ataques químicos y corrosión,</li> <li>• Debido a sus excelentes propiedades estos materiales requieren un nulo o muy pequeño mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado del material</li> <li>• Baja resistencia transversal</li> <li>• Mayor cuidado en la preparación de la superficie de contacto</li> <li>• Riesgo para el trabajador, debido al contenido de sustancias nocivas presente en las resinas.</li> <li>• Imposibilidad de aplicar el sistema FRP en superficies húmedas o a bajas temperaturas.</li> <li>• Dificultad para identificar hormigón dañado bajo el FRP, debido a que la resina no refleja el daño en el hormigón</li> </ul>

*Fuente: Cevallos, 2014*

### **1.6.2 Sistema FRCM**

El sistema FRP, presenta algunos inconvenientes, para resolver estos recientemente se han incorporado materiales compuestos en que la resina epóxica es reemplazada por materiales inorgánicos estables (típicamente mortero de cemento) como matriz aglomerante adhiriendo las fibras al hormigón. Ésta solución se conoce como refuerzo con fibras con matriz cementicia

En la actualidad, la industria está aplicando una nueva clase de sistema de refuerzo que utiliza distintos tipos fibras embebidas en matrices cementicias denominados FRCM. En comparación con FRP, FRCM ofrece una mayor compatibilidad con los elementos estructurales de hormigón y albañilería, y un comportamiento superior a altas temperaturas, condiciones de incendio y radiación ultravioleta (Martínez, 2016).

El sistema de refuerzo FRCM posee dos componentes: la matriz cementicia y una o más mallas de refuerzo. La matriz corresponde básicamente un mortero de cemento y las mallas de refuerzo que son haces de fibra (P. Sandoval, 2014).

#### **1.6.2.1 Caracterización de los sistemas de refuerzo estructural FRCM**

Los requerimientos son:

- Amigable con el medio ambiente
- Consistencia adecuada, buena penetración en las fibras y buenas características para embeber las fibras.
- Compatibilidad química y térmica tanto con la malla como con el sustrato y poseer resistencia térmica y al fuego.
- El refuerzo de haces de fibra conformando una malla reticulada, la cual queda embebida en la matriz cementicia. Tiene como características ser un material liviano
- Propiedades mecánicas suficientes para la transferencia de carga.

### 1.6.2.2 Ventajas y desventajas del sistema FRCCM

Tabla 4. Ventajas y desventajas del sistema FRCCM

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Afinidad con las propiedades químicas, físicas y mecánicas del hormigón armado.</li><li>• Fácil instalación.</li><li>• Permite el transporte del aire y de la humedad a través del refuerzo.</li><li>• Buen comportamiento ante elevadas temperaturas y una resistencia aceptable al fuego.</li><li>• Conservar las condiciones arquitectónicas originales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las propiedades mecánicas dependen de sus componentes.</li><li>• Adherencia en entre la matriz y la fibra.</li><li>• Dependen de una correcta transferencia de los esfuerzos mecánicos ente matriz y fibra.</li><li>• Para obtener el material compuesto la matriz debe estar en estado fluido e impregnar bien el refuerzo. De esta forma, se consigue una buena unión en la interface.</li></ul>

Fuente: Cevallos, 2014

## 1.7 Reforzamiento de columnas con materiales compuestos

El FRCCM se aplica como refuerzo a columnas con deficiencias en la ductilidad a flexión y/o con insuficiente capacidad a cortante. En estos casos el FRCCM induce tensiones de confinamiento que restringen la dilatación del concreto para aumentar la capacidad de carga y de deformación del elemento, además de generar un mecanismo que incremente la resistencia a cortante. El incremento del uso del encamisado de las columnas con FRCCM en lugar del encamisado con acero se debe a que su instalación es más rápida, es liviano, es adaptable a cualquier geometría que tenga la columna; además su alta resistencia a la corrosión reduce el mantenimiento e incrementa la durabilidad del concreto.

El comportamiento de las columnas reforzadas con FRCCM, depende de múltiples factores entre ellos pueden enumerarse: la configuración de la columna (geometría y armado), la configuración del encamisado (espesor, ángulo de la fibra, número de capas y tipo de encamisado), las propiedades mecánicas de los materiales (concreto y FRCCM), y el estado de daño del concreto.

Es importante considerar los siguientes aspectos del confinamiento lateral dado por el FRCM. El encamisado por su esbeltez, no aumenta la rigidez lateral de la columna; el confinamiento sólo mitiga los fallos locales prematuros. Los FRCM son susceptibles a la rotura en los puntos localizados donde hay demanda de deformación; por ello, el encamisado con FRCM no evita el pandeo longitudinal, pero disminuye la probabilidad de que suceda. El encamisado reduce la fisuración por corte en la zona donde se forman las rótulas plásticas, conduciendo a que las fisuras ocurran por flexión cerca a la base.

Los ensayos sobre columnas reforzadas con diferentes tipos de FRCM han mostrado que la forma de la sección transversal de las columnas incide en el grado de confinamiento producido por el refuerzo, y que la forma óptima es la sección circular, mientras que con una sección rectangular, el confinamiento tiende a ser bajo. Recientemente se ha estudiado el comportamiento de columnas huecas reparadas y rehabilitadas con FRCM, en las cuales también hay un incremento de ductilidad y resistencia, sin embargo, aún no se ha evaluado la eficiencia del confinamiento para este tipo de secciones.

Se estableció experimentalmente que la resistencia y el módulo de elasticidad del concreto confinado junto con el espesor del encamisado de FRCM, son parámetros importantes en el comportamiento de los elementos sometidos a cargas axiales, donde el fallo del concreto confinado depende de la rotura del FRCM. También se investiga el comportamiento en columnas rectangulares reforzadas con FRCM bajo cargas excéntricas. Sus resultados experimentales y numéricos muestran que se puede incrementar la resistencia y la ductilidad de las columnas, no obstante advierten que la eficiencia del refuerzo depende de la rigidez del FRCM. De acuerdo con estudios realizados, se ha concluido que el número de capas de FRCM utilizado para confinar la base de las columnas, mejora apreciablemente la ductilidad del sistema (Molina, Oller, Barbat, & Martínez, 2009).

## **CAPITULO II**

### **2 METODOLOGÍA**

#### **2.1 Tipo de estudio**

Los tipos de estudio que se utilizaron en este proyecto de investigación son: exploratoria, documental, experimental, comparativo y descriptivo.

Se consideró una investigación exploratoria ya que al ser elementos estructurales contruidos con ladrillo lo cual ya no es muy común dentro de la sociedad y además de contar con la utilización de material compuesto con fibras naturales a base de cabuya en nuestro medio no ha sido analizado a fondo.

Se consideró documental ya que para la obtención de las propiedades del material se realizaron ensayos, algunos de los cuales necesitaron de la recopilación de varias fuentes de información que nos ayudaron con el proceso experimental al tratar de utilizar fibras de cabuya en el reforzamiento de columnas trabadas con el sistema FRCM.

Se consideró comparativo ya que se analiza el comportamiento mecánico de columnas de ladrillo trabado no reforzadas y columnas de ladrillo trabado con reforzamiento de material compuesto FRCM y las reacciones provocadas en cada una de ellas.

Experimental ya que se comprobó el efecto que produce la incorporación de un material compuesto en este caso la fibra natural de cabuya a elementos estructurales como son las columnas de ladrillo trabado.

Descriptivo porque a más de tener conocimiento acerca de la calidad de los materiales utilizados para la elaboración del mortero y de los ladrillos provenientes del cantón Chambo, se contó con una amplia información acerca del comportamiento que tendrá el mortero al ser reforzado con el sistema FRCM con

la utilización del tejido de fibras de cabuya, los cuales podrán ser utilizados con mayor confiabilidad y seguridad en construcciones futuras.

## 2.2 Población Muestra

### 2.2.1 Población:

La población considerada para esta investigación son columnas sometidas a fuerzas de compresión y momentos.

### 2.2.2 Muestra:

Analizar el comportamiento mecánico de columnas de ladrillo trabado sometidas a compresión axial pura y excéntrica. Para estudiar esta muestra se han llevado a cabo varios ensayos en diversos tipos de probetas tal como se muestra a continuación:

*Tabla 5. Muestras de la investigación*

ACTIVIDAD	Nº	MUESTRA
<b>CARACTERIZACIÓN DEL LADRILLO</b>		
Resistencia a compresión	6	Ladrillo
Módulo de rotura	7	Ladrillo
Absorción	10	Ladrillo
Absorción por capilaridad	5	Ladrillo
Densidad por Arquímedes	10	Ladrillo
<b>CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA</b>		
Densidad lineal (tex)	20	Hilo
Masa por unidad de área	20	Tejido
Porcentaje de absorción (fibra con resina)	10	Hilo
Densidad específica	20	Hilo
Ensayo de tracción (hilo sin resina)	15	Hilo
Ensayo de tracción (hilo con resina)	17	Hilo
Ensayo de tracción (tejido sin resina)	7	Tejido
Ensayo de tracción (tejido con resina)	7	Tejido
<b>CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PARA MORTERO</b>		
Granulometría agregado fino tamizado	2	Polvo de piedra
Masa unitaria suelta	3	Polvo de piedra
Masa unitaria compactada	3	Polvo de piedra
Densidad	3	Polvo de piedra
Porcentaje de absorción	3	Polvo de piedra
<b>CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PARA MORTERO DEL MATERIAL COMPUESTO</b>		
Granulometría agregado fino tamizado	2	Arena tamizada

Masa unitaria suelta	3	Arena tamizada
Masa unitaria compactada	3	Arena tamizada
Densidad	3	Arena tamizada
Porcentaje de absorción	3	Arena tamizada
<b>CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO DOSIFICACION 1:4</b>		
Tiempo de fraguado	1	Mortero fresco
Ensayo de fluidez	2	Mortero fresco
Ensayo de densidad fresco	3	Mortero fresco
Ensayo de densidad endurecido (7 días)	2	Mortero endurecido
Ensayo de densidad endurecido (14 días)	2	Mortero endurecido
Ensayo de densidad endurecido (21 días)	2	Mortero endurecido
Ensayo de densidad endurecido (28 días)	2	Mortero endurecido
Contenido de aire	2	Mortero fresco
Resistencia a la compresión (7 días)	4	Mortero endurecido
Resistencia a la compresión (14 días)	4	Mortero endurecido
Resistencia a la compresión (21 días)	4	Mortero endurecido
Resistencia a la compresión (28 días)	4	Mortero endurecido
Módulo de rotura (7 días)	3	Mortero endurecido
Módulo de rotura (14 días)	2	Mortero endurecido
Módulo de rotura (21 días)	2	Mortero endurecido
Módulo de rotura (28 días)	3	Mortero endurecido
Porcentaje de absorción (7 días)	2	Mortero endurecido
Porcentaje de absorción (14 días)	2	Mortero endurecido
Porcentaje de absorción (21 días)	1	Mortero endurecido
Porcentaje de absorción (28 días)	2	Mortero endurecido
<b>CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO PARA EL MATERIAL COMPUESTO 1:1.10</b>		
Resistencia a la compresión	6	Mortero endurecido
Módulo de rotura	5	Mortero endurecido
<b>CARACTERIZACION DEL MATERIAL COMPUESTO</b>		
Resistencia a la tracción (3 layers)	6	Material compuesto
Resistencia a la tracción (1 layers)	6	Material compuesto
<b>ESTUDIO FINAL</b>		
Ensayo de compresión de pilas sin reforzamiento	4	Pilas
Ensayo de compresión de pilas con reforzamiento	4	Pilas
Ensayo de corte sin reforzamiento	9	Muestra para corte
Ensayo de corte con reforzamiento	9	Muestra para corte
Ensayo de carga axial pura de columnas sin reforzamiento	4	Columnas
Ensayo de carga axial excéntrica de columnas sin reforzamiento	4	Columnas
Ensayo de carga axial pura de columnas con reforzamiento	4	Columnas
Ensayo de carga axial excéntrica de columnas con reforzamiento	4	Columnas

### 2.3 Operacionalización de variables

- **Variable independiente**
  - Características de reforzamiento usado en las columnas.

- Calidad de los materiales utilizados para preparar el material compuesto (FRCM).
- Tipo de carga aplicada a las columnas de ladrillos trabados.

*Tabla 6 Variable independiente*

VARIABLES	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Características de las fibras de cabuya.	Trabajo de investigación para conocer las propiedades físicas y mecánicas de las fibras.	Investigaciones y tesis realizadas a nivel local e internacional.	Observación	Trabajos de Investigación. Información de páginas electrónicas.
Propiedades físicas y mecánicas del mortero simple y de material compuesto	Trabajos realizados en la Universidad Nacional de Chimborazo para determinar las propiedades del ladrillo a usarse.	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 físicas y mecánicas del ladrillo	Trabajos realizados en la Universidad Nacional de Chimborazo para determinar las propiedades del ladrillo a usarse.	Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo	Ensayos de los materiales en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la UNACH.	Informes y tesis de los estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo. Instrumentos de Laboratorio
Costos de Materiales	Solicitar costos de materiales	Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo	Comparación de Costos entre los proveedores investigados	Tablas comparativas.

Numero de columnas	Establecer el número de columnas necesarias para el cumplimiento del objetivo propuesto.	Asesoría del tutor de tesis.	Métodos Estadísticos	Curvas, Graficas y tablas.
--------------------	--	------------------------------	----------------------	----------------------------

- **Variable dependiente**
  - Comportamiento mecánico de las columnas de ladrillo trabado.

*Tabla 7. Variable dependiente*

VARIABLES	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Comportamiento de columnas de ladrillo trabado reforzadas con material compuesto FRCC y sin reforzamiento, sometidos a compresión pura.	Determinación de esfuerzos a compresión mediante ensayos en laboratorio.	Resultados obtenidos del procesamiento de datos.	Método de cálculo Estadístico.	Software.  Norma ACI 549.4R-13
Comportamiento de columnas de ladrillo trabado	Determinación de esfuerzos a compresión mediante ensayos en laboratorio.	Resultados obtenidos del procesamiento de datos.	Método de cálculo Estadístico.	Diseño de Hormigones de Marcelo Romo Proaño.

reforzadas con material compuesto FRCM y sin reforzamiento, sometidos a compresión excéntrica.				Norma ACI 549.4R-13
--	--	--	--	---------------------

## 2.4 Procedimientos

Para la ejecución de esta investigación se realizó una serie de procedimientos (ensayos) para la obtención de las características de los materiales; los mismos que están detallados a continuación:

### Caracterización del ladrillo

- Dosificación para caping
- Caping para ensayo de compresión
- Caping para ensayo de tracción
- Ensayo de compresión (INEN 0294)
- Ensayo de tracción (INEN 0295)
- Absorción por capilaridad (ASTM C1403)
- Absorción
- Densidad y Porcentaje de Absorción del ladrillo(Principio de Arquímedes)

### Caracterización de la fibra de cabuya

- Densidad lineal-Tex (ASTM D 1577)
- Masa por unidad de área (ASTM D 3776)
- Porcentaje de Absorción (INEN 862- ADAPTACIÓN)
- Densidad Específica (ASTM-D792-08)
- Ensayo de Tracción (ISO 2062:2009)

### **Caracterización del agregado para mortero (polvo de piedra)**

- Granulometría Agregado Fino (INEN 696)
- Masa unitaria suelta y compactada (INEN 858)
- Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856)

### **Caracterización del agregado para mortero del material compuesto (arena)**

- Granulometría Agregado Fino (INEN 696)
- Masa unitaria suelta y compactada (INEN 858)
- Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856)

### **Caracterización del mortero dosificación 1:4 (polvo de piedra)**

- Determinación del Flujo en morteros (INEN 2502)
- Tiempo de Fraguado (INEN 158)
- Contenido de Aire (ASTM C231)
- Densidad en Estado Fresco (ASTM C 138)
- Densidad de Porcentaje de Absorción de Mortero en estado Endurecido (Principio de Arquímedes )
- Resistencia a Compresión de Mortero (INEN 488)
- Resistencia a Flexión de Mortero (INEN 198)

### **Caracterización del mortero para el material compuesto dosificación 1:1.10 (arena)**

- Resistencia a Compresión de Mortero (INEN 488)
- Resistencia a Flexión de Mortero (INEN 198)

### **Caracterización del material compuesto**

- Tracción del material compuesto

## 2.4.1 Caracterización del ladrillo

El ladrillo es uno de los principales componentes que integra nuestra investigación ya que esta se basa en la colocación de materiales compuestos FRCM (cabuya) en elementos estructurales como son las columnas de ladrillo trabado; por esto la importancia de conocer el comportamiento que tiene este material así como sus propiedades y características.

### 2.4.1.1 Dosificación para caping

Para mejores resultados se realizó caping a las muestras de ladrillo por lo que fue necesario obtener una dosificación de mortero apta para poder realizar los ensayos de compresión y flexión de manera rápida y eficiente.

Para esto utilizamos SIKA 3 que es un aditivo líquido de acción acelerante con control sobre el fraguado, no es inflamable y cumple normas ASTM C-494 Tipo C.



*Figura 25. Aditivo Acelerante SIKA 3*

Dosificación:

*Tabla 8. Dosificación para caping*

CEMENTO	SIKA	AGUA
1	0,75	0,25

### 2.4.1.2 Caping para ensayo de compresión

Debido a que los ladrillos son muestras irregulares y al momento de ensayarlos podrían arrojar resultados erróneos debido a la falta de roce se realizó caping a cada uno de ellos, esto consiste en colocar una pequeña cantidad de muestra a cada lado para obtener una superficie lisa y apta para el ensayo.

#### Procedimiento:

- a) En el equipo para realizar caping colocamos una delgada capa de aceite y una hoja de papel
- b) Sumergimos el ladrillo previamente en agua para que la mezcla se pegue a este.
- c) Realizamos una mezcla de mortero suficiente y distribuimos a lo largo del equipo.
- d) Colocamos el ladrillo de forma horizontal por su lado más ancho, golpeamos suavemente y lo dejamos por 5 minutos hasta que la mezcla fragüe.
- e) Retiramos suavemente.
- f) Repetimos el mismo procedimiento en la cara contraria del ladrillo.



*Figura 26. Materiales para realizar caping del ladrillo.*



*Figura 27. Caping para ensayo de compresión del ladrillo: (a) mezcla en la máquina, (b) colocación ladrillo, (c) y (d) muestra final.*

### 2.4.1.3 Caping para ensayo de flexión

Realizamos caping únicamente en los puntos de tope del ladrillo con la máquina para flexión; en la una cara desde las esquinas para adentro del ladrillo con una longitud de 7 cm y en la cara contraria en el centro con una longitud 7 cm.

#### **Procedimiento:**

Se realiza el mismo procedimiento de caping descrito para el ensayo de compresión, cubriendo únicamente las áreas mencionadas.



*Figura 28. Caping para ensayo de flexión del ladrillo: (a) mezcla en el equipo, (b) muestra final.*

#### 2.4.1.4 Ensayo de compresión ladrillo

La norma (INEN 0294) establece el método para determinar la resistencia a la rotura por compresión del ladrillo.

##### **Procedimiento:**

Una vez realizado el capping en el ladrillo se coloca la muestra de ensayo con una de sus caras mayores sobre el apoyo inferior de la prensa y hacer descender suavemente el superior, hasta obtener un perfecto asentamiento sobre la cara superior de la muestra asegurándose de que el eje de la barra transmisora de la presión coincida con el eje de la muestra de ensayo.

Para determinar la deformación se utilizó un deformímetro análogo o reloj comparador con un rango de medición de 0.01 mm, adaptado con un soporte magnético el cual fue colocado en la maquina universal de manera que lea las deformaciones producidas.

##### **Resistencia máxima a la Compresión**

La resistencia última a la compresión fue calculada con la siguiente expresión:

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

*Dónde:*

$\sigma_{max}$ = Esfuerzo último a la compresión (MPa)

$F_{max}$ = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A= El área de aplicación de la carga (mm<sup>2</sup>).

##### **Deformación Unitaria**

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

*Dónde:*

$\epsilon_i$ = deformación Unitaria en el punto *i* (mm/mm)

$\epsilon_i$  = deformación en el punto  $i$  ( $mm$ )

$L_0$  = distancia de calibración ( $mm$ )

### Módulo de Elasticidad

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

*Dónde:*

$E$  = módulo de elasticidad ( $MPa$ )

$\sigma$  = esfuerzo en ( $MPa$ )

$\epsilon_i$  = deformación Unitaria en el punto  $i$  ( $mm/mm$ )



**Figura 29.** Ensayo de compresión del ladrillo: (a) ensayo compresión, (b) deformímetro análogo, (c) y (d) muestra después del ensayo.

#### 2.4.1.5 Ensayo de flexión

Basándonos en la norma (INEN 0295) determinamos la resistencia a la flexión del ladrillo.

##### **Procedimiento:**

Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15cm entre éstos. Hacer descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas. Aplicar la carga hasta la rotura de la muestra.

La velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto.

Una vez obtenidos los datos se calcula el módulo de rotura mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{3 * G * I}{2bd^2}$$

##### ***Dónde:***

$R$ = módulo de rotura ( $MPa$ )

$G$ = Carga de rotura ( $N$ )

$I$ = distancia entre apoyos ( $mm$ ).

$b$ = ancho de cara a cara de la muestra ( $mm$ ).

$d$ = promedio del espesor de cara a cara de las muestras ( $mm$ ).



**Figura 30.** Ensayo de flexión del ladrillo: (a) máquina para ensayo, (b) ensayo de flexión, (c) muestra después del ensayo.

#### 2.4.1.6 Porcentaje de absorción del ladrillo

El porcentaje de absorción es el incremento en la masa de la muestra debido al agua en los poros del material.

##### Procedimiento:

- a) Colocar la muestra en el horno por 24 horas.
- b) Pesar los resultados.
- c) Colocar la muestra en un recipiente con agua por 24 horas.
- d) Pesar los resultados.

El porcentaje de absorción del ladrillo se calculó con la siguiente formula:

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

**Dónde:**

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



**Figura 31.** Porcentaje de Absorción: (a) muestras secadas al horno (b) muestras sumergidas.

#### **2.4.1.7 Absorción por capilaridad**

La norma (ASTM-C1403) proporciona un procedimiento para la determinación de las propiedades de absorción de agua en relación con el tiempo de los morteros usados para la construcción.

**Equipo:**

- Balanza de precisión
- Recipiente transparente
- Rodelas

**Procedimiento:**

- a) Ponemos los ladrillos a secar en el horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas.
- b) Registramos el área de contacto con el agua y su peso inicial.
- c) Nos ayudamos con rodelas para apoyar la muestra y esta pueda absorber agua sin ningún problema y marcamos el recipiente de tal manera que las probetas estén en contacto con el agua a la altura de 3mm.

- d) Colocamos la muestra (ladrillo) en el recipiente con agua; vertimos primero el agua debido a que el ladrillo absorbe rápidamente y al hacerlo de manera contraria los resultados serían diferentes.
- e) Se registra el aumento de masa a 1, 3, 5, 10, 15, 20, 60, 90, 120, 360 minutos y a las 24 horas.

Para cada tiempo de ensayo se calcula la absorción por cada  $\text{cm}^2$ , con la siguiente ecuación:

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

**Dónde:**

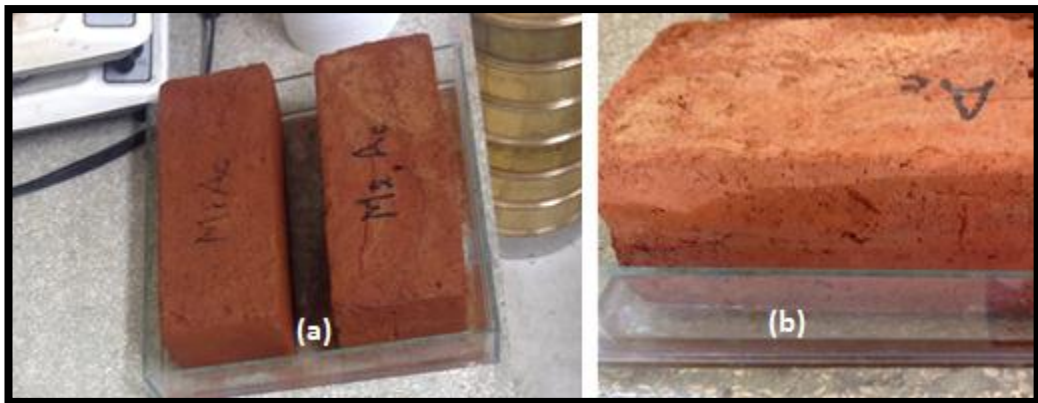
$A_T$ = Absorción del agua ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

$W_T$ = El peso de la muestra en el tiempo ( $g$ )

$W_0$ = El peso de la muestra seca (peso inicial) ( $g$ )

$L_1$ = Longitud media de la probeta de ensayo ( $mm$ )

$L_2$ = Ancho medio de la probeta de ensayo ( $mm$ )



**Figura 32.** Absorción por Capilaridad: (a) muestras en recipiente con agua, (b) absorción del ladrillo.

#### 2.4.1.8 Densidad y porcentaje de absorción del ladrillo (principio de Arquímedes)

Para calcular la densidad del ladrillo se realizó el Principio de Arquímedes que indica que “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”.

##### **Equipo:**

- Recipiente transparente
- Balanza de precisión

##### **Procedimiento:**

- a) Sumergimos el ladrillo en agua por 24 horas
- b) Retiramos la muestra y secamos el exceso de agua.
- c) Llenamos con cierta cantidad de agua el recipiente transparente, marcamos hasta la altura del agua y registramos resultado. (Lectura 1)
- d) Colocamos el ladrillo en el recipiente, marcamos el recipiente y registramos
- e) Retiramos la probeta del recipiente y llenamos con agua hasta la segunda marca
- f) Registramos el aumento de la masa. (Lectura 2)

La densidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{M}{V}$$

$$V = (P_A - P_{A1}) * \text{densidad del agua}$$

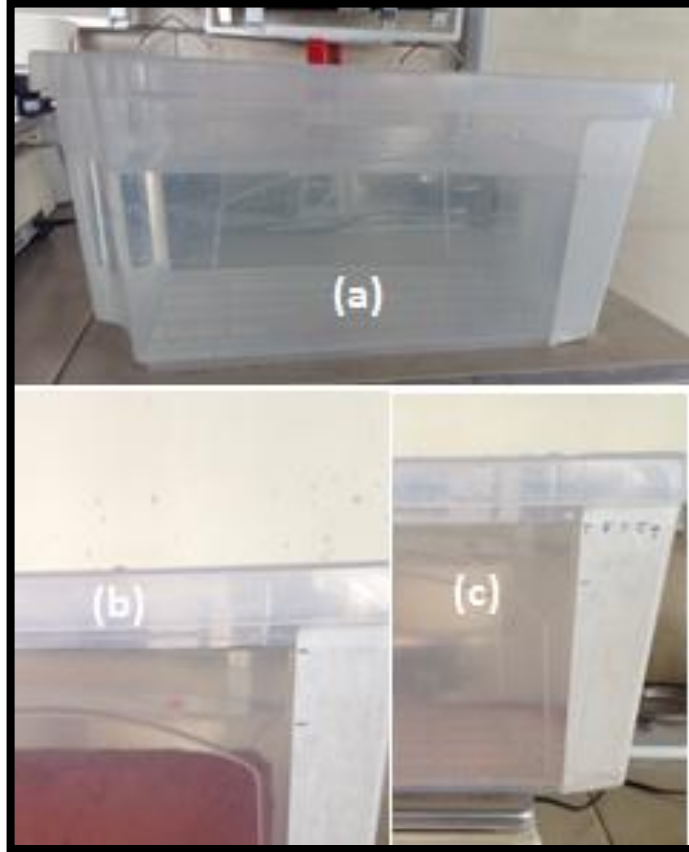
##### ***Dónde:***

D= Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

M= peso de la muestra (g)

P<sub>A</sub>= Masa del recipiente +agua en la segunda lectura (g)

$P_{A1}$  = Masa del recipiente + agua en la primera lectura (g)



*Figura 33. Densidad y Absorción (Arquímedes): (a) recipiente, (b) muestra sumergida, (c) aumento de agua.*

#### **2.4.2 Caracterización de la fibra de cabuya**

Debido a que en el mercado existe variedad en la presentación de los tejidos de cabuya, se decidió realizar nuestros experimentos comparando los tejidos comercializados en rollos y sacos de cabuya, distribuidos en el sector de la Plaza Dávalos en la ciudad de Riobamba, realizando todos los ensayos de caracterización, para posteriormente utilizar los tejidos que nos brinde mejores propiedades para la aplicación en las pruebas finales.



*Figura 34. Tipos de Presentación de fibras de cabuya utilizados en la investigación*

#### **2.4.2.1 Densidad específica**

Para determinar la densidad específica de la fibra de cabuya se utilizó la norma (ASTM- D792-08).

Este método consiste en pesar un pequeño porcentaje de fibras, sumergir en agua destilada y por el principio de Arquímedes obtener resultados.

#### **Equipo:**

- Vaso de precipitación de 250 ml balanza analítica
- Plataforma de la estructura colocada sobre el plato de la balanza
- Varilla o alambre de agitación
- Canasta.

#### **Procedimiento:**

### **Preparación del espécimen**

- a) Preparamos la muestra con 20 fibras de cabuya de 10 cm de largo.
- b) Secar la muestra en el horno por 24 horas.
- c) Pesar la muestra (peso seco)
- d) Sumergir la muestra en un recipiente con agua destilada por 24 horas

### **Procedimiento del ensayo**

- e) Pesar la masa de la estructura, registrar resultado.
- f) Colocar agua destilada en el vaso de precipitación.
- g) Sumergir la canastilla vacía en el agua y pesar junto a la estructura, registrar resultado.
- h) Retirar burbujas de aire del vaso de precipitación y de la muestra.
- i) Colocar la muestra en la canastilla y sumergir en el agua destilada (retirar burbujas)
- j) Pesar la estructura con la canastilla sumergida con la muestra, anotar resultados.

Se realizaron muestras para el tejido del rollo cabuya y muestras para el tejido del saco; 10 de cada uno.

Para el cálculo de la densidad específica de las fibras se utilizó la siguiente

fórmula:

$$\delta = \frac{a}{a-b}$$

$$b = c - d$$

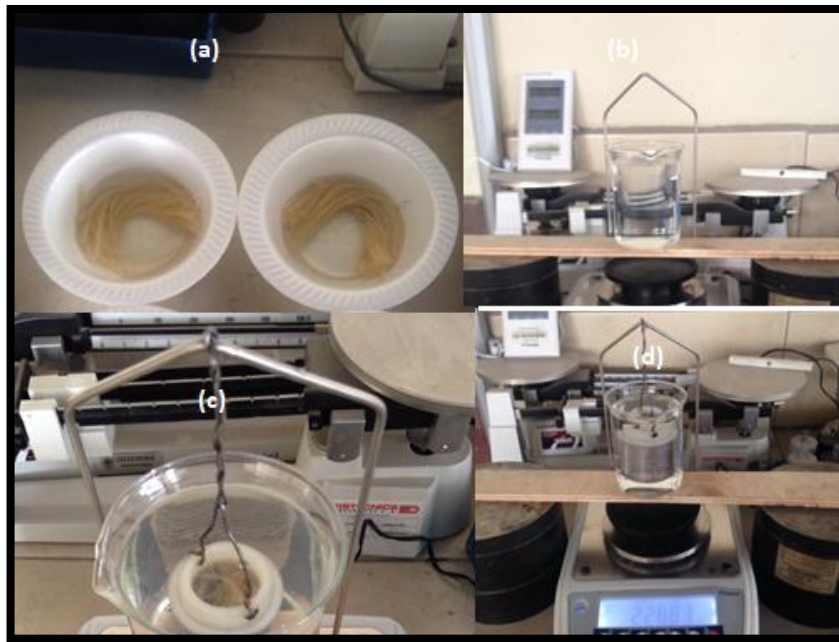
***Dónde:***

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

$d$  = estructura + canastilla vacía sumergida ( $g$ )

$a$  = muestra peso seco ( $g$ )

$c$  = estructura + canastilla + muestra sumergida ( $g$ )



**Figura 35.** Densidad Específica: (a) muestras sumergidas en agua destilada, (b) estructura para el ensayo, (c) fibras sumergidas en la canasta y (d) ensayo de densidad

#### 2.4.2.2 Densidad lineal - Tex

Para determinar la densidad lineal de la fibra de cabuya se utilizó la norma (ASTM D 1577)

Tex es una unidad de medida utilizada para medir la densidad o la masa lineal de una fibra. Se define como la masa en gramos por cada 1.000 metros de fibra.

Su unidad de medición es Tex (g/km).

#### **Procedimiento:**

- a) Cortar hilos de una longitud de 1,5 m (150cm)
- b) Enrollar cada muestra, pesar y anotar resultados

Se realizaron muestras para el tejido del rollo cabuya y muestras para el tejido del saco; 10 de cada uno.

Para el cálculo del TEX de las fibras se utilizó la siguiente fórmula

$$Tex = \frac{M_m}{L_m}$$

**Dónde:**

$Tex$ = densidad lineal (g/Km)

$L_m$ = longitud de la muestra (m)

$M_m$ = masa de la muestra (g).



**Figura 36.** Densidad Lineal: (a) muestras (b) registro de masa de muestra

### 2.4.2.3 Masa por unidad de área

Para determinar la masa por unidad de área de la fibra de cabuya se utilizó la norma (ASTM D 3776).

Este método se refiere a la cantidad de masa que posee un material por unidad de área.

#### **Procedimiento:**

- a) Cortar 10 muestras de tejido de 10\*10 cm (100cm<sup>2</sup>) con el mismo número de fibras en los dos sentidos es decir tanto longitudinales como transversales.
- b) Secar las muestras en el horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C.
- c) Pesar la muestra y anotar el resultado.

Se realizaron muestras para el tejido del rollo cabuya y muestras para el tejido del saco; 10 de cada uno.

Para el cálculo de la masa por unidad de área de las fibras se utilizó la siguiente fórmula:

$$M_A = \frac{M_m \cdot 10^6}{A_M}$$

**Dónde:**

$M_A$ = Masa por unidad de área  $g/m^2$

$M_m$ = Masa de la muestra en  $g$ .

$A_M$ = Área de la muestra en  $mm^2$ .



*Figura 37. Masa por Unidad de Área: (a) muestras y (b) registro de masa.*

#### **2.4.2.4 Porcentaje de absorción**

Para determinar el porcentaje de absorción de la fibra de cabuya se utilizó la norma (INEN 862- ADAPTACIÓN)

La absorción de una muestra se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas.

Para obtener el porcentaje de absorción se obtuvo de una muestra de cabuya con resina.

**Procedimiento:**

**Preparación del espécimen:**

- a) De una fibra de cabuya aproximadamente de 10cm hacer filamentos del mismo.
- b) Preparar una mezcla de resina con la dosificación necesaria y colocar cuidadosamente cubriendo todo el filamento de la cabuya.

### Procedimiento del ensayo:

- a) Secar las muestras al horno por 24 horas a una temperatura de 50°C.
- b) Pesarse la muestra en una balanza con precisión de 0.0001 g.
- c) Sumergir los filamentos en agua destilada por 24 horas.
- d) Retirar y secar el exceso de agua, pesarse y anotar.

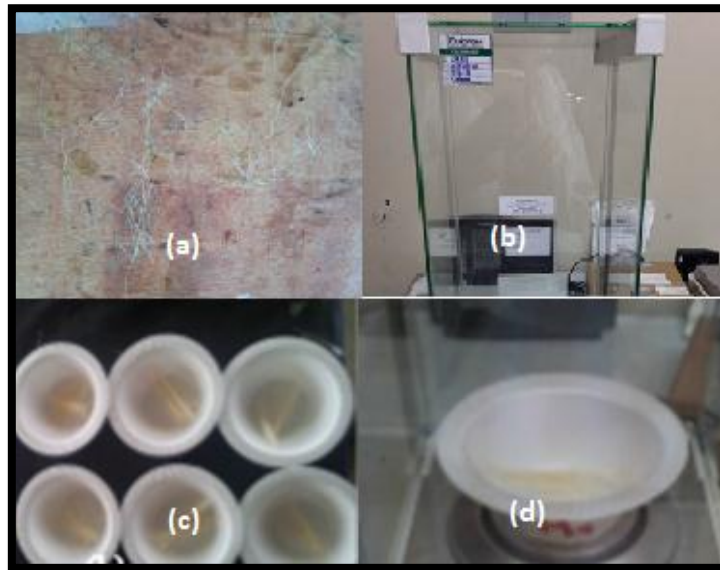
Para el cálculo del porcentaje de absorción de las fibras con resina se utilizó la

siguiente fórmula: 
$$\%Absorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$$

*Dónde:*

*Peso SSS*= peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

*Peso seco*= peso de la muestra seca (g)



**Figura 38.** Porcentaje de Absorción: (a) filamentos con resina, (b) balanza de precisión, (c) muestras y (d) registro de masa

### 2.4.2.5 Ensayo de tracción

Para estudiar el comportamiento a tracción de los hilos y los tejidos de cabuya se utilizó la norma (ISO 2062:2009) que permite determinar la resistencia a la tracción del tejido mediante un proceso definitivo.

La caracterización mecánica se realiza con la finalidad de conocer exactamente el comportamiento del tejido de cabuya bajo cargas de tracción.

Se utilizaron hilos de cabuya de 50 cm de longitud y tejidos de 5 cm de ancho por 30 cm de longitud.

La caracterización se la realizó tanto al hilo como al tejido normal es decir sin resina y con resina para evaluar los cambios en su resistencia por la incorporación de ésta.

Para evitar el deslizamiento durante la prueba, los extremos de las muestras del tejido de cabuya fueron pegadas a placas de acero con adhesivo epóxico y los extremos de los hilos fueron colocados en medio de dos placas unidas con dos tornillos, los cuales nos dan el efecto de las mordazas de la máquina de prueba.

Este ensayo se realizó en la Máquina Multipropósito "Master Load Tester" con una velocidad de 250 mm/min.

A partir de los datos de carga y deformación del ensayo de tracción de cada una de las probetas, se calcularon las siguientes propiedades

### **Resistencia Máxima a la Tracción**

La resistencia última a la tracción fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

***Dónde:***

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo ultimo a la tracción en (MPa)

$F_{max}$  = Carga Máxima antes de la ruptura (N)

A = El área de los hilos longitudinales de la probeta (mm<sup>2</sup>), el cual se calcula con la siguiente formula:

$$A = \frac{\text{Tex} * \text{Número de hilos}}{\delta * 1000}$$

**Dónde:**

$\delta$  = Densidad de la fibra ( $g/cm^3$ )

### **Deformación Unitaria**

La deformación unitaria de las probetas fue calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

**Dónde:**

$\epsilon_i$  = Deformación Unitaria en el punto i, ( $mm/mm$ )

$\delta_i$  = Deformación en el punto i ( $mm$ )

$L_o$  = Distancia de calibración ( $mm$ )

### **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

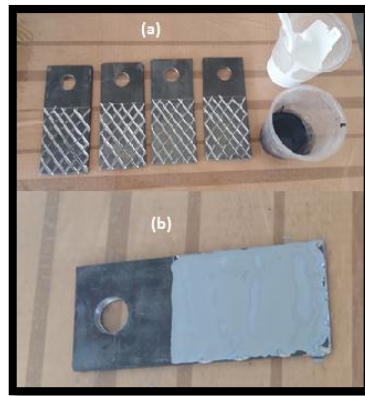
$$E = \frac{(60 \% \sigma - 20 \% \sigma)}{(60 \% \epsilon_i - 20 \% \epsilon_i)}$$

**Dónde:**

$E$  = Módulo de elasticidad ( $MPa$ )

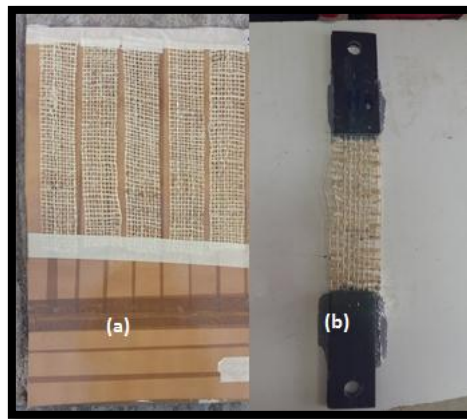
$\sigma$  = Esfuerzo ( $MPa$ )

$\epsilon_i$  = Deformación unitaria ( $mm/mm$ ).

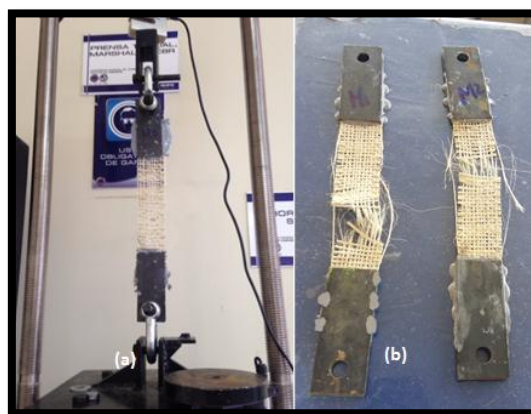


**Figura 39.** Materiales para ensayo de tracción de tejidos: (a) placas y adhesivo epóxico y (b) placa con adhesivo epóxico

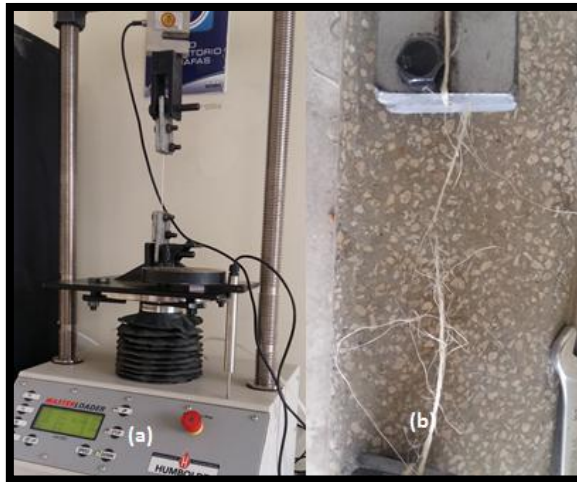
### Sin resina



**Figura 40.** Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Muestras de tejido y (b) probetas de tejido

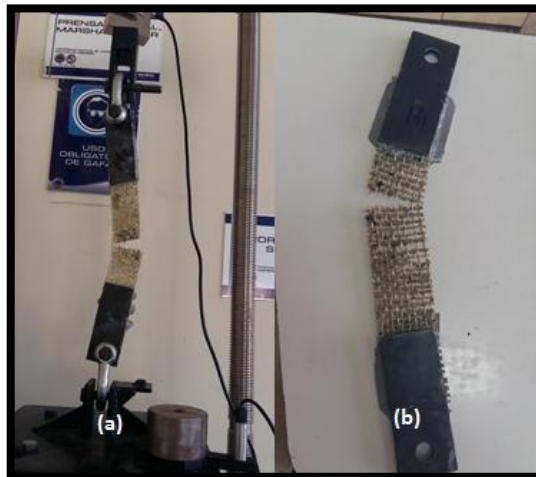


**Figura 41.** Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas.

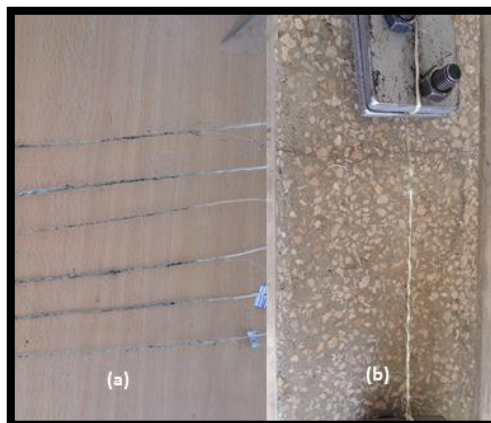


**Figura 42.** Ensayo de Tracción del Hilo: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas.

**Con resina**



**Figura 43.** Ensayo de Tracción de Tejido: (a) Máquina Multipropósito al momento del Ensayo y (b) muestras fallidas



**Figura 44.** Ensayo de Tracción del Hilo: (a) muestras antes del ensayo y (b) muestras fallida

### **2.4.3 Caracterización de los agregados para mortero**

Para la caracterización de los agregados finos para mortero tanto del polvo de piedra como de la arena se realizaron los ensayos redactados a continuación.

#### **2.4.3.1 Granulometría agregado fino**

Guiándonos en la norma (INEN 696) que es para la granulometría de agregados finos determinamos la granulometría tanto de la arena proveniente de río Penipe, como del polvo de piedra.

El ensayo de granulometría de los agregados es de verás importancia para el diseño del mortero debido a la relevante influencia de los agregados en la resistencia del mismo.

La granulometría consiste en la graduación de los materiales haciéndolos pasar por una serie de tamices predeterminados y siendo estos exclusivos para áridos finos.

El tamaño máximo nominal (TMN) corresponde a la abertura del tamiz anterior a aquel en donde es retenido el 15% de la muestra; en cambio el tamaño máximo (TM) es el tamiz por donde pasa todo el agregado; es decir el mayor tamaño de las partículas de la muestra.

#### **Equipo:**

- Balanza
- Tamices
- Recipientes
- Tamizadora

#### **Procedimiento:**

- a) A partir del material traído del campo se obtiene una muestra representativa de la masa del suelo
- b) Reducir la muestra a una cantidad adecuada para el ensayo y secarla en el horno por 24 horas a una temperatura 110°C.
- c) Retirar del horno la muestra y dejar enfriar.

- d) Para obtener la muestra que se utilizó para este ensayo primero se tamizó el material con el tamiz N°20.
- e) Colocar los tamices en la máquina para tamizar en forma descendente N° 20, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200, Bandeja.
- f) Pesar 1000gr de material y colocar en la tamizadora mecánica por un lapso de 2min
- g) Retirar y determinar el peso de material que tenía cada tamiz.
- h) Anotar resultados

Con los datos obtenidos del ensayo se procede a realizar los siguientes cálculos obtenidos de la noma:

- **Porcentaje Retenido Acumulado**

$$\% RA = \frac{M_{RA}}{M_o} * 100$$

*Dónde:*

$\% RA$  = Porcentaje retenido acumulado (%)

$M_{RA}$  = Masa retenida acumulada (g)

$M_o$  = Masa inicial (g)

- **Porcentaje Que Pasa:**

$$\% Pasa = 100 \% - \% RA$$

*Dónde:*

$\% Pasa$  = Porcentaje que pasa

- **Módulo De Finura**

$$MF = \frac{\sum \%RA}{100}$$

*Dónde:*

$MF$  = Módulo de finura.

- **Porcentaje De Error**

$$\% \text{ ERROR} = \frac{M_o - M_f}{M_f} * 100$$

**Dónde:**

$M_f$  = Masa final (g)



**Figura 45.** Granulometría Agregado Fino: (a) tamices, (b) máquina de ensayo de granulometría y (c) muestras de cada tamiz.

#### 2.4.3.2 Masa unitaria suelta y compactada

Para realizar el ensayo de masa unitaria suelta y compactada del polvo de piedra y la arena nos basamos en la norma (INEN 858)

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del árido, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos, basándose en la misma determinación.

**Equipos:**

- Balanza
- Varilla de compactación
- Molde
- Cucharón

**Procedimiento:**

**Preparación de la muestra del ensayo**

- a) Tomar la muestra del árido de acuerdo a la NTE INEN 695 y reducirá a la muestra de ensayo.
- b) Secar la muestra en un horno a 110°C durante 24 horas
- c) Dejar enfriar.

**Procedimiento por varillado (Masa Compactada):**

- a) Con la ayuda de la cuchareta llenar la tercera parte del molde con el material a ensayar. Compactar la capa de áridos, con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos uniformemente sobre la superficie sin dejar que la varilla golpee el fondo del molde.
- b) Llenar los dos tercios del molde, nuevamente nivelar y compactar de la forma indicada anteriormente, sin dejar que la varilla penetre la primera capa.
- c) Llenar el molde a rebosar y compactar nuevamente en la misma forma mencionada anteriormente, evitando que la varilla penetre la segunda capa.
- d) Nivelar la superficie con una regleta o con la misma varilla.
- e) Pesar el molde con su contenido y anotar resultados

**Procedimiento por paladas (Masa Suelta):**

- a) Llenar el molde a rebosar por medio del cucharón, descargar el árido desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del molde.
- b) Nivelar la superficie del árido con una regleta.

- c) Determinar la masa del molde y la masa del molde con su contenido.
- d) Registrar los valores.

Para calcular la masa unitaria (peso volumétrico) mediante los procedimientos de varillado o de paladas, utilizamos la siguiente fórmula:

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

**Dónde:**

$M$ = Masa unitaria ( $g/cm^3$ )

$G$ = Masa árido más el molde ( $g$ )

$T$ = Masa del molde ( $g$ )

$V$ = Volumen del molde ( $cm^3$ )



**Figura 46.** Masa Unitaria Suela y Compactada: (a) agregado fino, (b) materiales para el ensayo, (c) ensayo de masa unitaria suelta o compactada y (d) registro de masa.

### **2.4.3.3 Determinación de la densidad y absorción del árido fino**

Para este ensayo utilizamos la norma (INEN 856) que establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de áridos finos (polvo de piedra y arena).

La Absorción es el incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado período de tiempo.

La Densidad se define como la masa por unidad de volumen de un material.

#### **Equipo:**

- Balanza
- Picnómetro
- Molde

#### **Procedimiento:**

##### **Preparación de la muestra del ensayo**

Colocar la muestra en una bandeja y secarla en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- a) Dejarla enfriar.
- b) Cubrirla con agua y dejar que repose por 24 horas.
- c) Descartar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana y moverla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo hasta conseguir que la muestra se encuentre en estado SSS.
- d) Para determinar la humedad superficial mantener el molde sobre una superficie lisa no absorbente, colocar árido hasta llenar el cono y compactarlo con 25 golpes ligeros, cada caída debe iniciar aproximadamente 5 mm sobre la superficie del árido y dejarlo caer libremente. Si la humedad superficial todavía está presente, el árido fino mantendrá la forma del molde, cuando este se desmorona

ligeramente indica que se ha alcanzado la condición superficialmente seca.

### **Procedimiento gravimétrico (picnómetro)**

- a) Llenar parcialmente el picnómetro con agua e introducir en el 500 g de árido fino saturado superficialmente seco (sss) y llenar con agua adicional hasta la medida de calibración.
- b) Eliminar las burbujas de aire agitando el picnómetro
- c) Determinamos la masa del picnómetro, muestra y agua.
- d) Retiramos el árido fino del picnómetro, secamos al horno a una temperatura de 110 ° C hasta conseguir una masa contante, dejarlo enfriar y registrar su masa.
- e) Determinar la masa del picnómetro con agua a 23 °C hasta la altura de calibración.

Obtenidos los datos del ensayo procedemos a calcular la densidad y el porcentaje de absorción del polvo de piedra con las siguientes fórmulas:

#### **Densidad:**

$$D_{sh} = \frac{A}{B+S-C} \quad D_{sss} = \frac{S}{B+S-C} \quad D = \frac{A}{B+A-C}$$

#### **Dónde:**

$A$  = masa de la muestra seca al horno, (g)

$B$  = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, (g)

$C$  = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, (g)

$S$  = masa de muestra saturada superficialmente seca. (g)

$D$  = Densidad ( $g/cm^3$ )

**Porcentaje de Absorción:**

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

Peso SSS= masa del árido fino en estado sss (g)

Peso seco= masa del árido fino seco (g)



**Figura 47.** Densidad y Absorción del Árido Fino: (a) y (b) Cono utilizado para determinar si la muestra se encuentra en estado sss. (c) Calibración del picnómetro y (d) muestra después del ensayo

#### 2.4.4 Caracterización del mortero dosificación 1:4 (polvo de piedra)

Para la elaboración de las muestras finales es decir el mortero utilizado para la construcción de las pilas y columnas de ladrillo se utilizó un mortero pobre de dosificación 1:4 de cemento portland de la empresa Cemento Chimborazo y un agregado fino (polvo de piedra) tamizado por el tamiz N°8.

##### Dosificación:

*Tabla 9. Dosificación del mortero 1:4*

Cemento	Polvo de Piedra	Agua (A/C)
1	4	1,2

Con esta dosificación se realizaron varios ensayos citados a continuación:

##### 2.4.4.1 Tiempo de fraguado

Este ensayo se realizó siguiendo la norma (INEN 158), esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat.

##### Equipo:

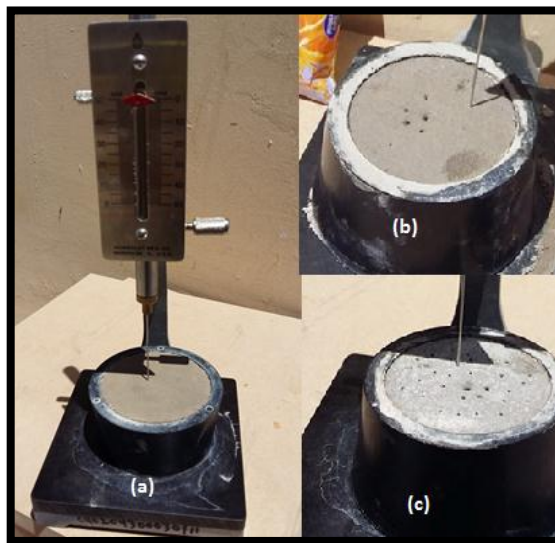
- Aparato de Vicat

##### Procedimiento:

- a) Preparar una pasta con la dosificación requerida
- b) Formar una bola y pasarla de una mano a la otra 6 veces , manteniendo las manos separadas 150 mm
- c) Presionar la bola con la palma de la mano llenándola completamente, dentro del extremo más ancho del anillo cónico G del aparato de Vicat hasta llenar completamente el anillo con la pasta.
- d) Retirar el exceso del lado más ancho con un solo movimiento de la palma de la mano.

- e) Colocar el anillo con su extremo más ancho sobre la placa no absorbente. La muestra debe permanecer en el molde cónico, sostenida por la placa no absorbente durante el período de ensayo.
- f) Colocar el espécimen de ensayo al exterior de manera que se cure en condiciones ambientales, dejar que el espécimen descanse durante 30 minutos después del moldeo sin ser perturbado.
- g) Determinar la penetración de la aguja de 1 mm cuando se hayan cumplido los primeros 30 minutos después realizar la misma operación en un periodo de 15 minutos hasta obtener una penetración de 25 mm o menos.
- h) Para el ensayo de penetración debe hacerse descender la aguja del vástago de manera libre hasta que su extremo haga contacto con la superficie de la pasta de cemento.
- i) Apretar el tornillo de sujeción y dejar que la aguja penetre la pasta momento en el cual debe tomarse la lectura de penetración.
- j) Separar las penetraciones al menos 6 mm entre si y 10 mm del borde interior del molde.

En cada lectura anotar penetración, temperatura y humedad. El fraguado inicial es cuando se obtiene una penetración de 25 mm y el fraguado final será cuando la aguja deje una pequeña marca en el espécimen.



**Figura 48.** Tiempo de Fraguado: (a) equipo Vicat, (b) perforaciones con aguja Vicat Y (c) últimas perforaciones.

#### **2.4.4.2 Determinación del flujo en morteros**

Esta norma (INEN 2502) establece el procedimiento de ensayo para determinar el flujo en morteros de cemento hidráulico.

##### **Equipo:**

- Mesa de flujo y molde de flujo
- Calibrado
- Compactador
- Espátula
- Enrasador

##### **Procedimiento:**

- a) Limpiar y secar cuidadosamente la mesa de flujo y colocar el molde de flujo en el centro.
- b) Colocar en el molde, una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor y compactar 20 veces con el compactador.
- c) Llenar el molde con mortero y compactar como se especificó para la primera capa. Cortar el mortero hasta una superficie plana, nivelada con el borde del molde, mediante pasadas del enrasador.
- d) Limpiar y secar la superficie de la mesa, remover con mucho cuidado cualquier porción de agua que esté alrededor del borde del molde de flujo.
- e) Un minuto después de haber terminado la operación de llenado, levantar el molde. Inmediatamente dejar caer la mesa 25 veces en 15 segundos.
- f) Con el calibrador medir el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la superficie de la mesa



**Figura 49.** Flujo de Mortero:(a) muestra del mortero en el equipo y (b) muestra después de los golpes

### 2.4.4.3 Densidad en estado fresco

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma (ASTM C 138), Este método de ensayo trata sobre la determinación de la densidad del concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para el cálculo del rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen de concreto producido a partir de una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes.

#### **Procedimiento:**

- a) Determinar la masa del recipiente
- b) Preparar la mezcla necesaria para el ensayo con la dosificación requerida.
- c) Con la ayuda de la cuchareta llenar la tercera parte del molde con la mezcla.
- d) Compactar la pasta con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos uniformemente sobre la superficie sin dejar que la varilla golpee el fondo del molde.
- e) Llenar los dos tercios del molde, nuevamente nivelar y compactar de la forma indicada anteriormente, sin dejar que la varilla penetre la primera capa.
- f) Llenar el molde a rebosar y compactar nuevamente en la misma forma mencionada anteriormente, evitando que la varilla penetre la segunda capa.
- g) Nivelar la superficie con una regleta o con la misma varilla.
- h) Pesar el molde con su contenido y anotar resultados.

Para calcular la densidad en estado fresco se utilizó la siguiente fórmula:

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

$$V = P - P_A$$

**Dónde:**

$D$ = Densidad ( $g/cm^3$ )

$G$ = Masa de la muestra más el molde ( $g$ )

$T$ = Masa del molde ( $g$ )

$V$ = Volumen del molde ( $cm^3$ )

$P$ = masa del molde + placa + agua ( $g$ )

$P_A$ = masa del molde + placa ( $g$ )



**Figura 50.** Densidad en Estado Fresco: (a) materiales para la mezcla, (b) ensayo de densidad fresco y (c) masa de la muestra de mortero.

#### 2.4.4.4 Densidad en estado endurecido

Para calcular la densidad del mortero en estado endurecido se realizó el Principio de Arquímedes que indica que “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”.

Realizamos este ensayo a los 7, 14, 21 y 28 días.

##### **Equipo:**

- Recipiente transparente.
- Balanza de precisión.
- Pequeñas rodela.

##### **Procedimiento:**

- g) Sumergimos la probeta por 24 horas en un recipiente lleno con agua.
- h) Retiramos la muestra y secamos el exceso de agua.
- i) Llenamos con cierta cantidad de agua el recipiente transparente, marcamos hasta la altura del agua y registramos resultado. (Lectura 1)
- j) Colocamos la probeta de mortero endurecido en el recipiente, marcamos el recipiente y registramos
- k) Retiramos la probeta del recipiente y llenamos con agua hasta la segunda marca
- l) Registramos el aumento de la masa. (Lectura 2)

La densidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M}{V}$$

$$V = (P_A - P_{A1}) * \text{densidad del agua}$$

##### ***Dónde:***

$D$  = Densidad ( $g/cm^3$ )

$M$  = peso de la muestra ( $g$ )

$P_A$  = Masa del recipiente + agua en la segunda lectura (g).

$P_{AI}$  = Masa del recipiente + agua en la primera lectura, (g).

#### 2.4.4.5 Porcentaje de absorción del mortero endurecido

El porcentaje de absorción es el incremento en la masa de la muestra debido al agua en los poros del material.

Realizamos este ensayo a los 7, 14, 21 y 28 días.

#### Procedimiento:

- e) Colocar la muestra en el horno por 24 horas
- f) Pesar los resultados
- g) Colocar la muestra en un recipiente con agua por 24 horas
- h) Pesar los resultados

El porcentaje de absorción del mortero endurecido se calculó con la siguiente fórmula:

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

#### Dónde:

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



**Figura 51.** Densidad y Absorción del Mortero en Estado Endurecido: (a) muestras para el ensayo.

#### 2.4.4.6 Contenido de aire

El contenido de aire del concreto fresco, método de presión se realizó de acuerdo a la norma (ASTM C231). Esta prueba determina la cantidad de aire que puede contener el hormigón recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados.

##### **Procedimiento:**

- a) Se realiza con una muestra de concreto recién mezclado, la muestra debe contener el material suficiente para llenar completamente el recipiente de medición del tamaño seleccionado para su uso
- b) Humedecer el interior del tazón y colocarlo en una superficie plana y nivelada
- c) Colocar la mezcla 1/3 en el tazón , compactar con 25 golpes de varillado
- d) Realizar el mismo procedimiento con las partes restantes, procurando que el varillado no penetre las capas anteriores.
- e) Con un martillo de goma golpear firmemente los lados del tazón después de compactar cada capa
- f) Enrasar la mezcla con la varilla y limpiar los bordes
- g) Limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base, abrir ambas llaves de purga.
- h) Cerrar la válvula principal de aire entre la cámara y el tazón e inyectar agua a través de una de las llaves de purga, mientras mueve y golpea el medidor para asegurar que todo el aire sea expulsado
- i) Cerrar la válvula de escape de aire y bombear aire hasta la línea de presión inicial.
- j) Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial, cerrar ambas llaves de purga
- k) Abrir la válvula principal entre la cámara y el tazón, golpear los lados del tazón con el martillo de goma.
- l) Leer el porcentaje de aire, golpeando ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.

- m) Cerrar la válvula de aire principal y abrir las llaves de purga para descargar la presión, antes de remover la cubierta
- n) Registrar el resultado



*Figura 52. Contenido de Aire: (a) mezcla para el ensayo y (b) equipo de ensayo.*

#### **2.4.4.7 Resistencia a compresión de cubos de mortero**

El método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros se determinó mediante la norma (INEN 488)

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico, usando cubos de 50 mm de arista, para posteriormente una vez que se haya producido el proceso de fraguado por 24 horas, desencofrar y ponerlos a curar.

Los ensayos se los realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días en la Máquina de Compresión.

#### **Equipo:**

- Balanza
- Bandejas

- Espátula
- Moldes para especímenes
- Varilla de compactación
- Martillo de goma

### **Procedimiento:**

#### **Preparación de la muestra del ensayo**

- a) Tomar la muestra del árido de acuerdo a la NTE INEN 695 y reducirá a la muestra de ensayo.
- b) Secar la muestra en un horno a 110°C durante 24 horas
- c) Dejar enfriar

#### **Procedimiento del ensayo**

- a) Realizar una mezcla de mortero con dosificación 1:4 necesaria para los moldes a utilizarse.
- b) Engrasar los moldes para evita que la mezcla se pegue el momento de desencofrar.
- c) Colocar la primera capa de la mezcla, compactar con 32 golpes con la parte redonda de la varilla de compactación y golpear el encofrado con martillo de goma, la presión de compactación debe ser solo la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes y se deben completar 4 rondas de apisonado del mortero (32 golpes) en un cubo antes de pasar al siguiente.
- d) Terminada la primera capa llenar el molde a rebosar con el mortero restante y repetir el procedimiento impidiendo que la varilla penetre la primera capa.
- e) Nivelar la superficie con una regleta o con la misma varilla.
- f) Dejarlo fraguar por 24 horas
- g) Desencofrar

Una vez cumplido los días de ensayo se procede a ensayar los cubos en la Maquina Universal, midiendo tanto el diámetro, la altura y el peso de cada uno con el fin de determinar la resistencia real.

### **Resistencia máxima a la Compresión**

La resistencia última a la compresión fue calculada con la siguiente expresión:

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

**Dónde:**

$\sigma_{\max}$ = Esfuerzo ultimo a la compresión (MPa)

$F_{\max}$ = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A= El área de aplicación de la carga ( $mm^2$ ).

### **Deformación Unitaria**

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

**Dónde:**

$\epsilon_i$ = deformación Unitaria en el punto  $i$  (mm/mm)

$\epsilon_i$  = deformación en el punto  $i$  (mm)

$L_0$ = distancia de calibración (mm)

### **Módulo de Elasticidad**

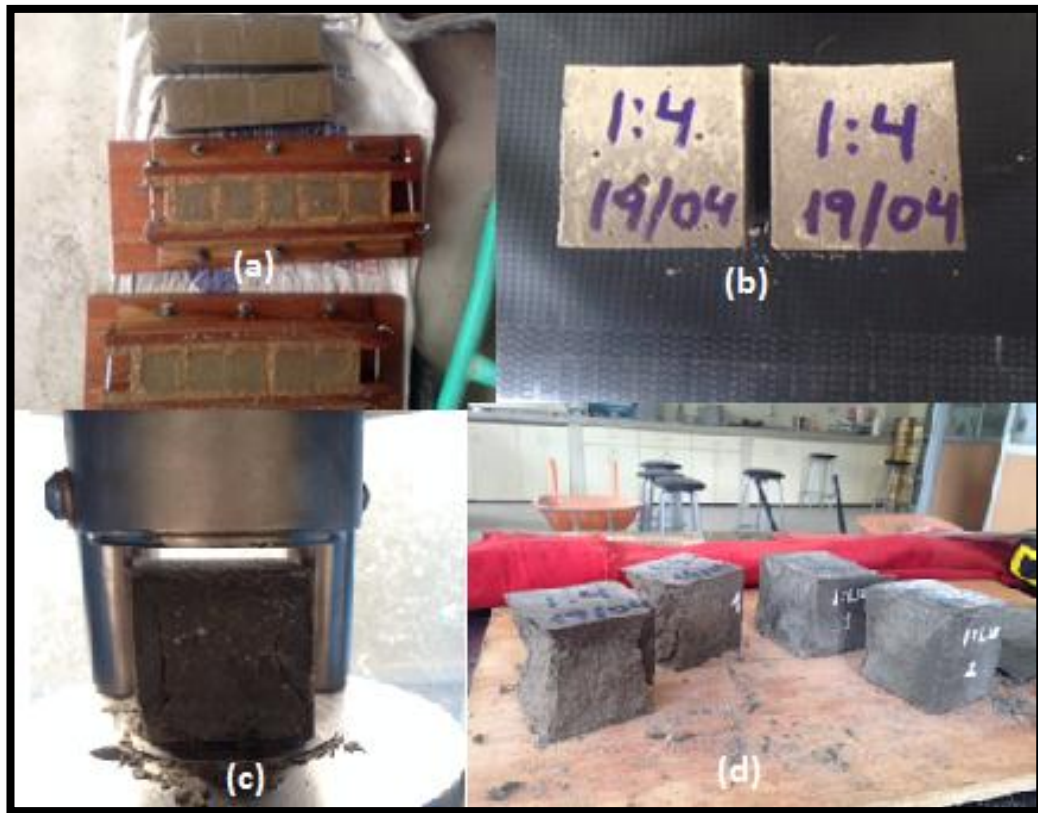
$$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$$

**Dónde:**

E= módulo de elasticidad (MPa)

$\sigma$ = esfuerzo en (MPa)

$\epsilon_i$  = deformación Unitaria en el punto  $i$  (mm/mm)



*Figura 53. Resistencia a Compresión de cubos de mortero 1:4: (a) encofrado de cubos, (b) cubos antes del ensayo, (c) máquina de compresión y (d) muestras después del ensayo.*

#### **2.4.4.8 Resistencia a flexión de viguetas de mortero**

Las muestras realizadas para la determinación de la resistencia de mortero se efectuaron con la norma (INEN 198), en la que se utilizaron prismas de 40 x 40 x 160 mm.

Los ensayos se los realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días en la maquina Universal.

#### **Equipo:**

- Balanza
- Bandejas
- Espátula
- Moldes para especímenes
- Varilla de compactación
- Martillo de goma

## **Procedimiento:**

### **Preparación de la muestra del ensayo**

- a) Tomar la muestra del árido de acuerdo a la NTE INEN 695 y reducirá a la muestra de ensayo.
- b) Secar la muestra en un horno a 110°C durante 24 horas
- c) Dejar enfriar

### **Procedimiento del ensayo**

- a) Realizar una mezcla de mortero con dosificación 1:4 necesaria para los moldes a utilizarse.
- b) Engrasar los moldes para evita que la mezcla se pegue el momento de desencofrar.
- c) Colocar la primera capa de la mezcla, compactar con 32 golpes con la parte redonda de la varilla de compactación y golpear el encofrado con martillo de goma, la presión de compactación debe ser solo la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes y se deben completar 4 rondas de apisonado del mortero (32 golpes) en un cubo antes de pasar al siguiente.
- d) Terminada la primera capa llenar el molde a rebosar con el mortero restante y repetir el procedimiento impidiendo que la varilla penetre la primera capa.
- e) Nivelar la superficie con una regleta o con la misma varilla.
- f) Dejarlo fraguar por 24 horas
- g) Desencofrar

Para el ensayo, la vigueta es colocada sobre los cilindros de apoyo, los cuales se encuentran a una distancia de 10 cm, con su eje longitudinal perpendicular a estos apoyos. Aplicar la carga verticalmente, colocando el cilindro de carga sobre la cara lateral opuesta del prisma en el centro. El ensayo se realizó en la Máquina Multipropósito con una velocidad de 5 mm/min, obteniéndose valores de carga y deformación que nos permitió obtener las siguientes propiedades

### **Resistencia Máxima a la Flexión**

La resistencia última a la flexión fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

**Dónde:**

$\sigma_{\max}$ = Esfuerzo ultimo a la flexión (MPa)

$F_{\max}$ = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

$L$ = longitud entre apoyos (mm)

$b_v$ = ancho de la sección transversal (mm)

$d$ = Alto de la sección transversal (mm)

### **Deformación Unitaria**

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

**Dónde:**

$\epsilon_i$ = deformación Unitaria en el punto  $i$  (mm/mm)

$\epsilon_i$  = deformación en el punto  $i$  (mm)

$L_o$ = distancia de calibración (mm)

### **Módulo de Elasticidad**

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

**Dónde:**

$E$ = módulo de elasticidad (MPa)

$\sigma$ = esfuerzo en (MPa)

$\epsilon_i$ = deformación Unitaria en el punto  $i$  (mm/mm)

## Deflexión

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

*Dónde:*

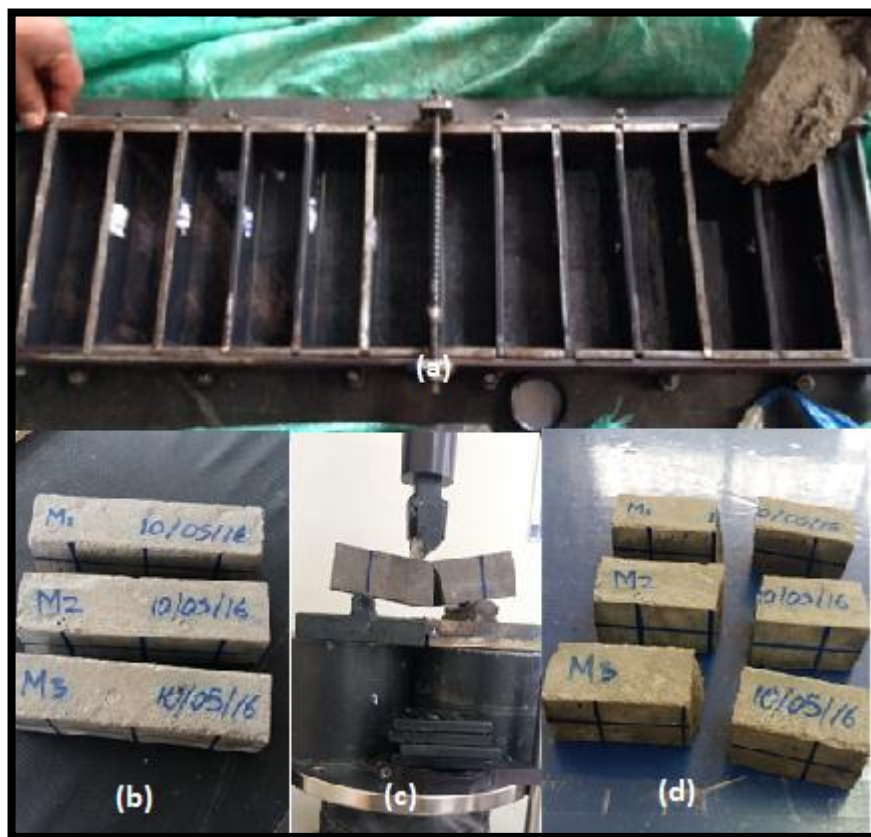
$D_v$  = deflexión (mm)

$F_{max}$  = carga máxima antes de la ruptura (N)

$L$  = longitud de apoyos (mm)

$E$  = Módulo de elasticidad (MPa)

$I$  = Inercia (mm<sup>4</sup>)



**Figura 54.** Resistencia a Flexión de viguetas de mortero: (a) encofrado de viguetas, (b) viguetas antes del ensayo, (c) sistema de ensayo y (d) viguetas después del ensayo

#### 2.4.5 Caracterización del mortero para el material compuesto dosificación 1:1.10 (arena)

Se utilizó un mortero fino de dosificación 1:1.10 de cemento portland de la empresa Cemento Chimborazo y un agregado fino (arena) de la mina de Penipe tamaño máximo 0.600 mm, además se incorporó una mezcla Plastificante Sika BV 40 en la proporción especificada por los fabricantes.

##### Dosificación:

*Tabla 10. Dosificación del mortero 1:1.10*

<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua (A/C)</b>
1	1.10	0,472

Para la dosificación con Plastificante Sika BV 40 se utilizó 10 gramos por cada kilogramo de cemento

##### 2.4.5.1 Resistencia a compresión de cubos de mortero

El método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros se determinó mediante la norma (INEN 488)

Los ensayos se los realizaron únicamente a los 28 días en la máquina de compresión, para determinar la deformación se utilizó un deformímetro análogo o reloj comparador con un rango de medición de 0.01 mm, adaptado con un soporte magnético el cual fue colocado en la máquina de compresión.

El procedimiento y fórmulas que se utilizaron para este ensayo son las mismas que las antes mencionadas en resistencia a compresión con dosificación 1:4.



*Figura 55. Resistencia a la compresión de cubos 1:1,10: cubos después del ensayo*

#### **2.4.5.2 Resistencia a flexión de mortero**

Las muestras realizadas para la determinación de la resistencia de mortero se efectuaron con la norma (INEN 198), en la que se utilizaron prismas de 40 x 40 x 160 mm.

Los ensayos se los realizaron únicamente a los 28 días en la Máquina Multipropósito.

El procedimiento y fórmulas que se utilizaron para este ensayo son las mismas que las antes mencionadas en resistencia a flexión de mortero con dosificación 1:4.



*Figura 56. Resistencia a Flexión de mortero 1:1,10: viguetas después del ensayo.*

#### **2.4.6 Caracterización del material compuesto**

Podríamos definir los Materiales Compuestos como un elemento fabricado expresamente para obtener unas propiedades superiores, a las que presentan sus materiales constituyentes por separado. Dentro de los materiales compuestos homogéneos, se habla del componente mayoritario como matriz, que es la que confiere las propiedades más importantes, y que engloba a los componentes minoritarios, que son los que modifican estas propiedades o le confieren alguna otra adicional. Este es el caso de los materiales compuestos de matriz cementicia, reforzados con fibras.

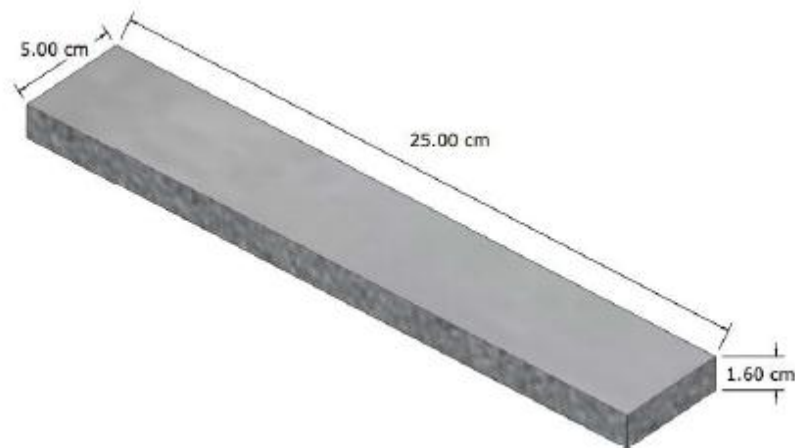
Se elaboraron 12 probetas; 6 con el tejido de cabuya de 3 layers y 6 con el tejido de cabuya de 1 layer. Los tejidos de cabuya utilizados para las probetas fueron cubiertas con resina; la disposición de las fibras fueron las mismas que las utilizadas en la caracterización mecánica de los tejidos.

La matriz cementicia se hizo con el mortero de dosificación 1:1,10.

#### **Procedimiento para la elaboración de probetas**

Para la elaboración de muestras se utilizaron 12 moldes de madera impermeable de 25x5x1 cm y tejidos de cabuya impregnados con resina y arena de 25x4,5 cm.

- a) Poner aceite en las paredes interiores del molde para evitar que el material se quede pegado.
- b) Preparar una mezcla de mortero con dosificación 1:1,10
- c) Distribuir una pequeña capa de mortero en los moldes, compactar con una varilla delgada y un martillo de goma.
- d) Empapar el tejido con mortero de manera que este penetre en las aberturas de cada uno y colocar el primer layer en el molde
- e) Colocar nuevamente una capa de mortero y compactar. (Este procedimiento se repetirá dependiendo los layers requeridos).
- f) Enrasar los moldes y limpiar bordes.
- g) Desencofrar después de 48 horas.



*Figura 57. Medidas del material compuesto*

#### **2.4.6.1 Resistencia a la tracción del material compuesto**

Para el diseño y análisis de un material compuesto se debe estudiar la resistencia a tracción de este, para poder definir que es la resistencia a la tensión primero tenemos que definir:

La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, y la tensión es la fuerza aplicada a un cuerpo que le produce una extensión.

En Resistencia de Materiales, tensión es la relación entre la fuerza aplicada y el área sobre el que se aplica.

Con este ensayo se determina la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales.

Se utilizó la Máquina Multipropósito marca Humboldt con una velocidad de 0.5 mm/min, para el ensayo se adaptó la máquina, se colocaron 2 placas en cada extremo del material unidas con adhesivo epóxico y un perno.

El material compuesto fue ensayado a los 28 días; es decir cuando alcanzó su resistencia máxima.

Una vez realizado el ensayo de tracción, con los datos obtenidos, carga y deformación, se calcularon las siguientes propiedades:

## Resistencia Máxima a la Tracción

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

**Dónde:**

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo último a la tracción (MPa)

$F_{max}$  = Carga Máxima antes de la ruptura (N)

A = Área sección transversal (mm<sup>2</sup>)

## Deformación Unitaria

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

**Dónde:**

$\epsilon_i$  = Deformación Unitaria (mm/mm)

$\epsilon_i$  = Deformación en el punto *i* (mm)

$L_0$  = Distancia de calibración (mm)

## Módulo de Elasticidad

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

**Dónde:**

E = Módulo de elasticidad (MPa)

$\sigma$  = Esfuerzo (MPa)

$\epsilon_i$  = Deformación Unitaria (mm/mm)



*Figura 58. Material Compuesto: (a) encofrado material compuesto, (b) materiales, (c) ensayo de tracción, (d) muestra con 3 layers después del ensayo, (e) y (f) muestra con 1 layer después del ensayo.*

## 2.5 Procesamiento y análisis

El propósito de este trabajo de investigación es analizar experimentalmente la efectividad del reforzamiento de material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya para columnas de ladrillo trabado, para mejorar sus características mecánicas.

Se analizan un total de 42 probetas de ladrillo, para analizar módulo de elasticidad, resistencia a compresión, resistencia a corte y evaluación de absorción de energía.

- 8 pilas de ladrillo; 4 pilas de ladrillo sin reforzamiento y 4 pilas de ladrillo con reforzamiento de material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya, serán sometidos a carga axial pura

- 18 probetas para el análisis a corte, 9 probetas sin reforzamiento y 9 probetas con reforzamiento de material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya, en los mismos que antes de realizar el ensayo de corte se les aplicara cargas de compresión simulando cargas que una pared generaría a 0 cm, a 152 cm y a 304 cm, como se muestra a continuación.

*Tabla 11. Altura para la aplicación de pre- compresión*

<b>Muestras</b>	<b>Tipo de Carga</b>	<b>Altura para la aplicación de Compresión</b>
3 Probetas sin refuerzo	Carga axial	0 cm
3 Probetas sin refuerzo	Carga axial	152 cm
3 Probetas sin refuerzo	Carga axial	304 m
3 Probetas con refuerzo	Carga axial	0 cm
3 Probetas con refuerzo	Carga axial	152 cm
3 Probetas con refuerzo	Carga axial	304 cm

- 16 columnas de ladrillo trabado; 8 columnas de ladrillo trabado sin reforzamiento y 8 columnas de ladrillo trabado con reforzamiento de material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya, los mismos que serán sometidos a carga axial pura y a carga excéntrica, como mostramos a continuación.

*Tabla 12. Muestras de Columnas, tipo de carga*

<b>Muestras</b>	<b>Tipo de Carga</b>
4 columnas de ladrillo trabado	Carga axial pura
4 columnas de ladrillo trabado reforzadas	Carga axial pura
4 columnas de ladrillo trabado	Carga excéntrica
4 columnas de ladrillo trabado reforzadas	Carga excéntrica

### 2.5.1 Prisma de mampostería.

Es el conjunto formado por piezas de mampostería y mortero.

Las propiedades son:

$f_m^*$ : resistencia a compresión

E: módulo de elasticidad de la mampostería

G: módulo de cortante.

#### 2.5.1.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión  $f_m^*$  (sobre el área bruta) se determina a través de pilas formadas por una pieza de base y un mínimo de tres piezas de altura y con una relación altura a espesor comprendida entre dos y cinco.

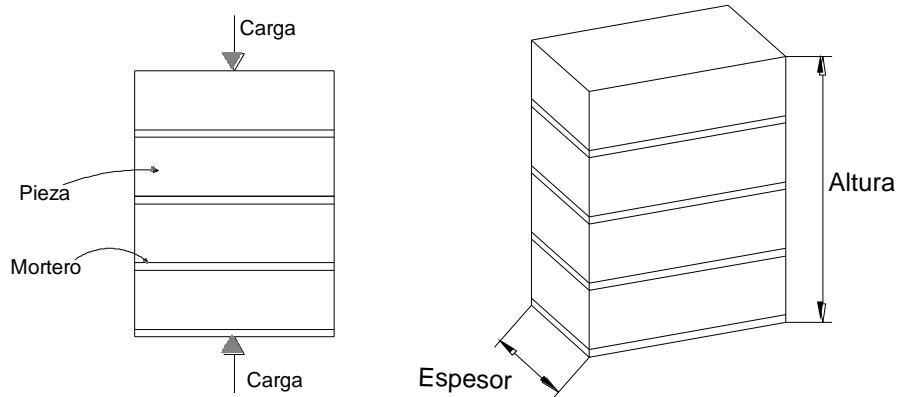
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dónde:

P= carga

A= área bruta

Las pilas se deben ensayar a los 28 días y debe tenerse cuidado en el manejo dado su Peso, por lo que es recomendable que en lo posible, se realicen en el lugar de ensayo.



*Figura 59. Pila de prueba de resistencia a la compresión*

### 2.5.1.2 Módulo de elasticidad

Para mampostería de ladrillos y otras piezas excepto concreto:

$$E = 550 fm *$$

### 2.5.1.3 Módulo de corte

El módulo de corte mide la resistencia de un material a la deformación de corte.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Dónde:

$\nu$  = relación de Poisson

En ausencia de un valor más preciso, se debe asumir el módulo de corte  $G$  como el 40% del módulo de elasticidad  $E$ . Eurocode, 1995 (Hemant, Durgesh, & Sudhir, 2007)

#### 2.5.1.3.1 Elaboración de pilas de ladrillo con y sin reforzamiento de material compuesto FRCM a base de fibra de cabuya

Una vez efectuados todos los ensayos para obtener las características de los materiales se procedió a elaborar las pruebas finales. Se realizaron 8 pilas de ladrillo provenientes del cantón Chambo de las cuales 4 fueron reforzadas con cabuya, y las 4 restantes sin refuerzo.

Se realizaron cubos de mortero con el material de la fabricación de las columnas, con el objetivo de ir controlando su resistencia y poder actuar a tiempo en el caso de que los resultados no sean los esperados.

Se construyeron 8 pilas para ser ensayadas con carga axial concéntrica.

El procedimiento para su ejecución fue el siguiente:

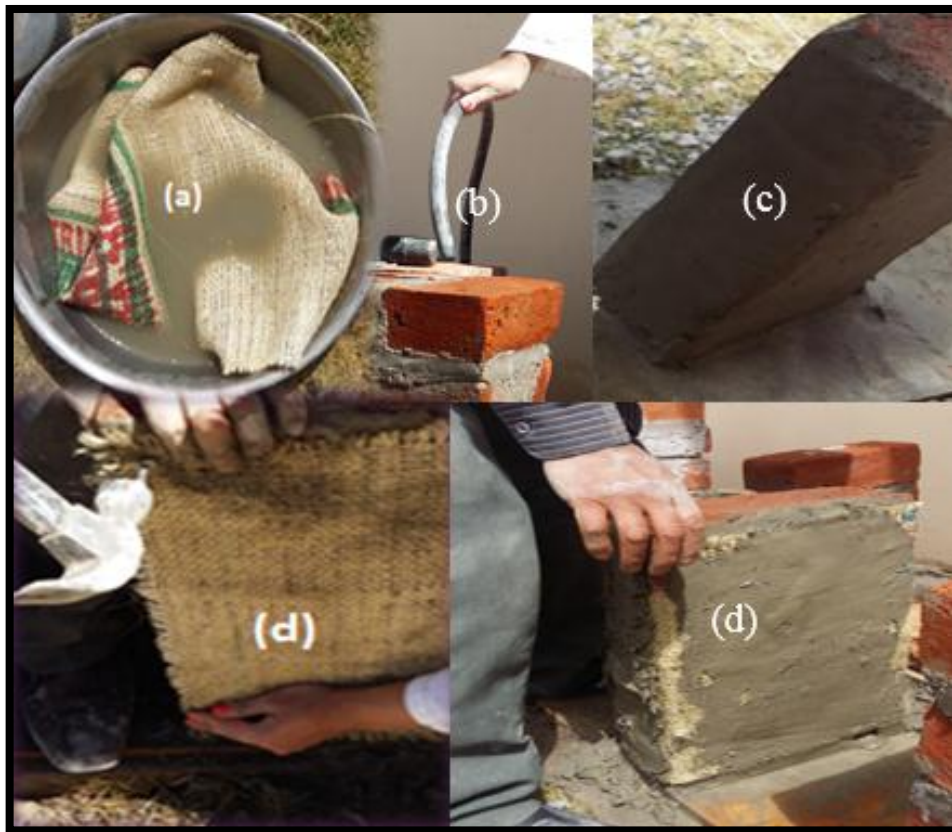
- a) Previamente sumergir los ladrillos en agua para evitar que este absorba la humedad de la mezcla.
- b) Sobre una superficie lisa y nivelada poner una pequeña cantidad de aceite para impedir que el mortero se adhiera a esta.
- c) Colocar mortero de dosificación 1:4 seguido de los ladrillos repetir este paso hasta obtener una altura de 4 filas de ladrillo.



**Figura 60.** Procedimiento para la elaboración de columnas:(a) humedecer los ladrillos, (b) mezcla del mortero, (c) colocación de mortero (d) pila finalizada

La colocación del refuerzo se lo hizo 7 días después de la fundición de columnas de la siguiente manera:

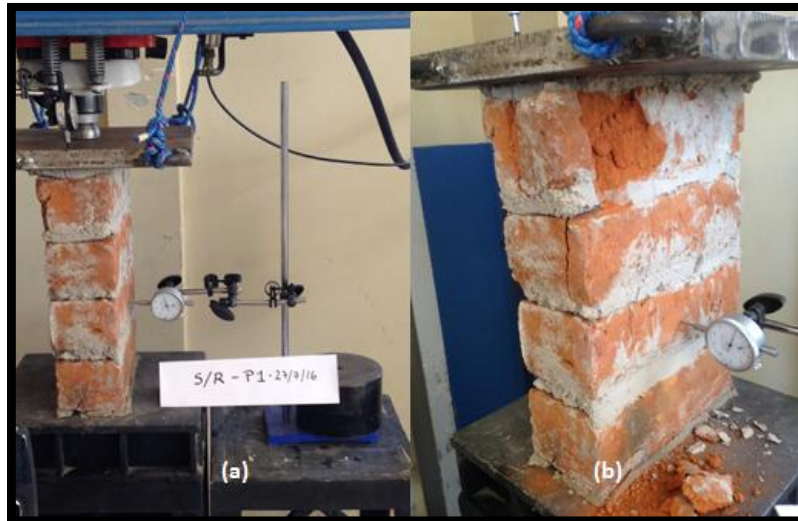
- a) Humedecer la cabuya y los ladrillos.
- b) Preparar la mezcla de mortero de dosificación 1:1,10 y colocarla a los costados de la pila.
- c) Inmediatamente colocar el refuerzo de cabuya humedecida.
- d) Golpear con un martillo de goma para que la fibra de adhiera a la mezcla, ayudarse de clavos en el caso de ser necesario.
- e) Colocar otra capa de mortero.
- f) Repetir este procedimiento dependiendo el número de layers usados; en el caso de las pilas usamos 1 layer (capas).



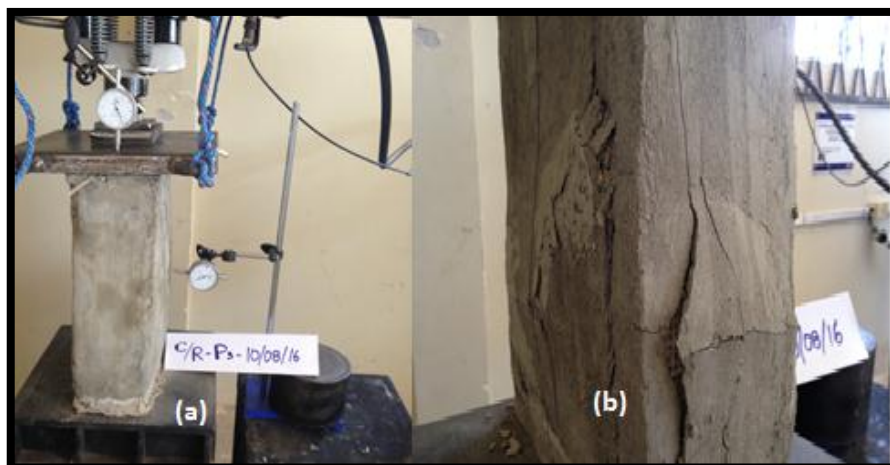
*Figura 61. Procedimiento para el refuerzo de columnas: (a) humedecer muestras de cabuya, (b) humedecer las columnas (c) colocación de mortero (d) colocación de la fibra, (e) colocación de la última capa de mortero*

### **2.5.1.3.2 Ensayo de carga axial de pilas**

Para el ensayo de pilas con y sin reforzamiento se adaptó una mesa metálica a la Prensa de Ensayos de Tubos tomando como referencia al pistón de carga, ubicar la pila con su lado más corto hacia el frente y sobre esta colocar una placa de espesor de 30 mm, aplicar una precarga de 1000 N y proceder a colocar dos deformímetros para medir el pandeo y la deformación longitudinal; proceder con la aplicación de cargas y registrar los valores de los deformímetros.



*Figura 62. Ensayo de pilas:(a) pila sin refuerzo antes del ensayo (b) pila sin refuerzo después del ensayo.*



*Figura 63. Ensayo de pilas:(a) pila con refuerzo antes del ensayo (b) pila con refuerzo después del ensayo.*

## 2.5.2 Tripletas de Ensayos a corte

### 2.5.2.1 Resistencia a corte

Es resistencia de la mampostería sometida a esfuerzos cortantes.

En el ensayo de corte directo ocasionalmente llamado ensayo de corte transversal, usualmente se procede a sujetar o apoyar la probeta del material, de tal modo que los esfuerzos flexionantes se minimicen a través del plano a lo largo del cual la carga cortante se aplique.

Para la obtención de la Resistencia a corte se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dónde:

P= carga

A= área bruta (es el área de contacto de la tripleta en nuestro caso 10cm\*15cm\* 2lados)

### **Comportamiento de los materiales bajo el esfuerzo cortante.**

Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano.

Si un cuerpo es sometido a un esfuerzo tensivo o compresivo que actúe solamente en una dirección, los esfuerzos cortantes a 45° correspondientes tienen la mitad de la magnitud del esfuerzo directo aplicado. En general, los máximos esfuerzos de corte equivalen a la mitad de la diferencia entre los esfuerzos principales máximo y mínimo y actúan sobre planos inclinados a 45° con estos esfuerzos.

### **La falla bajo el esfuerzo de corte.**

Si la resistencia de un material la tensión es menor que su resistencia al corte, entonces la falla bajo una carga de corte, ocurre por la separación (tensional) a lo largo de un plano que esté a 45° con el plano de corte máximo. Bajo carga torsionante, ésta resulta una fractura con superficie helicoidal.

#### **2.5.2.1.1 Procedimiento de elaboración de las probetas a corte**

Se realizaron 18 probetas de ladrillo para el ensayo de corte de las cuales 9 fueron reforzadas con cabuya, y las 9 restantes sin refuerzo.

El procedimiento para su ejecución fue el siguiente:

- d) Cortar los ladrillos de 22 cm.
- e) Previamente sumergir los ladrillos en agua para evitar que este absorba la humedad de la mezcla.
- f) Sobre una superficie lisa y nivelada colocar un ladrillo horizontalmente.

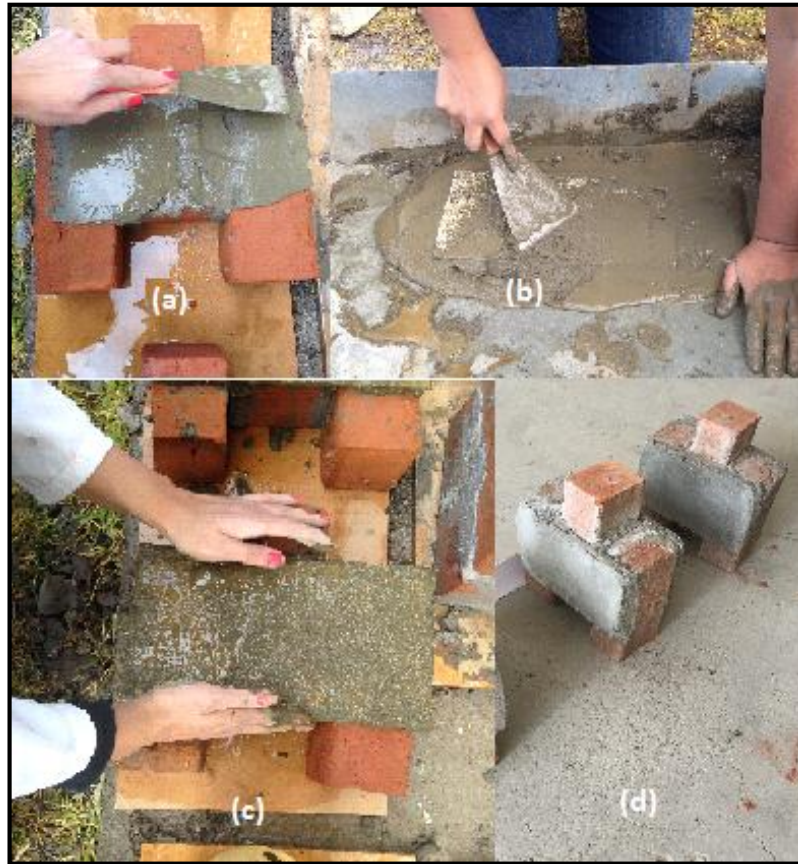
- g) Poner una mezcla de mortero de dosificación 1:4 en 15cm de este, dejando 7 cm libres.
- h) Colocar otro ladrillo encima de la mezcla de manera que la superficie libre quede al lado contrario del anterior.
- i) Colocar mortero y repetir el paso anterior.

La colocación del refuerzo se lo hizo 7 días después de la realización de las probetas de la siguiente manera:

- a) Humedecer nuevamente los ladrillos.
- b) Preparar la mezcla de mortero de dosificación 1:1,10 y colocarla en el canto de la probeta.
- c) Cortar tejidos de cabuya de 15x 27cm
- d) Inmediatamente colocar el refuerzo de cabuya humedecida.
- e) Golpear con un martillo de goma para que la fibra se adhiera a la mezcla.
- f) Colocar otra capa de mortero.
- g) Nivelar
- h) Repetir este procedimiento dependiendo el número de layers usados; en el caso de las probetas de corte nosotros ocupamos 3 layers (capas).



**Figura 64.** Procedimiento para la elaboración de probetas de corte:(a) colocación de mortero, (b) colocación del segundo ladrillo, (c) colocación de mortero (d) colocación del tercer ladrillos.



*Figura 65. Procedimiento Refuerzo corte: (a) colocación de mortero, (b) impregnación mortero en tejidos, (c) colocación fibras en ladrillo, (d) muestras finales*

### **2.5.2.1.2 Ensayo de corte**

El ensayo de las probetas se realizó en la Máquina Multipropósito.

Las muestras fueron sometidas previamente a una precarga controlada, para lo cual se realizó una estructura conformada por tres placas de 30x 20x12mm, con 4 varillas roscadas  $\frac{3}{4}$ " y 52cm de longitud y sujetas con tuercas (como se muestra en la figura).

Al momento de ajustar las tuercas se aplica una carga vertical monótona en cuatro puntos, que se transmite a través de una bisagra esférica colocado en el centro de la placa de acero superior y se mantiene constante durante la prueba.

Se colocó el triplete sobre dos rodillos, en su parte superior una placa, además del deformímetro para medir las deformaciones producidas y se procede a realizar el ensayo.

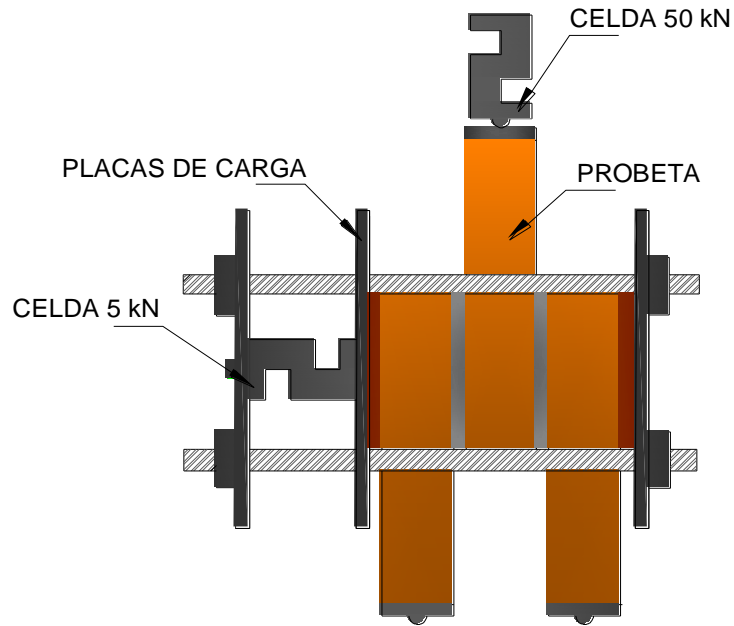


Figura 66. Estructura experimental para pruebas de corte

### 2.5.2.1.3 Cálculo de las precargas de compresión que se aplicaran simulando el peso que genera una pared

$h_1=0\text{cm}$

$h_2=152\text{cm}$

$h_3=304\text{cm}$

- $h_2=152\text{cm}$

#### Peso de la pared

$P. \text{ ladrillo} = \text{Alt. de los ladrillos} * \text{Area del ladrillo}$

\* Densidad del ladrillo

$P. \text{ ladrillo} = (16 * 8.5) * 150 * 1.679 = 34251.6 \text{ g}$

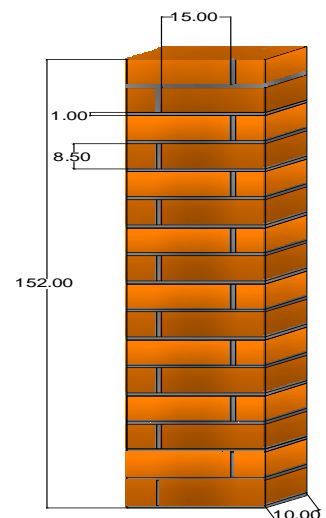
$P. \text{ mortero} = \text{Alt. del mortero} * \text{Area del mortero}$

\* Densidad del mortero

$P. \text{ mortero} = (16 * 1) * 150 * 2.01 = 4824 \text{ g}$

$P. \text{ pared} = P. \text{ ladrillo} + P. \text{ mortero}$

$P. \text{ pared} = 34.251.6 + 4824 = 39075.6\text{g} \cong 39.075 \text{ kg}$



### Peso de la losa y viga

$$D = 0.6 \frac{T}{m^2}$$

$$L = 0.2 \frac{T}{m^2}$$

$$S = 5 m$$

$$q = D + L = 0.8 \frac{T}{m^2}$$

$$W = \frac{q * s}{3} = \frac{0.8 * 5}{3} = 1.33 \frac{T}{m}$$

$$Wt = 2 W = 2 * 1.33 = 2.66 \frac{T}{m}$$

$$\text{Peso de la losa} = Wt * S = 2.66 * 5 = 13.3 T$$

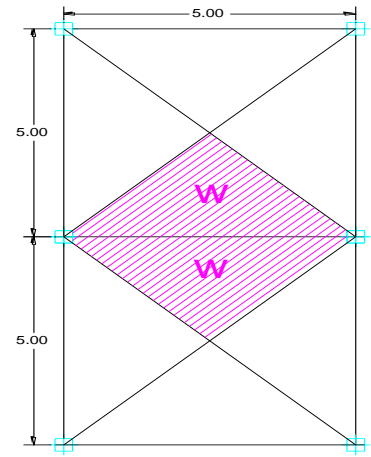
$$\text{Peso de la Viga} = \text{Volumen de la viga} * \text{Densidad del hormigon}$$

$$\text{Peso de la viga} = (0.3 * 0.4 * 5) * 2.4 = 1.44T$$

$$\text{Peso viga + losa (5000 cm}^2\text{)} = 5\% (\text{Peso viga} + \text{Peso losa})$$

$$\text{Peso viga + losa(5000 cm}^2\text{)} = 0.05 (13.3 + 1.44) = 0.737 T \cong 737 kg$$

$$\text{Peso viga + losa(150 cm}^2\text{)} = 22.11 kg$$



### Carga a aplicar

$$\text{Carga a compresion} = \frac{(\text{Peso pared} + \text{Peso viga y losa(150 cm}^2\text{)})}{\text{Factor de correccion}}$$

$$\text{Carga a compresion} = \frac{(39.075 + 22.11)}{0.12} = 509.875 kg$$

- $h_3=304\text{cm}$

**Peso de la pared**

$$P.\text{ladrillo} = \text{Alt. de los ladrillos} * \text{Area del ladrillo}$$

\* Densidad del ladrillo

$$P.\text{ladrillo} = (32 * 8.5) * 150 * 1.679 = 68503.2 \text{ g}$$

$$P.\text{mortero} = \text{Alt. del mortero} * \text{Area del mortero}$$

\* Densidad del mortero

$$P.\text{mortero} = (32 * 1) * 150 * 2.01 = 9648 \text{ g}$$

$$P.\text{pared} = P.\text{ladrillo} + P.\text{mortero}$$

$$P.\text{pared} = 68503.2 + 9648 = 78151.2 \cong 78.1512 \text{ kg}$$

**Peso de la losa y viga**

$$D = 0.6 \frac{T}{m^2}$$

$$L = 0.2 \frac{T}{m^2}$$

$$S = 5 \text{ m}$$

$$q = D + L = 0.8 \frac{T}{m^2}$$

$$W = \frac{q * s}{3} = \frac{0.8 * 5}{3} = 1.33 \frac{T}{m}$$

$$Wt = 2 W = 2 * 1.33 = 2.66 \frac{T}{m}$$

$$\text{Peso de la losa} = Wt * S = 2.66 * 5 = 13.3 T$$

Peso de la Viga

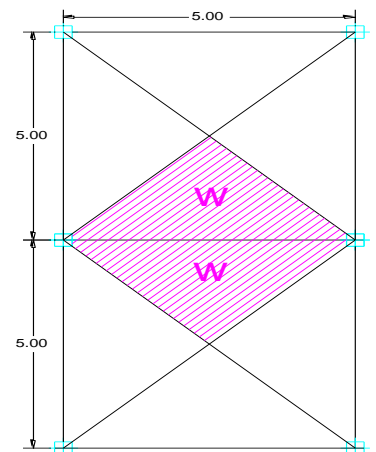
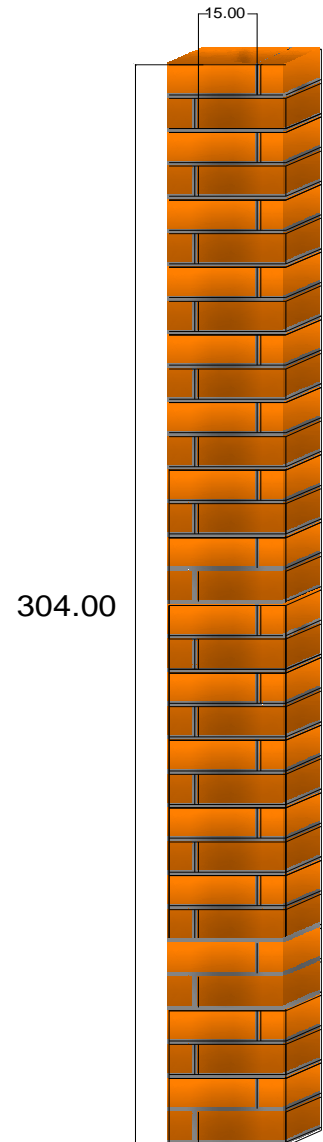
= Volumen de la viga

\* Densidad del hormigón

$$\text{Peso de la viga} = (0.3 * 0.4 * 5) * 2.4 = 1.44T$$

Peso viga + losa (5000 cm<sup>2</sup>)

= 5% (Peso viga + Peso losa)



$$\text{Peso viga} + \text{losa}(5000 \text{ cm}^2) = 0.05 (13.3 + 1.44) = 0.737 \text{ T} \cong 737 \text{ kg}$$

$$\text{Peso viga} + \text{losa}(150 \text{ cm}^2) = 22.11 \text{ Kg}$$

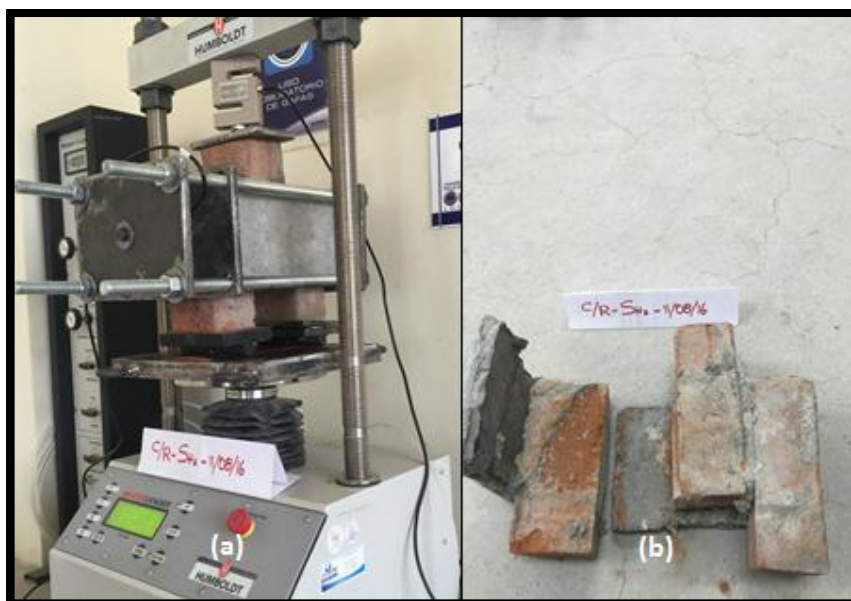
**Carga a aplicar**

$$\text{Carga a compresion} = \frac{(\text{Peso pared} + \text{Peso viga y losa}(150 \text{ cm}^2))}{\text{Factor de correccion}}$$

$$\text{Carga a compresion} = \frac{(78.15 + 22.11)}{0.12} = 835.5 \text{ kg}$$



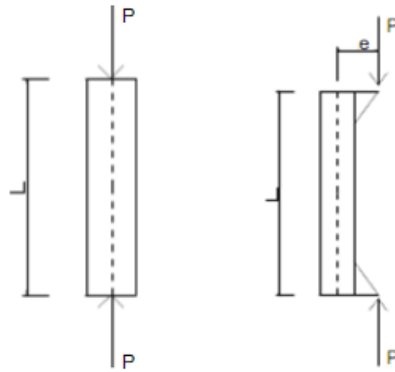
**Figura 67.** Ensayo de corte:(a) probeta sin refuerzo antes del ensayo (b) probeta sin refuerzo después del ensayo.



**Figura 68.** Ensayo de corte:(a) probeta con refuerzo antes del ensayo (b) probeta con refuerzo después del ensayo

### 2.5.3 Columnas

Una columna es un elemento cargado axialmente, sometido a compresión, el cual tiene su sección transversal muy pequeña comparada con su longitud, por lo que al aplicársele una carga, fallara primero por pandeo, antes que por aplastamiento. Las cargas que puede soportar una columna pueden ser concéntricas, cuando se aplican sobre su centroide, o excéntricas, cuando se aplican a cierta distancia de su eje centroidal.



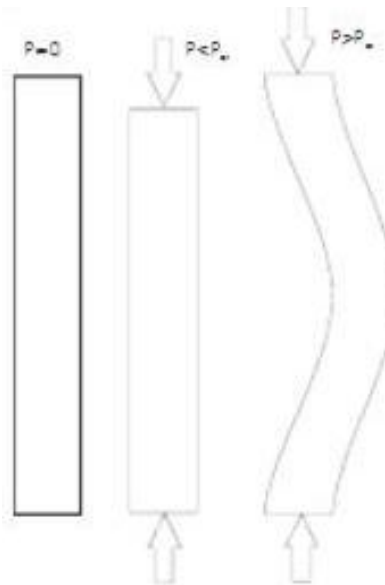
*Figura 69. Columna carga concéntrica y carga excéntrica. SHANLEY (2011).*

Cuando se incrementa la longitud de una columna, disminuye su capacidad de soportar carga. Cuando la excentricidad es pequeña y la columna es corta, la flexión lateral es despreciable, comparada con el efecto de la compresión; por el contrario al aumentar la longitud, una pequeña excentricidad puede producir un gran esfuerzo de flexión.

Las columnas se pueden clasificar en: a) cortas, las cuales simplemente se aplastan o comprimen y el esfuerzo se determina por la ecuación  $\sigma = \frac{P}{A}$ ; b) intermedias y c) largas, para las cuales existen ecuaciones para analizarlas (SHANLEY, 2011)

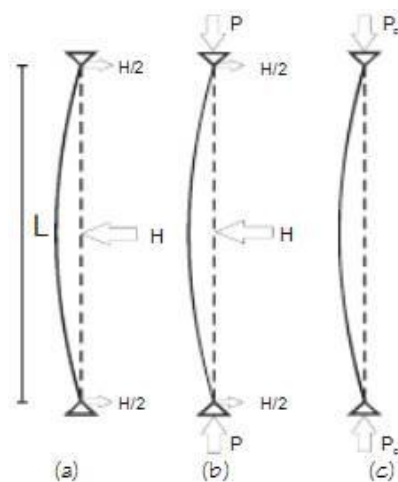
#### **Carga crítica**

La deformación de la columna varía según ciertas magnitudes de cargas para valores de P bajos se acorta la columna, al aumentar la magnitud cesa el acortamiento y aparece la deflexión lateral. Existe una carga límite que separa estos dos tipos de configuraciones y se conoce como *carga crítica*  $P_{cr}$ .



**Figura 70.** . Carga Crítica. SHANLEY (2011)

Supongamos que un elemento recto vertical sometido una carga  $H$ , esta carga produce una deflexión. Si se aplica una fuerza vertical  $P$  que va aumentando y se disminuye el valor de  $H$ , de tal forma que la deflexión sea la misma, el valor de  $P_{cr}$  es la carga necesaria para mantener la columna deformada sin empuje lateral  $H$ . Para valores mayores a la carga crítica aumentan la deflexión hasta que falla por pandeo, limitando la capacidad de la columna.



**Figura 71.** Carga Crítica. SHANLEY (2011)

Los factores que influyen la magnitud de la carga crítica son la longitud de la columna, las condiciones de los extremos y la sección transversal de la columna. Estos factores se conjugan en la relación de esbeltez o *coeficiente de esbeltez*, el cual es el parámetro que mide la resistencia de la columna. De esta forma para

aumentar la resistencia de la columna se debe buscar la sección que tenga el radio de giro más grande posible, o una longitud que sea menor, ya que de ambas formas se reduce la esbeltez y aumenta el esfuerzo crítico (Beer & Johnston, 1993).

$$kL/r_{min}$$

*Dónde:*

$k$ = Coeficiente relacionado con el tipo de apoyo.

$L$ = Longitud de la columna.

$r_{min}$ = Radio de giro mínimo de la sección.

### 2.5.3.1 Excentricidad.

Cuando la carga no se aplica directamente en el centroide de la columna, se dice que la carga es excéntrica y genera un momento adicional que disminuye la resistencia del elemento, de igual forma, al aparecer un momento en los extremos de la columna debido a varios factores, hace que la carga no actúe en el centroide de la columna. Esta relación del momento respecto a la carga axial se puede expresar en unidades de distancia según la propiedad del momento, la distancia se denomina *excentricidad*. Cuando la excentricidad es pequeña la flexión es despreciable y cuando la excentricidad es grande aumenta los efectos de flexión sobre la columna (SINGER & PYTEL, 1982).

$$e = M / P$$

*Dónde:*

$e$ = Excentricidad.

$M$ = Momento extremo.

$P$ = Carga axial.

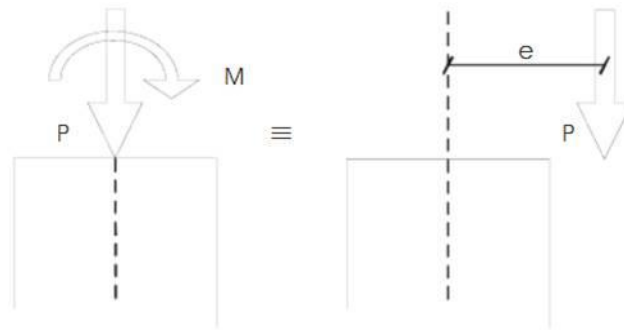


Figura 72. Excentricidad. Singer & Pytel (1982),

### 2.5.3.1.1 Cálculo de Momentos

Para el cálculo del momento 1 y momento 2 que se producen con columnas excéntricas se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$M_1 = P \cdot e$$

$$M_2 = P \cdot (e + \Delta)$$

*Dónde:*

$M_1$  = momento de primer orden ( $N \cdot mm$ )

$M_2$  = momento de segundo orden ( $N \cdot mm$ )

$P$  = carga axial aplicada ( $N$ )

$e$  = excentricidad

$\Delta$  = deformación por pandeo ( $mm$ )

### 2.5.3.1.2 Índices de ductilidad y energía

#### Ductilidad

Es la capacidad de un material de deformarse plásticamente sin romperse. Así, un material es dúctil si es capaz de deformarse de manera permanente y apreciable en el rango inelástico antes de fallar.

$$\text{Ductilidad de Energía} = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$A_{ep} = A_{total} + A_{pr}$$

*Dónde:*

$A_{tot}$  = Área total bajo la curva ( $N \cdot m$ )

$A_{ep}$  = Área total mas  $A_{pr}$  ( $N*m$ )

$A_{pr}$  = el área total delimitadas por una pendiente de rigidez elástica constante y la meseta plástica ( $N*m$ )

### Reserva de energía de deformación

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 pico 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 determinan mediante la siguiente figura.

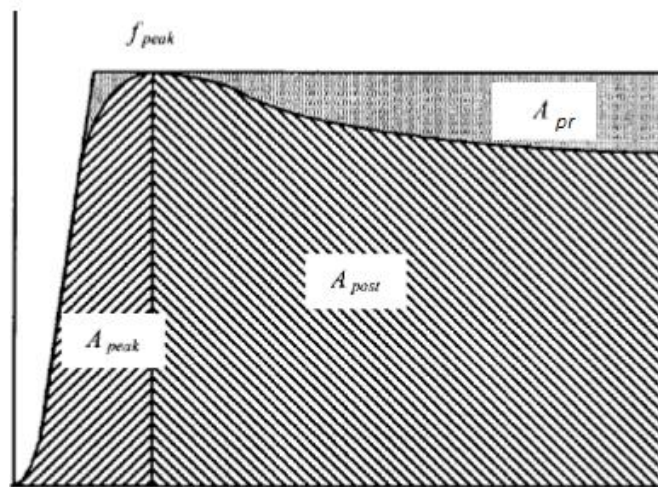


Figura 73. Área bajo la curva de Carga- Deformación .Pierre, Pierre, Kenneth & Demers (2005).

$Reserva\ de\ Energía = A_{post}/A_{peak}$ , 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 pico inicial.

$$Energía\ Absorbida = A_{total}$$

## Tenacidad

La tenacidad es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la ruptura, por la presencia de una carga.

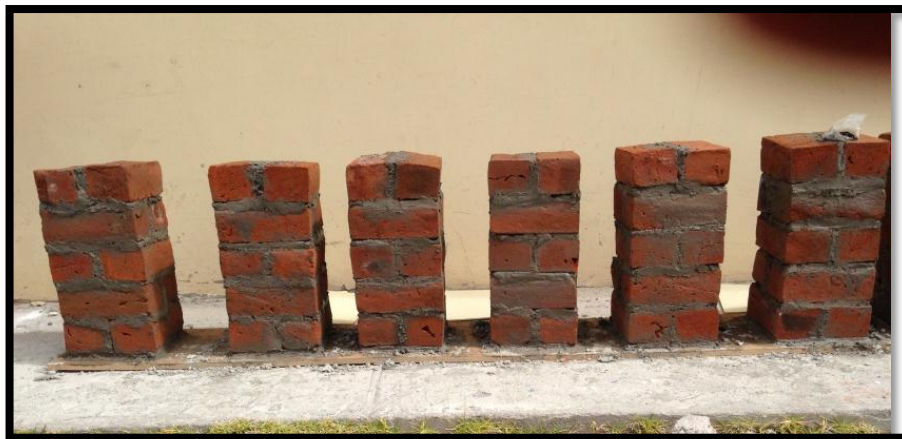
$A_{tot}/A_{peak}$ , donde los parámetros  $A_{tot}$  y  $A_{peak}$  son, el área bajo la curva de tensión-deformación, y el área total delimitadas por una pendiente de rigidez elástica constante y la meseta plástica, respectivamente (Pierre, Pierre, Kenneth, & Demers, 2005).

$$\text{Índice de Tenacidad a la Compresión} = \frac{A_{tot}}{A_{peak}}$$

### 2.5.3.1.3 Elaboración de columnas de ladrillo trabado reforzadas con el sistema FRCM de cabuya.

Una vez efectuados todos los ensayos para obtener las características de los materiales se procedió a elaborar las pruebas finales. Se realizaron 16 columnas de ladrillo provenientes del cantón Chambo de las cuales 8 fueron reforzadas con cabuya, y las 8 restantes sin refuerzo.

Se realizaron cubos de mortero con el material de la fabricación de las columnas, con el objetivo de ir controlando su resistencia y poder actuar a tiempo en el caso de que los resultados no sean los esperados.



*Figura 74. Columnas*

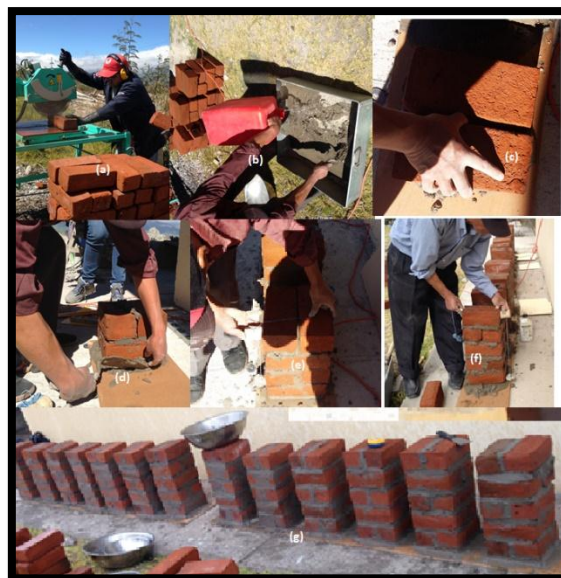
Se construyeron 8 columnas para ser ensayadas con carga axial concéntrica y 8 con carga axial excéntrica de las cuales 4 de cada uno fueron sin refuerzo y 4 reforzadas.

El procedimiento para su ejecución fue el siguiente:

- a) Cortar los ladrillos de 22 cm para obtener columnas cuadradas.
- b) Previamente sumergir los ladrillos en agua para evitar que este absorba la humedad de la mezcla.
- c) Sobre una superficie lisa y nivelada poner una pequeña cantidad de aceite para impedir que el mortero se adhiera a esta.
- d) Colocar mortero de dosificación 1:4 seguido de los ladrillos repetir este pasó hasta obtener una altura de 5 filas de ladrillo.

La colocación del refuerzo se lo hizo 7 días después de la realización de columnas de la siguiente manera:

- i) Humedecer nuevamente los ladrillos.
- j) Preparar la mezcla de mortero de dosificación 1:1,10 y colocarla a los costados de la columna.
- k) Inmediatamente colocar el refuerzo de cabuya humedecida.
- l) Golpear con un martillo de goma para que la fibra de adhiera a la mezcla, ayudarse de clavos en el caso de ser necesario.
- m) Colocar otra capa de mortero.
- n) Repetir este procedimiento dependiendo el número de layers usados; en el caso de las columnas nosotros ocupamos 3 layers (capas).



**Figura 75.** Procedimiento para la elaboración de columnas:(a) corte de ladrillos, (b) mezcla del mortero, (c) colocación de mortero (d) colocación de primera fila de ladrillos, (e) y (f) nivelación de cada fila y (g) muestras finales.



*Figura 76. Procedimiento para el refuerzo de columnas: (a) humedecer muestras de cabuya, (b) humedecer las columnas (c) colocación de mortero (d) colocación de la fibra, (e) segunda capa de mortero y (f) última capa de mortero*

#### **2.5.3.1.3.1 Ensayo de carga axial concéntrica de columnas**

Para el ensayo de carga concéntrica de columnas con y sin reforzamiento se adaptó la Máquina de Prensa de Ensayo de tubos.

Centrar la mesa metálica tomando como referencia al pistón de carga, ubicar la columna y sobre esta colocar una placa de espesor de 30 mm, aplicar una precarga de 1000 N y proceder a colocar dos deformímetros para medir el pandeo y la deformación longitudinal; proceder con la aplicación de cargas y registrar los valores de los deformímetros.



*Figura 77. Ensayo de columnas concéntricas:(a) columna sin refuerzo antes del ensayo (b) columna sin refuerzo después del ensayo.*



*Figura 78. Ensayo de columnas concéntricas:(a) columna con refuerzo antes del ensayo, (b) columna con refuerzo después del ensayo.*

### 2.5.3.1.3.2 Ensayo de carga axial excéntrica de columnas

Las columnas sin refuerzo se ensayaron a los 28 días y las columnas con refuerzo a los 35 días. Las columnas se ensayaron a compresión.

Primero debemos adaptar la máquina para un correcto ensayo de la muestra; centrar la mesa metálica como se indicó en el ensayo anterior, colocar un rodillo inferior y sobre él una placa de área suficiente para poder apoyar la columna. Poner la columna sobre la placa inferior y encima de ella apoyar la siguiente placa que tiene un espesor de 30 mm, colocar el rodillo superior a manera que se tenga una excentricidad del 70% y aplicar una precarga de 1000N para inmovilizar la columna y empezar con el ensayo.

Colocar 4 deformímetros de marca HUMBOLDT para medir las deformaciones longitudinales, pandeo y curvatura superior e inferior que será de ayuda para determinar los momentos.

Proceder con la aplicación de cargas y registrar los valores de todos los deformímetros.

Con los datos obtenidos realizamos los siguientes cálculos:

#### **Ductilidad de Energía**

$$\text{Ductilidad de Energía} = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$A_{ep} = A_{total} + A_{pr}$$

*Dónde:*

$A_{tot}$  = Área total bajo la curva ( $N*m$ )

$A_{ep}$  = Área total mas  $A_{pr}$  ( $N*m$ )

$A_{pr}$  = el área total delimitadas por una pendiente de rigidez elástica constante y la meseta plástica ( $N*m$ )

#### **Reserva de la Energía**

$$\text{Reserva de Energía} = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

*Dónde:*

$A_{post}$  = Área bajo la curva posterior a la zona  $A_{peak}$  ( $N*m$ )

$A_{\text{peak}}$  = Área hasta el punto más alto de la curva ( $N*m$ )

### **Energía Absorbida**

$$\text{Energía Absorbida} = A_{\text{total}}$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{peak}} + A_{\text{post}}$$

### **Índice de Tenacidad**

$$\text{Índice de Tenacidad a la Compresión} = \frac{A_{\text{tot}}}{A_{\text{peak}}}$$

*Dónde:*

$A_{\text{tot}}$  = Área total bajo la curva ( $N*m$ )

$A_{\text{peak}}$  = Área hasta el punto más alto de la curva ( $N*m$ )

### **Curvatura de la Columna**

$$\emptyset = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{t}$$

$\emptyset$  = curvatura ( $mm^{-1} * 10^{-5}$ )

$t$  = ancho de la sección

$$\varepsilon_1 = \frac{H_{ef} - Def_1}{H_{ef}}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{H_{ef} - Def_2}{H_{ef}}$$

$H_{ef}$  =  $h + 30\text{mm}$

$Def_1$  =  $H_{ef}$  - (def superior + def inferior)

$Def_2$  =  $H_{ef}$  + (def superior + def inferior)

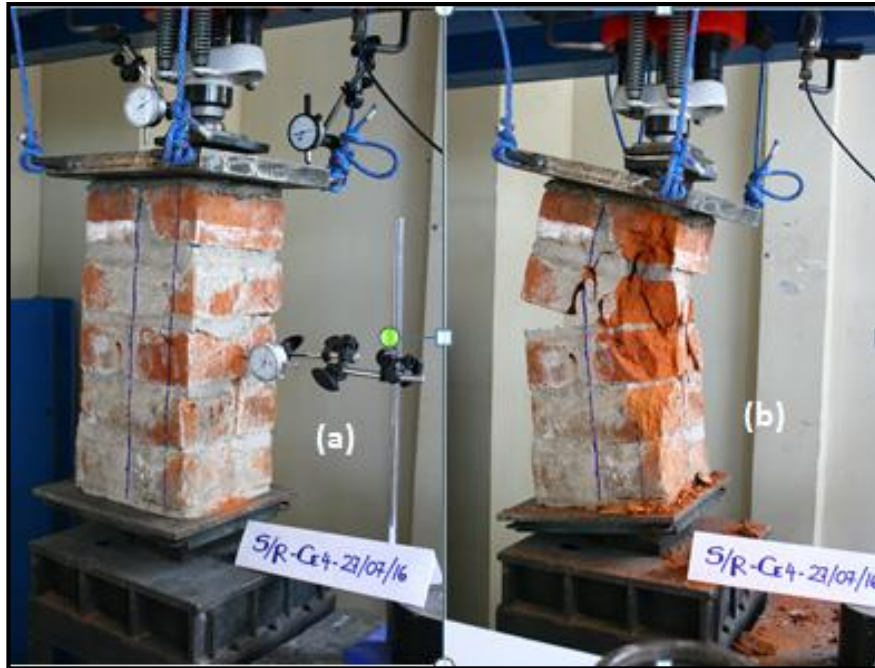
*Dónde:*

$Def_1$  = deformación longitudinal (lado comprimido)

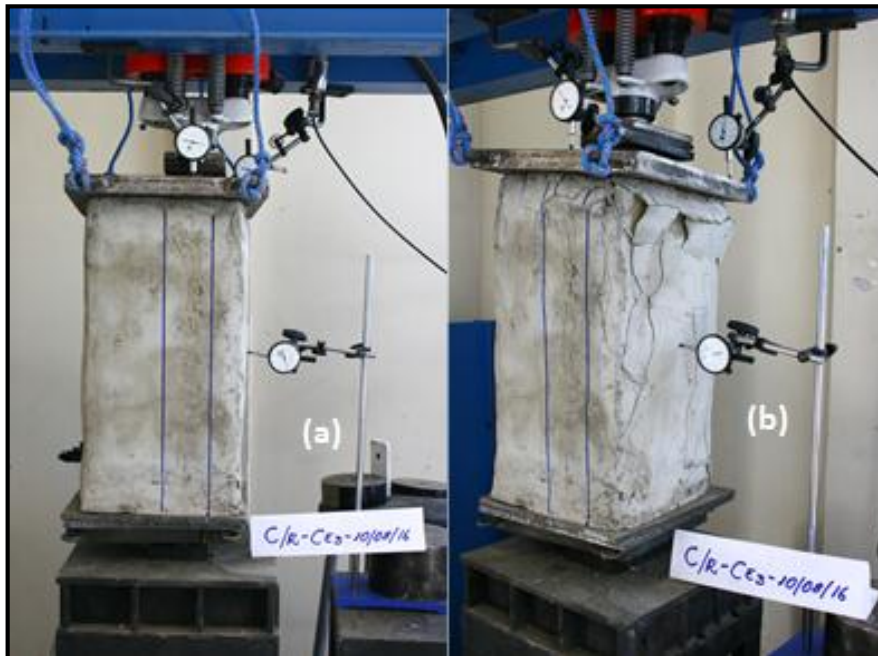
$Def_2$  = deformación longitudinal (lado de tracción)

$\varepsilon_1$  = deformación longitudinal (lado comprimido)

$\varepsilon_2$  = deformación longitudinal (lado de tracción)



*Figura 79. Ensayo de columnas excéntricas:(a) columna sin refuerzo antes del ensayo (b) columna sin refuerzo después del ensayo.*



*Figura 80. Ensayo de columnas excéntricas:(a) columna con refuerzo antes del ensayo, (b) columna con refuerzo después del ensayo.*

## CAPITULO III

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterización del ladrillo

*Tabla 13. Caracterización del Ladrillo.*

PROPIEDADES	VALOR	
<b>Absorción</b>	22,81	%
	5,35	Desv. Estandar
	23,47	% Coef Variación
<b>Absorción por capilaridad (24 h)</b>	275,66	g/100cm <sup>2</sup>
	22,25	Desv. Estandar
	8073,00	% Coef Variación
<b>Densidad por Arquímedes</b>	1,68	g/cm <sup>3</sup>
	0,07	Desv. Estandar
	4,32	% Coef Variación
<b>Ensayo de Compresión</b>		
Resistencia a compresión	10,99	MPa
	1,59	Desv. Estandar
	14,49	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,02	mm/mm
	0,01	Desv. Estandar
	46,46	% Coef Variación
Módulo de Elasticidad	717,45	MPa
	404,60	Desv. Estandar
	56,39	% Coef Variación
<b>Ensayo de Flexión</b>		
Módulo de rotura	3,56	MPa
	0,486	Desv. Estandar
	13,64	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,010	mm/mm
	0,002	Desv. Estandar
	21,060	% Coef Variación
Módulo de Elasticidad	353,90	MPa
	73,63	Desv. Estandar
	20,81	% Coef Variación

### 3.2 Caracterización de la fibra y tejido de la cabuya

*Tabla 14. Caracterización de la fibra y tejido de cabuya.*

PROPIEDADES	PRESENTACIÓN		
	ROLLO	SACO	
Densidad específica	1,39	1,48	g/cm <sup>3</sup>
	0,04	0,09	Desv. Estándar
	2,92	5,75	% Coef Variación
Masa por unidad de área	243,00	413,00	g/m <sup>2</sup>
	18,29	13,38	Desv. Estándar
	7,53	3,24	% Coef Variación
Densidad lineal	583,33	707,33	g/km
	68,22	69,74	Desv. Estándar
	11,70	9,86	% Coef Variación
Porcentaje de absorción (fibra con resina)	36,62		%
	13,78		Desv. Estándar
	37,61		% Coef Variación
<b>Ensayo de Tracción fibras sin resina</b>			
Esfuerzo máximo fibra sin resina	311,96	263,08	MPa
	51,71	42,69	Desv. Estándar
	16,58	16,23	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,03	0,04	mm/mm
	0,006	0,008	Desv. Estándar
	20,11	21,48	% Coef Variación
Módulo de elasticidad	10938,54	7256,40	MPa
	3834,92	1266,63	Desv. Estándar
	35,06	17,46	% Coef Variación
<b>Ensayo de Tracción fibras con resina</b>			
Esfuerzo máximo fibra con resina	261,06	317,70	MPa
	47,65	27,80	Desv. Estándar
	18,25	8,75	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,02	0,04	mm/mm
	0,007	0,01	Desv. Estándar
	29,09	23,86	% Coef Variación
Módulo de elasticidad	12338,77	7990,64	MPa
	4303,55	2305,43	Desv. Estándar
	34,88	28,85	% Coef Variación
<b>Ensayo de Tracción tejido sin resina</b>			
Esfuerzo máximo tejido sin resina	162,55	385,87	MPa
	38,19	35,44	Desv. Estándar
	23,49	9,18	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,05	0,05	mm/mm
	0,02	0,01	Desv. Estándar

	33,01	8,97	% Coef Variación
Módulo de elasticidad	3802,79	7335,40	MPa
	1407,74	15,80	Desv. Estándar
	37,02	0,22	% Coef Variación
<b>Ensayo de Tracción tejido con resina</b>			
Esfuerzo máximo tejido con resina	261,50	488,41	MPa
	25,52	5,99	Desv. Estándar
	9,76	1,23	% Coef Variación
Deformación Unitaria Máxima	0,03	0,068	mm/mm
	0,01	0,023	Desv. Estándar
	14,27	33,91	% Coef Variación
Módulo de elasticidad	7984,35	7627,34	MPa
	637,68	2498,29	Desv. Estándar
	7,99	32,75	% Coef Variación

### 3.3 Caracterización de los agregados

#### 3.3.1 Caracterización del polvo de piedra

*Tabla 15. Caracterización del polvo de piedra*

<b>PROPIEDADES</b>	<b>VALOR</b>	
<b>Granulometría - Tamaño máximo nominal</b>	0,60	mm
<b>Masa unitaria suelta</b>	1514,33	kg/m <sup>3</sup>
	7,88	Desv. Estándar
	0,52	% Coef Variación
<b>Masa unitaria compactada</b>	1624,33	kg/m <sup>3</sup>
	6,39	Desv. Estándar
	0,39	% Coef Variación
<b>Densidad</b>	2,33	g/cm <sup>3</sup>
	0,066	Desv. Estándar
	1,58	% Coef Variación
<b>Porcentaje de absorción</b>	3,28	%
	2,03	Desv. Estándar
	61,90	% Coef Variación

### 3.3.2 Caracterización de la arena

Tabla 16. Caracterización de la arena

PROPIEDADES	VALOR	
Granulometría - Tamaño máximo nominal	0,60	mm
Masa unitaria suelta	1527,69	kg/m <sup>3</sup>
	20,88	Desv. Estándar
	1,37	% Coef Variación
Masa unitaria compactada	1672,20	kg/cm <sup>3</sup>
	22,62	Desv. Estándar
	1,35	% Coef Variación
Densidad	2,64	g/cm <sup>3</sup>
	0,31	Desv. Estándar
	1,82	% Coef Variación
Porcentaje de absorción	2,19	%
	0,18	Desv. Estándar
	8,62	% Coef Variación

### 3.4 Caracterización de los morteros

#### 3.4.1 Caracterización del mortero 1:4

Tabla 17. Caracterización del mortero 1:4

PROPIEDADES	VALOR	
<b>Tiempo de fraguado</b>		
Inicial	90,00	min
Final	175,00	min
Flujo de mortero	127,06	%
	1,52	Desv. Estándar
	1,20	% Coef Variación
Ensayo de densidad fresco	2,079	g/cm <sup>3</sup>
	0,01	Desv. Estándar
	0,55	% Coef Variación
Ensayo de densidad endurecido (28 días)	2,076	g/cm <sup>3</sup>
	0,12	Desv. Estándar

	5,95	% Coef Variación
<b>Contenido de aire</b>	3,10	%
	0,57	Desv. Estándar
	18,25	% Coef Variación
<b>Porcentaje de absorción (28 días)</b>	16,97	%
	0,28	Desv. Estándar
	1,67	% Coef Variación
<b>Ensayo de compresión (28 días)</b>		
<b>Resistencia a compresión</b>	9,89	MPa
	0,54	Desv. Estándar
	0,50	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad</b>	562,43	MPa
	43,87	Desv. Estándar
	7,80	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,018	mm/mm
	0,001	Desv. Estándar
	6,616	% Coef Variación
<b>Ensayo a Flexión (28 días)</b>		
<b>Módulo de rotura</b>	2,62	MPa
	0,10	Desv. Estándar
	3,93	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,008	mm/mm
	0,001	Desv. Estándar
	11,060	% Coef Variación

### 3.4.2 Caracterización del mortero 1:1.10

Tabla 18. Caracterización del mortero 1:1.10

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR
<b>Ensayo de compresión (28 días)</b>		
<b>Resistencia a compresión</b>	47,47	MPa
	2,74	Desv. Estándar
	5,78	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad</b>	2200,49	MPa
	361,03	Desv. Estándar

	16,40	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,022	mm/mm
	0,002	Desv. Estándar
	10,824	% Coef Variación
<b>Ensayo a Flexión (28 días)</b>		
<b>Módulo de rotura</b>	7,13	MPa
	0,43	Desv. Estándar
	6,08	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,013	mm/mm
	0,004	Desv. Estándar
	32,284	% Coef Variación

### 3.5 Caracterización del material compuesto

Tabla 19. Caracterización del material compuesto

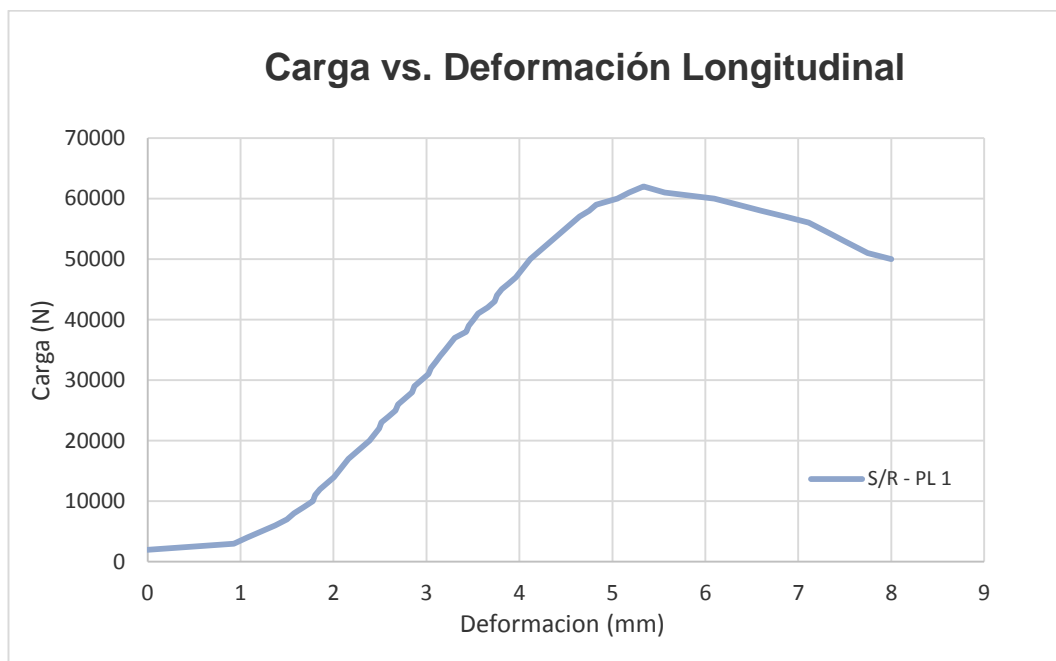
PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR
<b>Resistencia a Tracción (3 Layers)</b>		
<b>Esfuerzo Máximo</b>	7,78	MPa
	0,41	Desv. Estándar
	5,26	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria 1</b>	0,016	mm/mm
	0,007	Desv. Estándar
	44,256	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,099	mm/mm
	0,018	Desv. Estándar
	18,213	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad Fase 1</b>	48,702	MPa
	9,509	Desv. Estándar
	19,525	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad Fase 3</b>	80,263	MPa
	12,751	Desv. Estándar
	15,887	% Coef Variación
<b>Resistencia a Tracción (1 Layers)</b>		
<b>Esfuerzo Máximo</b>	2,61	MPa
	0,24	Desv. Estándar

	9,14	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria 1</b>	0,011	mm/mm
	0,005	Desv. Estándar
	42,754	% Coef Variación
<b>Deformación Unitaria Máxima</b>	0,085	mm/mm
	0,018	Desv. Estándar
	21,164	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad Fase 1</b>	34,565	MPa
	11,206	Desv. Estándar
	32,421	% Coef Variación
<b>Módulo de Elasticidad Fase 3</b>	31,560	MPa
	6,233	Desv. Estándar
	19,751	% Coef Variación

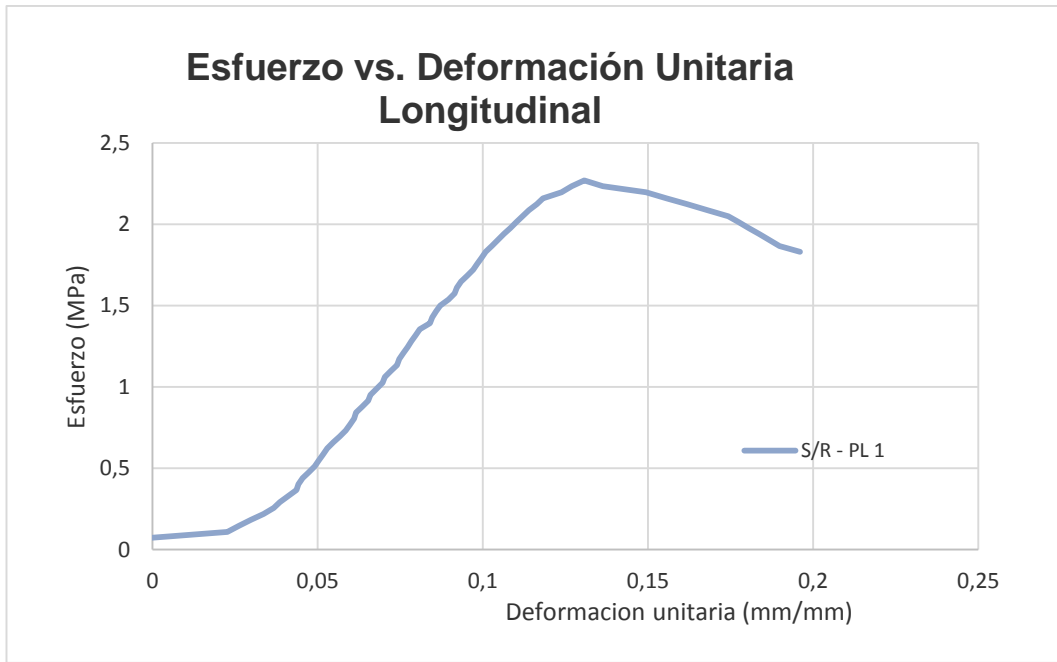
### 3.6 Ensayos finales

#### 3.6.1 Ensayo de pilas sin reforzamiento

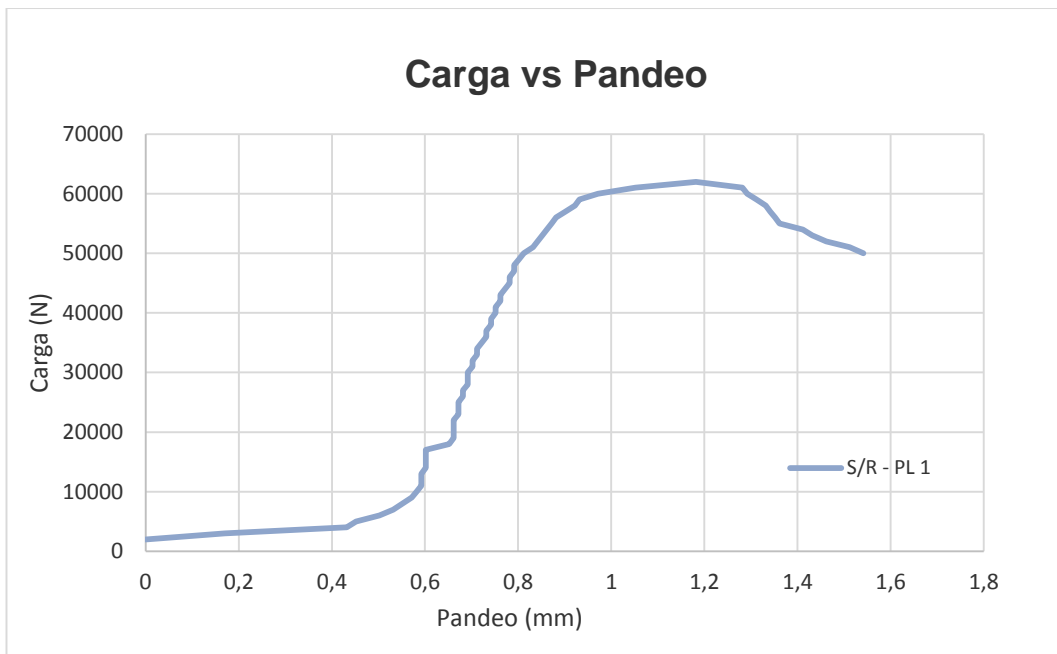
##### 3.6.1.1 S/R- PL1



*Figura 81. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL1*

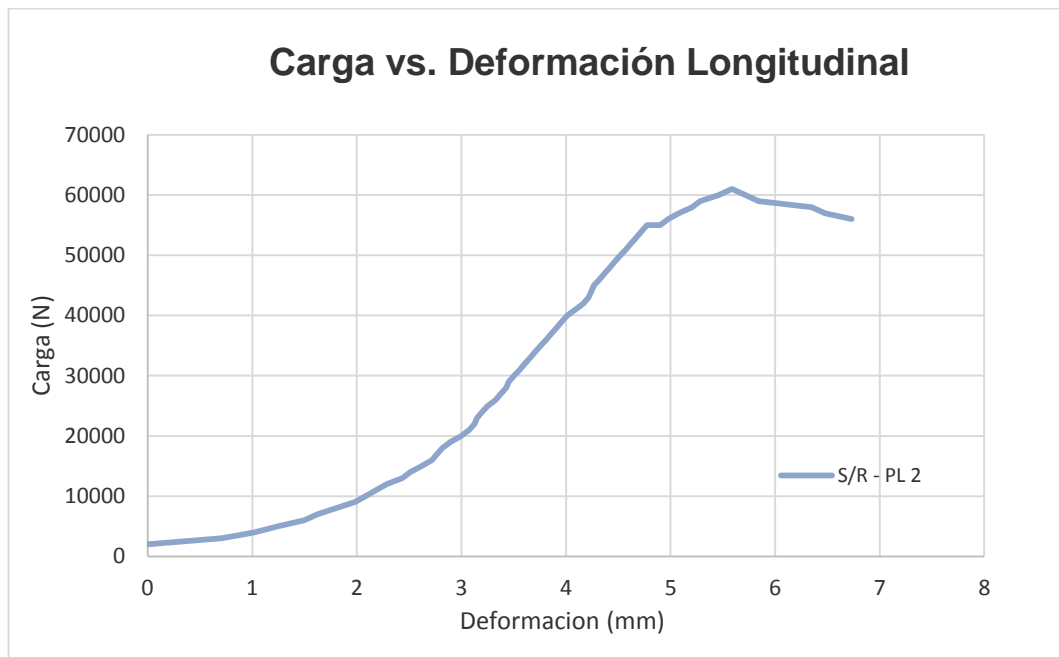


**Figura 82.** Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL1

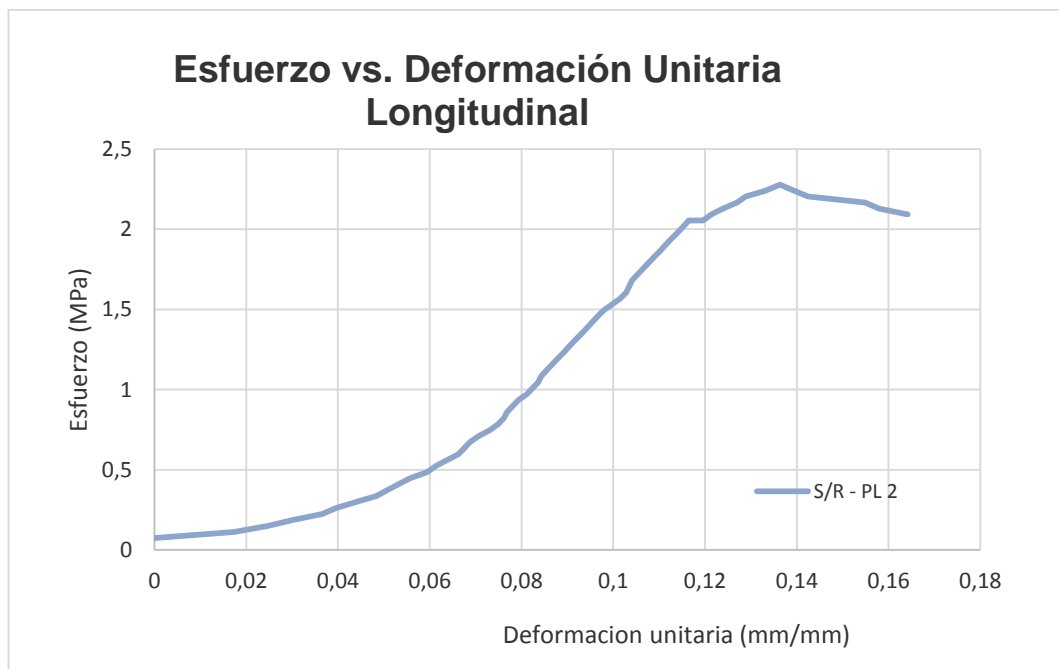


**Figura 83.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL1

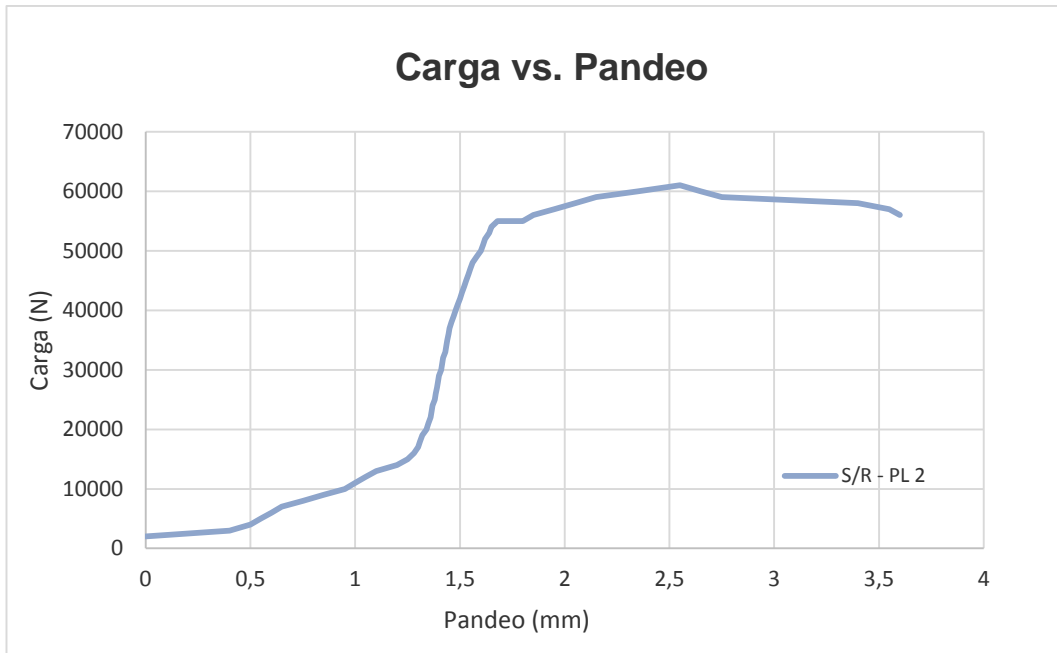
### 3.6.1.2 S/R- PL2



*Figura 84. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL2*

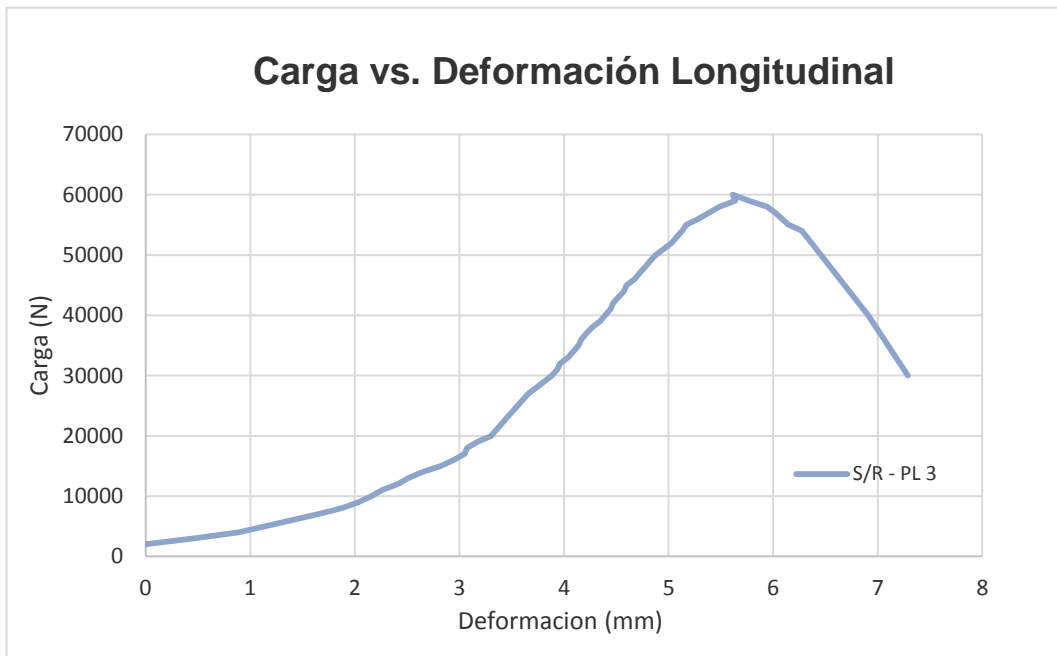


*Figura 85. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL2*

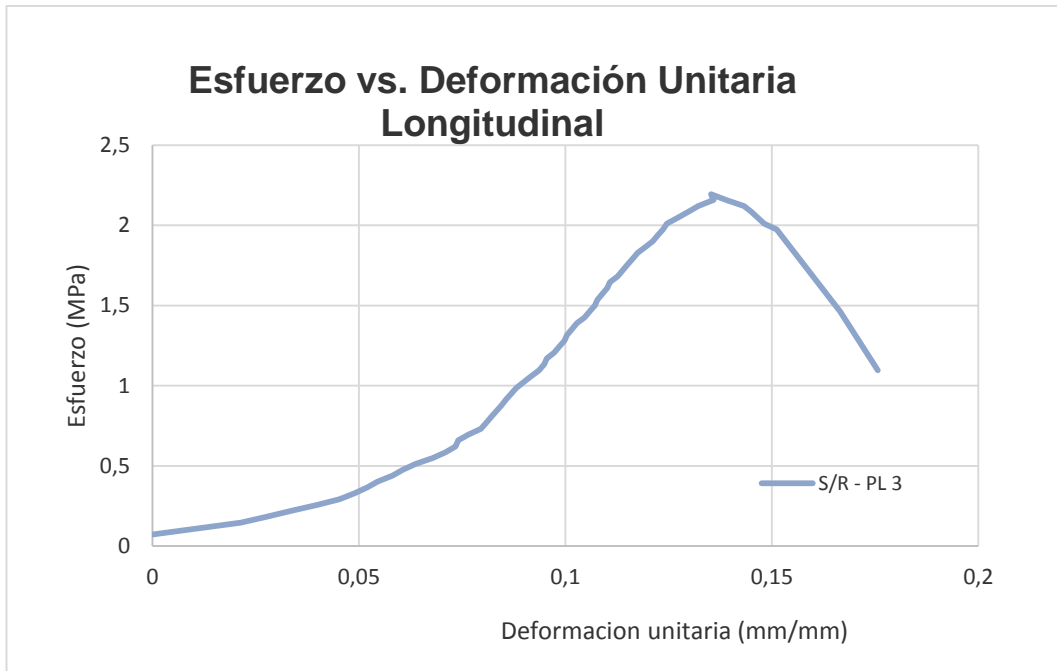


**Figura 86.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL2

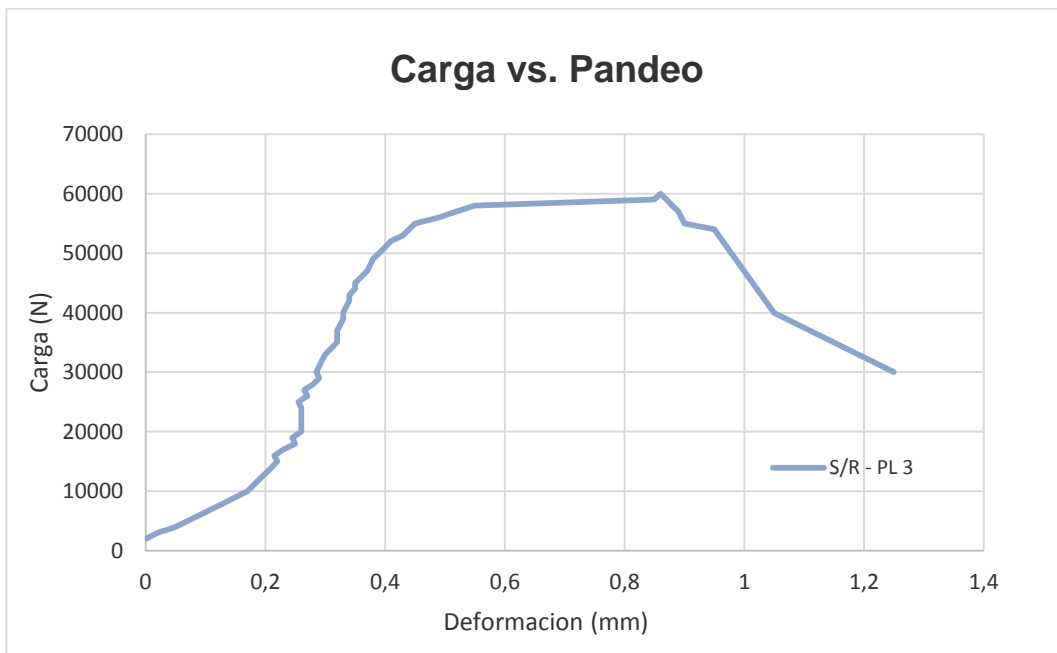
### 3.6.1.3 S/R- PL3



**Figura 87.** Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL3

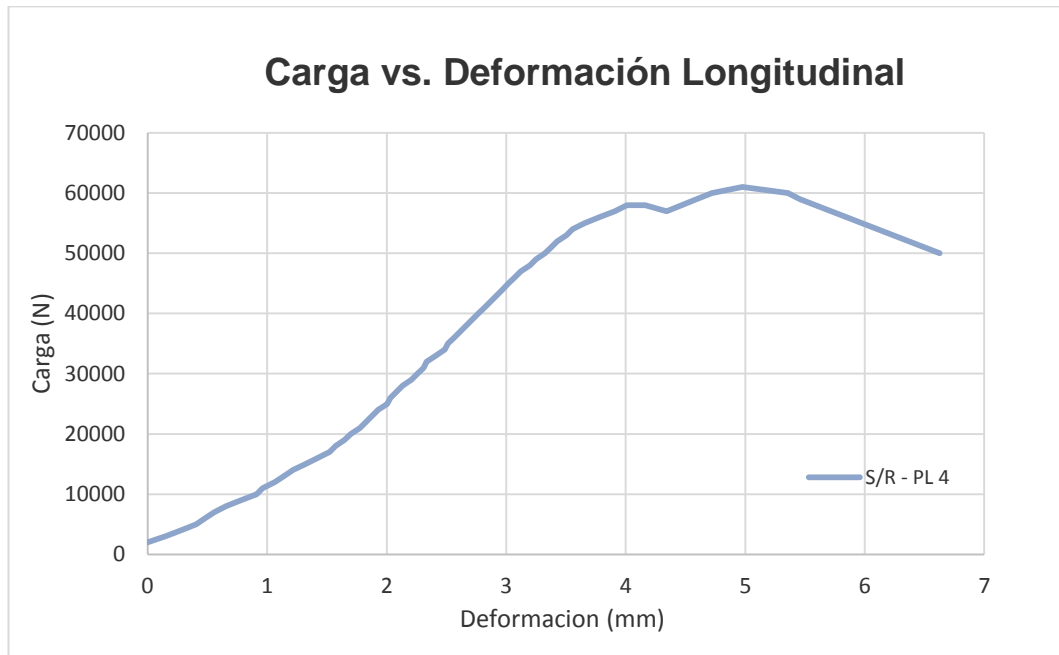


**Figura 88.** Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL3

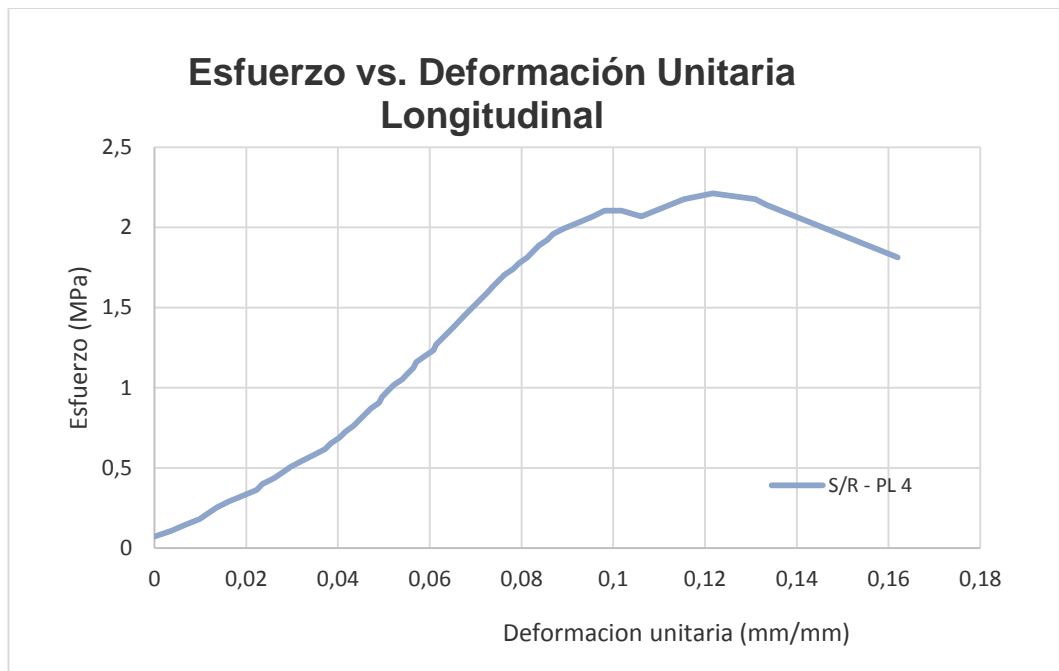


**Figura 89.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL3

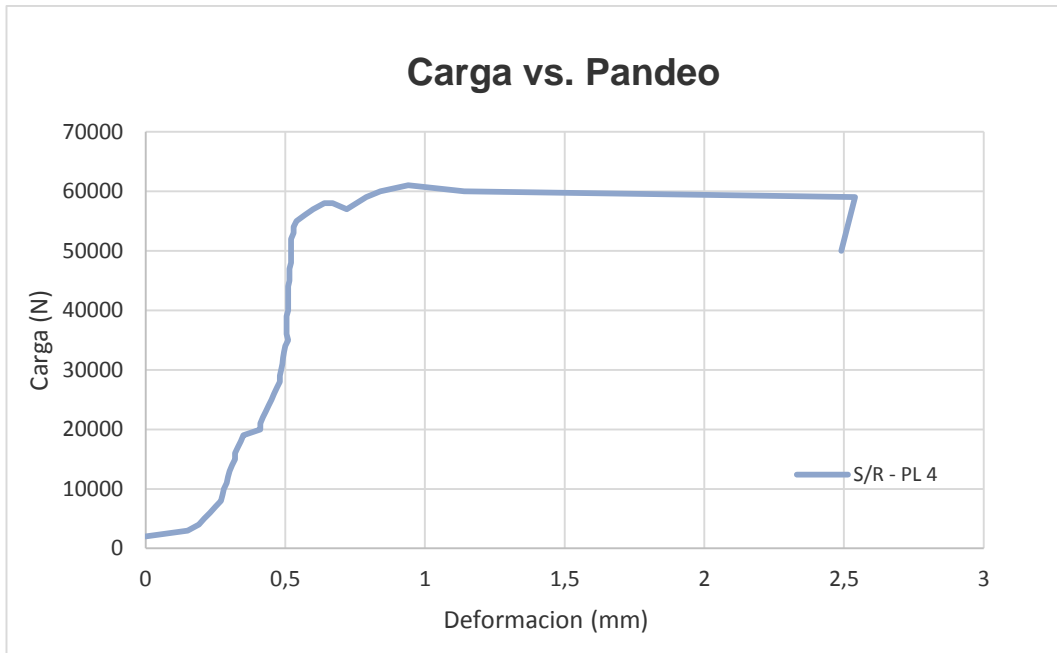
### 3.6.1.4 S/R- PL4



**Figura 90.** Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-PL4

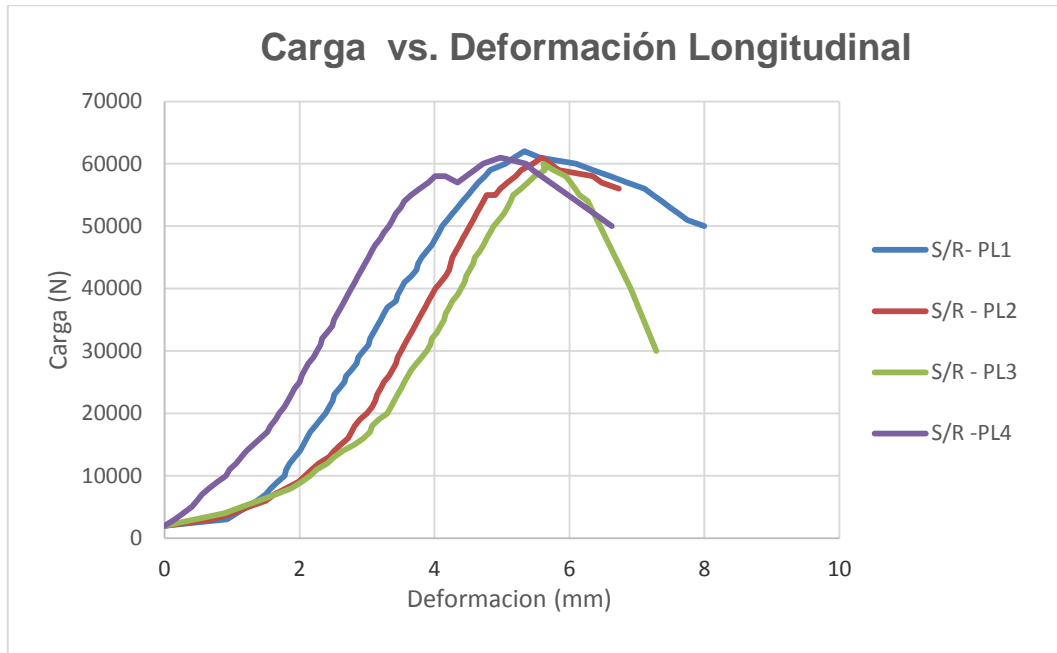


**Figura 91.** Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-PL4

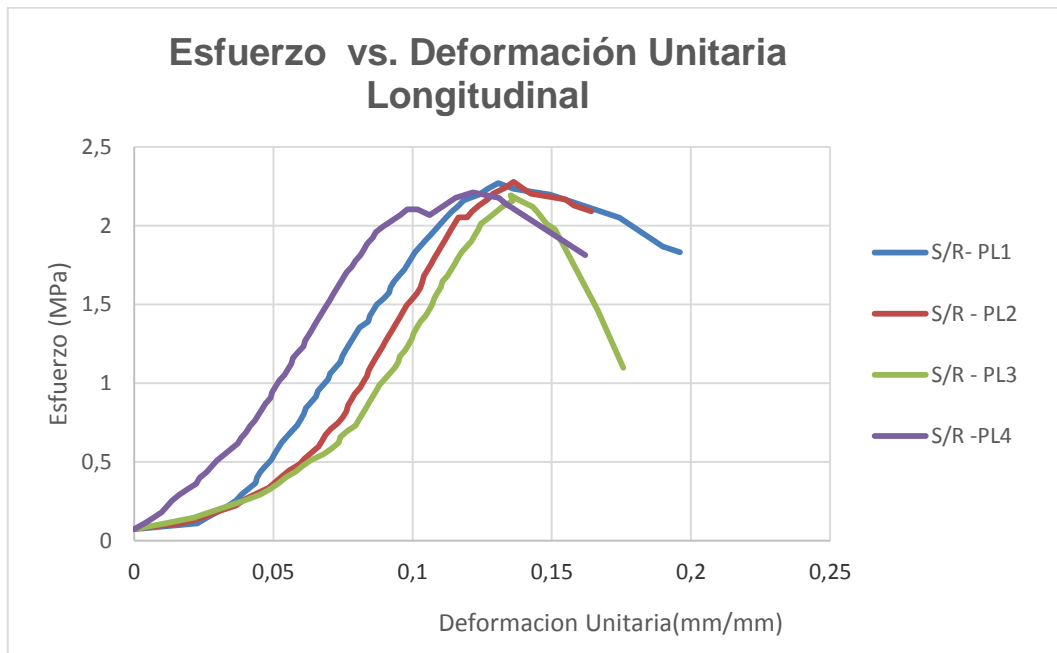


**Figura 92.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-PL4

### 3.6.1.5 Resumen de pilas sin refuerzo



*Figura 93 .Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen:S/R-PL*



*Figura 94. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: S/R-PL*

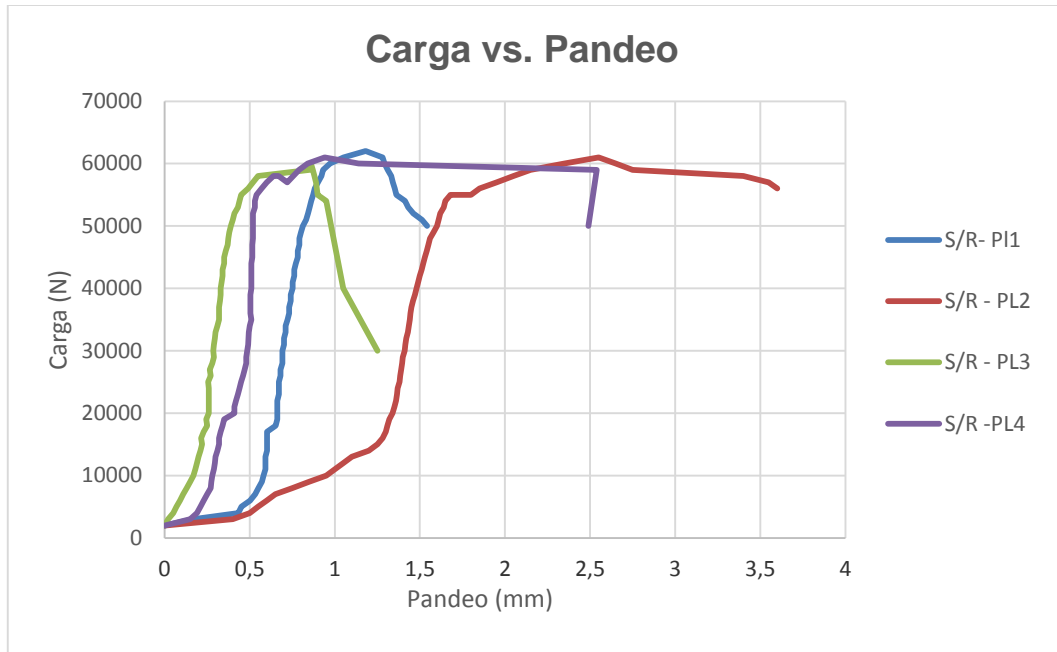


Figura 95. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: S/R-PL

Tabla 20. Resultados de ensayo de pilas sin refuerzo

Tipo	Muestra	Carga Máxima(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por compresión (mm)	Deformación por Pandeo (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Sin refuerzo	PL1	62000,000	2,270	5,334	1,542	1248,341
	PL2	61000,000	2,278	5,588	3,600	1252,801
	PL3	60000,000	2,194	5,613	1,250	1206,736
	PL4	61000,000	2,212	4,976	2,490	1216,792
<b>Media</b>		61000,000	2,238	5,378	2,220	1231,167
<b>Desviación Estándar</b>		816,497	0,042	0,296	1,061	22,851
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		1,339	1,856	5,506	47,790	1,856

### 3.6.2 Ensayo de pilas con reforzamiento

#### 3.6.2.1 C/R- PL1

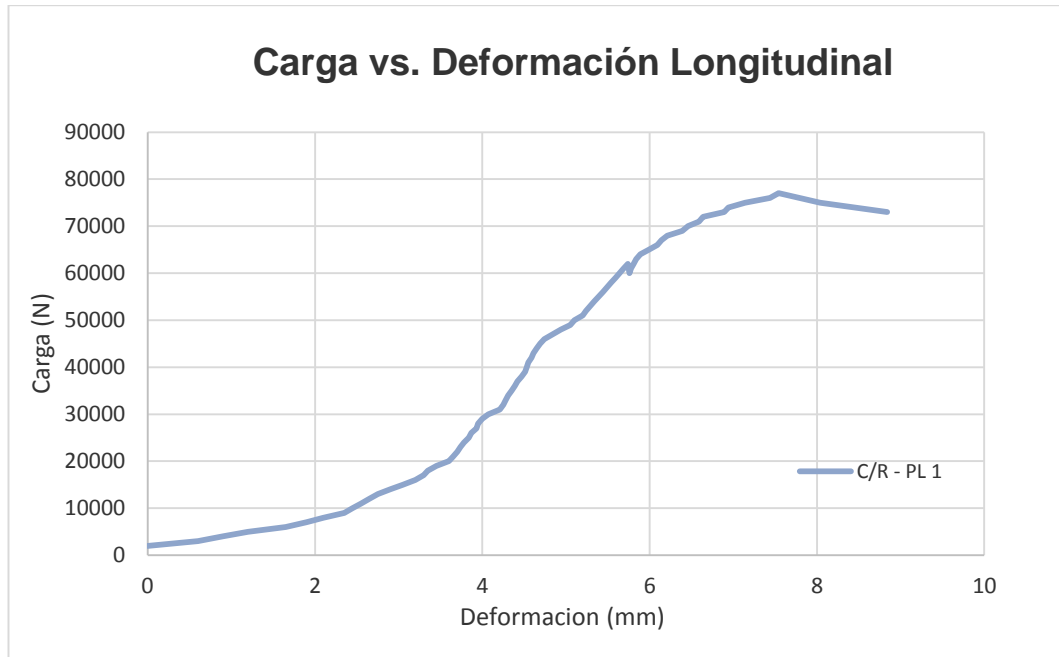


Figura 96. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL1

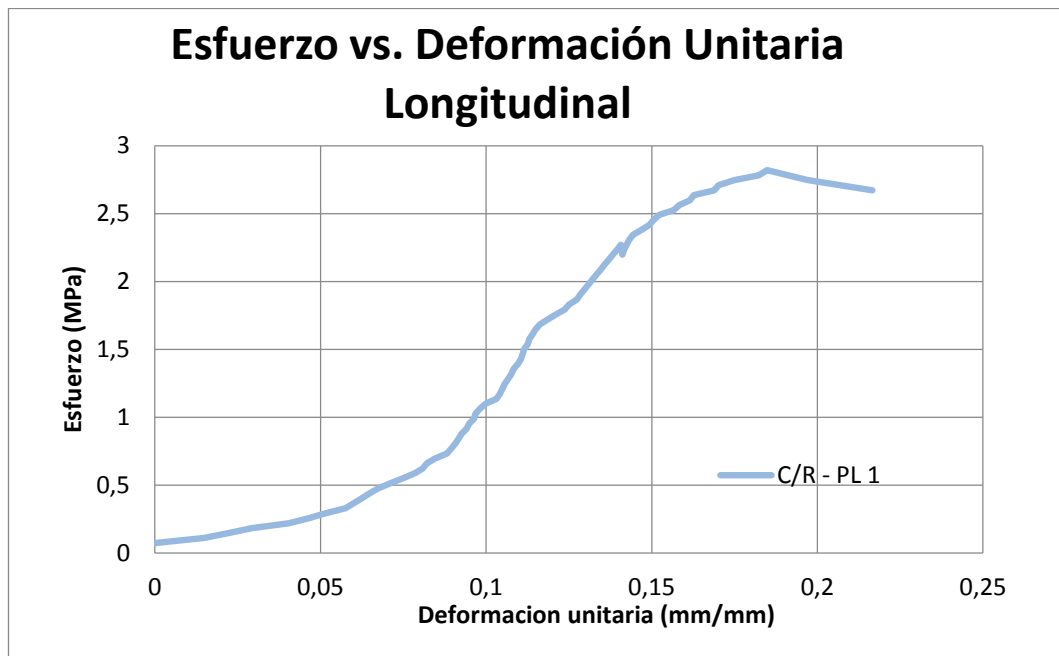
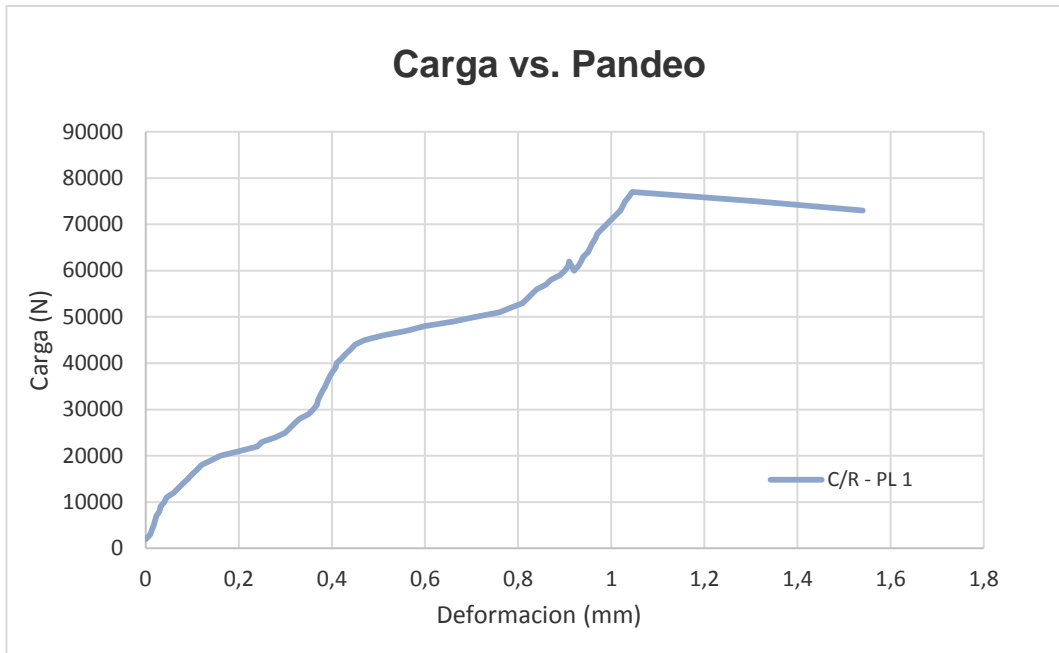


Figura 97. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL1



**Figura 98.** Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL1

### 3.6.2.2 C/R- PL2

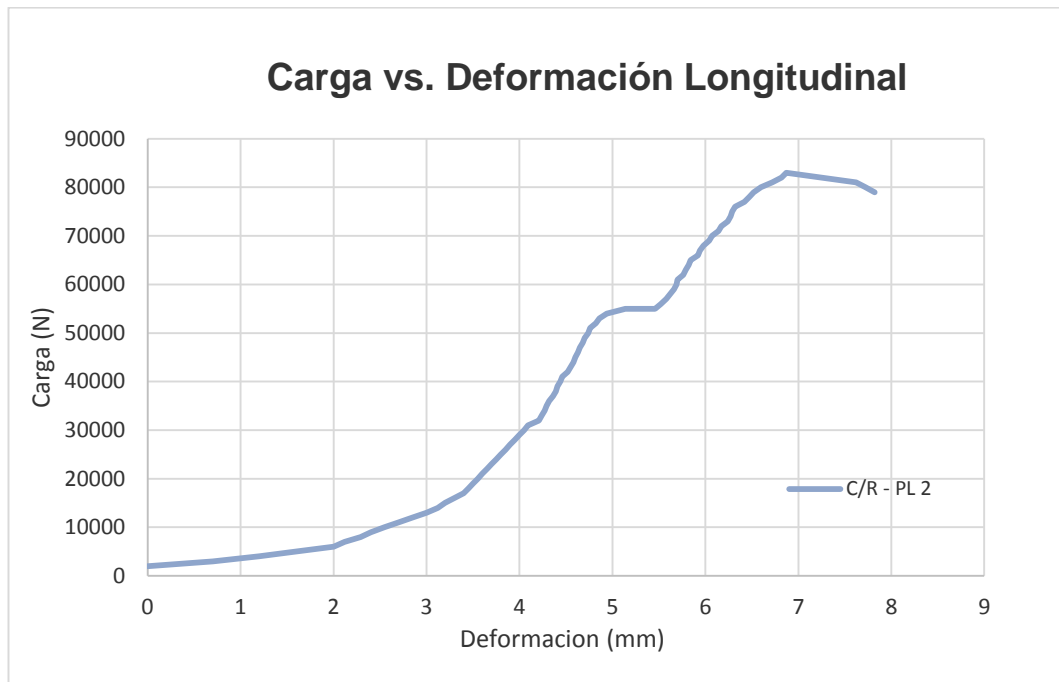


Figura 99. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL2

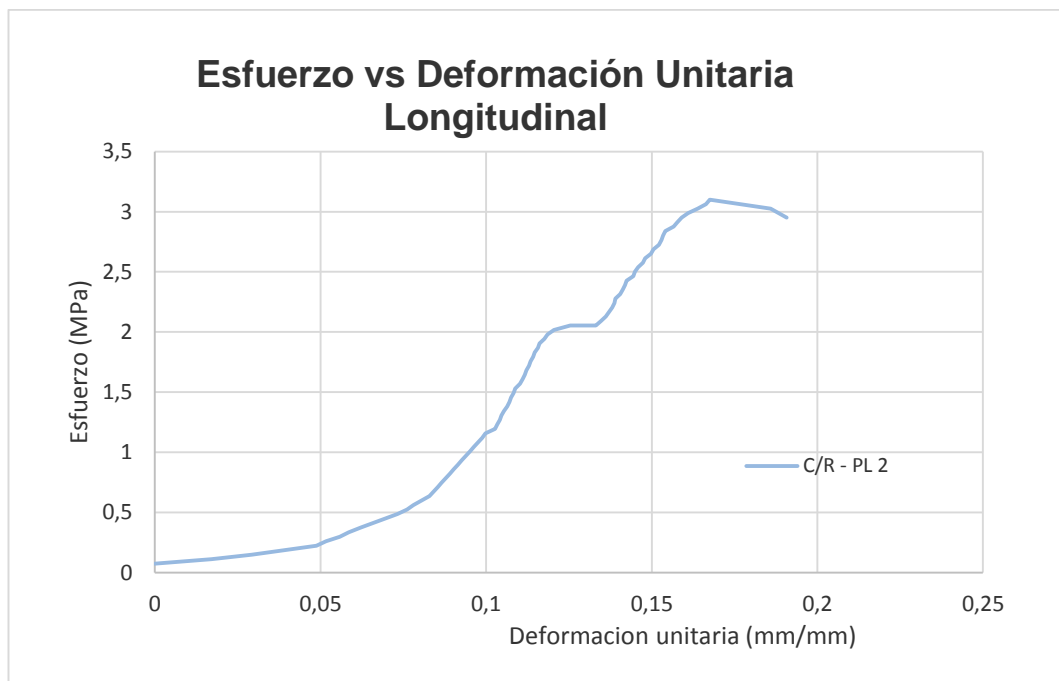


Figura 100. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL2



*Figura 101. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL2*

### 3.6.2.3 C/R- PL3

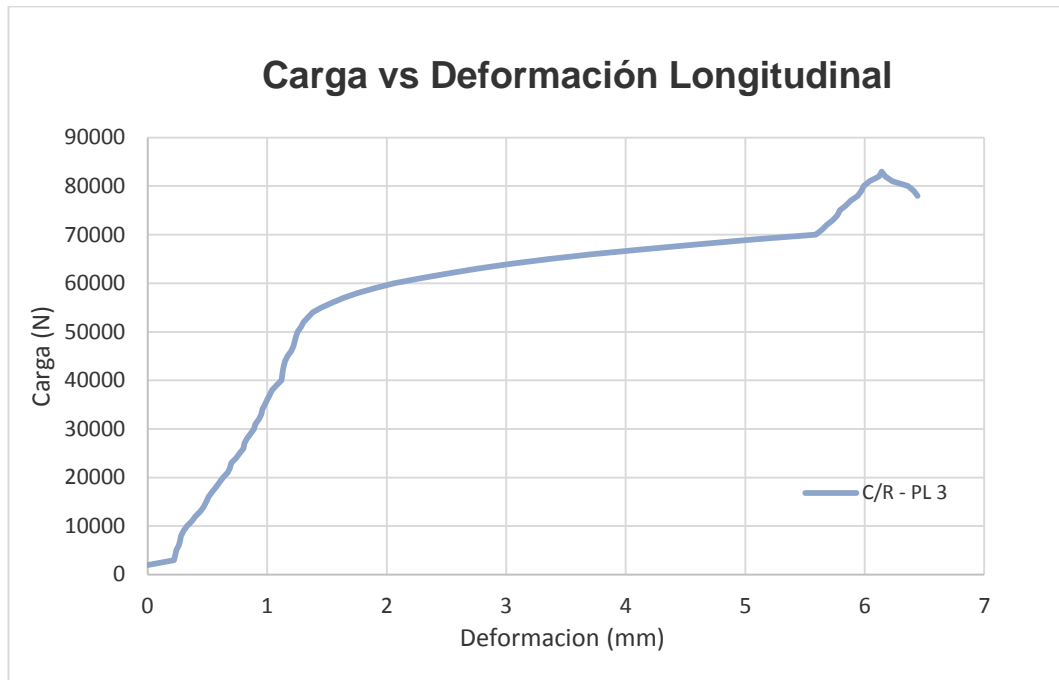


Figura 102. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL2

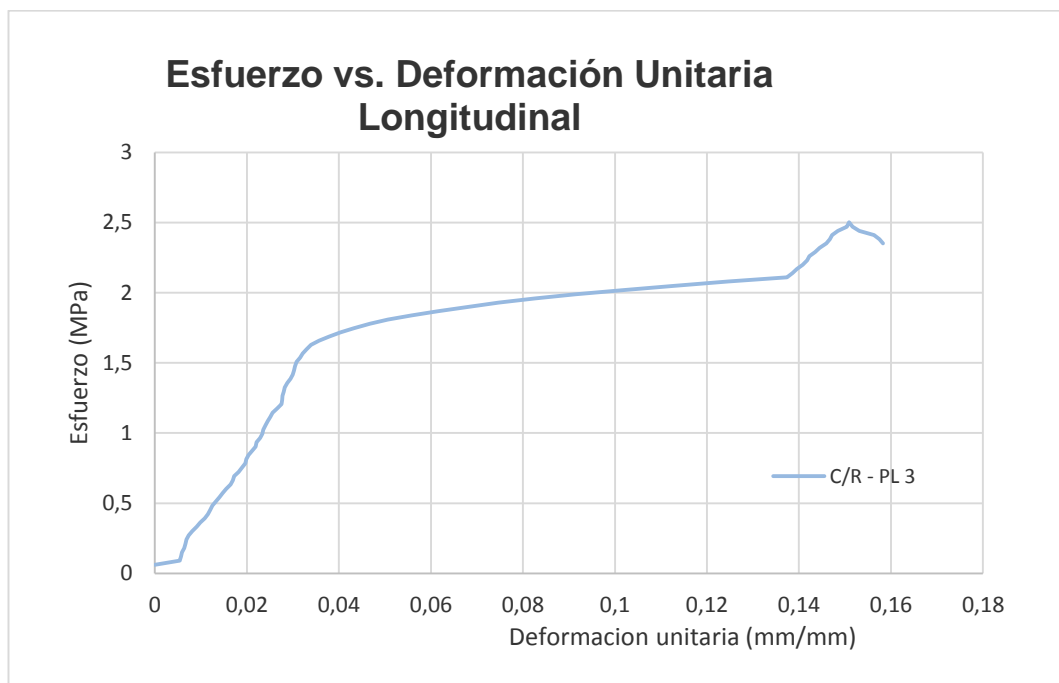
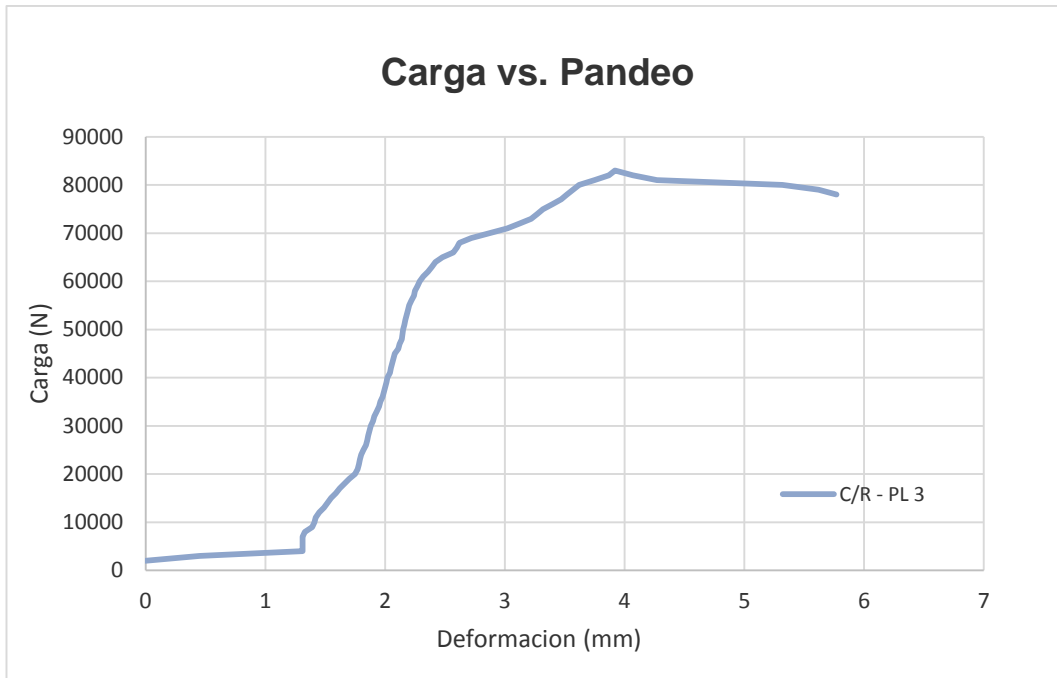
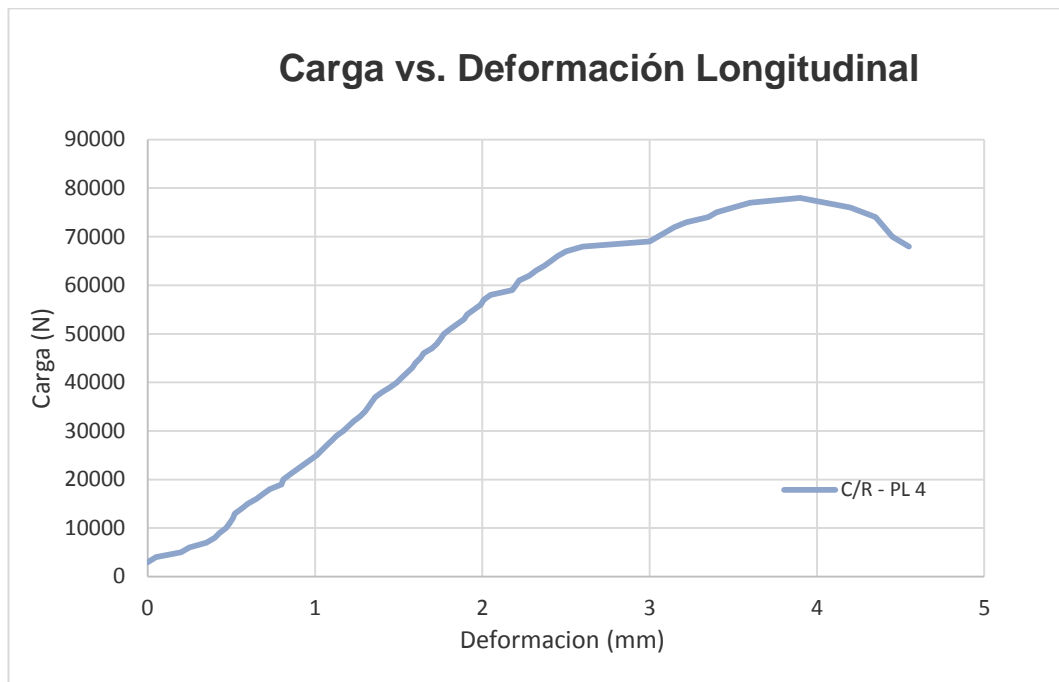


Figura 103. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL3

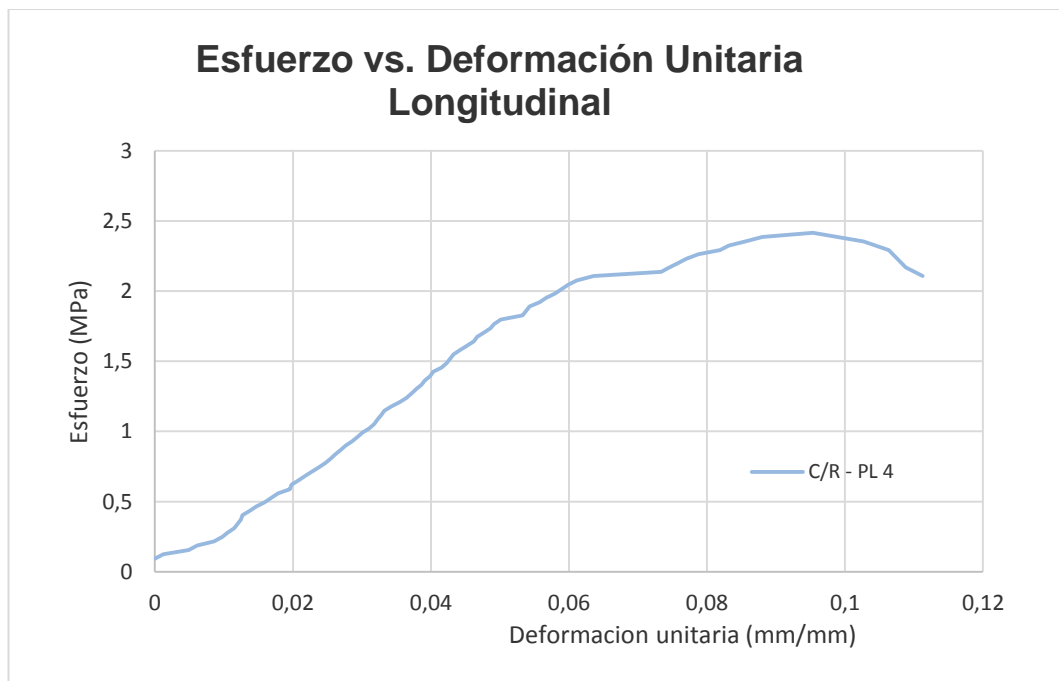


**Figura 104.** *Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL3*

### 3.6.2.4 C/R- PL4



*Figura 105. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-PL4*



*Figura 106. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria CR-PL4*



*Figura 107. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-PL4*

### 3.6.2.5 Resumen de pilas con refuerzo

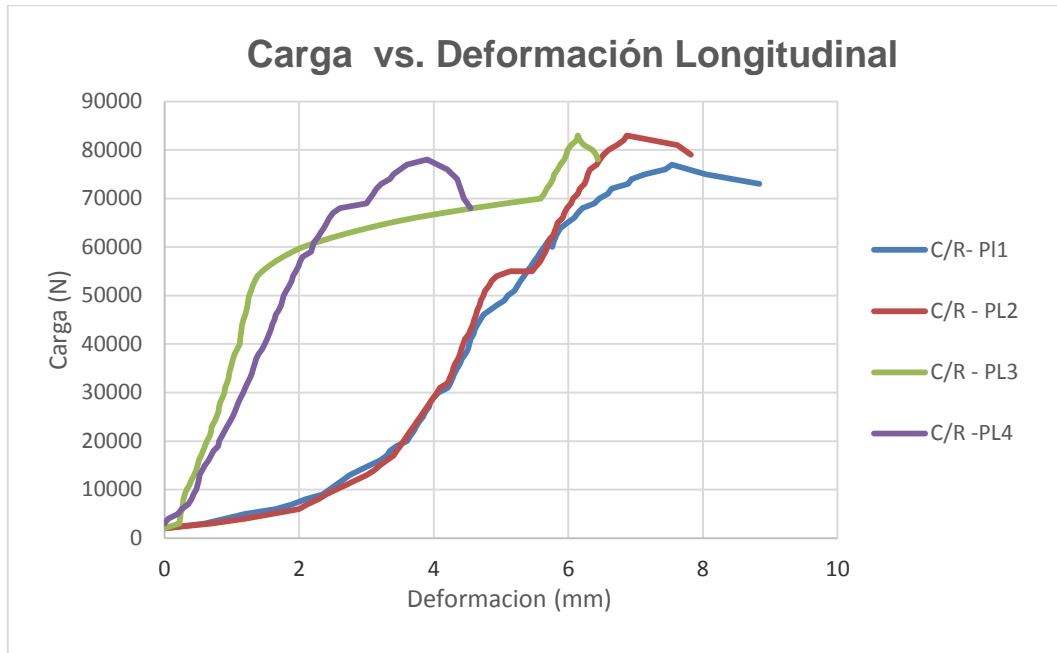


Figura 108. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: C/R-PL

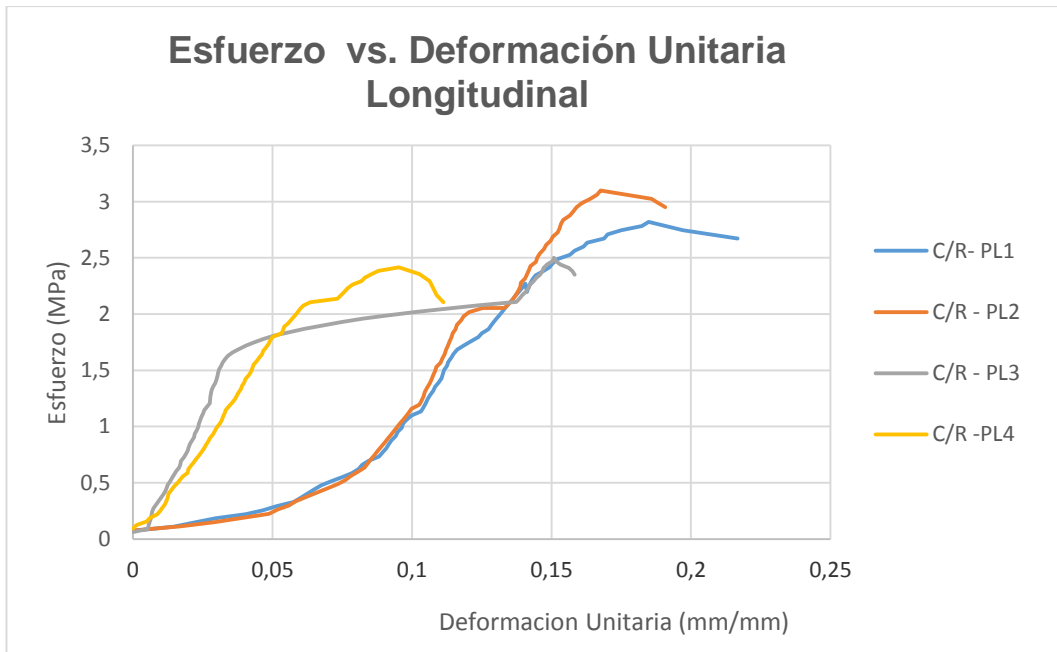
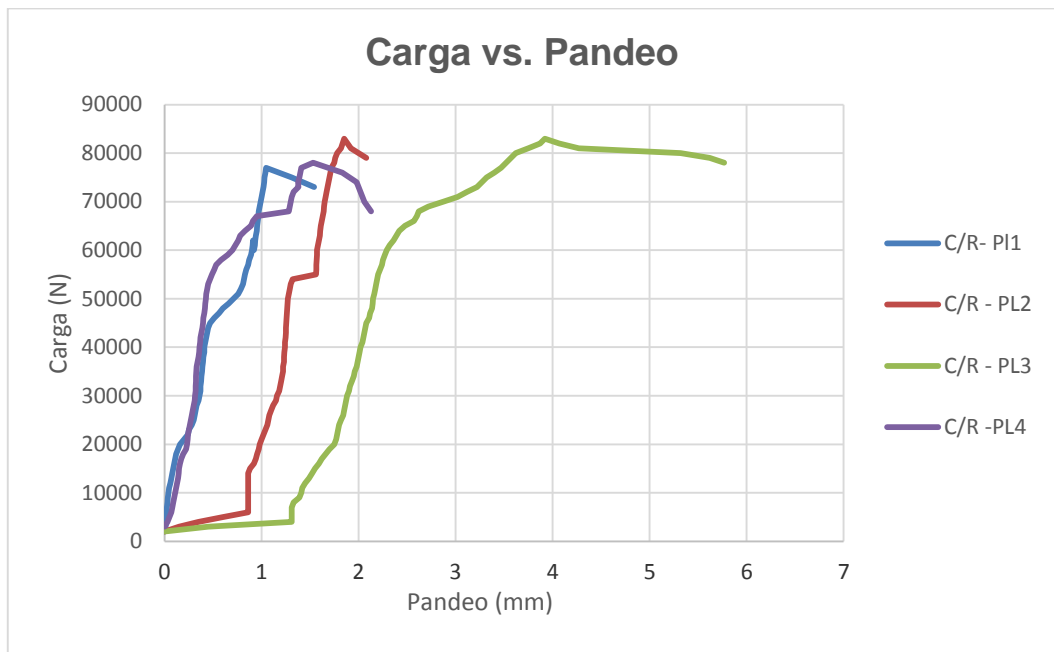


Figura 109. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: CR-PL



**Figura 110.** Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: C/R-PL

**Tabla 21.** Resultados de ensayo de pilas con refuerzo

Tipo	Muestra	Carga(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por compresión (mm)	Deformación por Pandeo (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Con refuerzo	PL1	77000	2,819	7,540	1,540	1343,805
	PL2	83000	3,099	6,870	2,080	1443,478
	PL3	83000	2,501	6,141	5,770	1279,159
	PL4	78000	2,292	3,900	2,130	1173,587
<b>Media</b>		80250,000	2,678	6,113	2,880	1472,838
<b>Desviación Estándar</b>		3201,562	0,355	1,582	1,945	195,064
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		3,989	13,244	25,879	67,538	13,244

### 3.6.2.6 Comparación de Pilas sin Refuerzo y Pilas con Refuerzo.

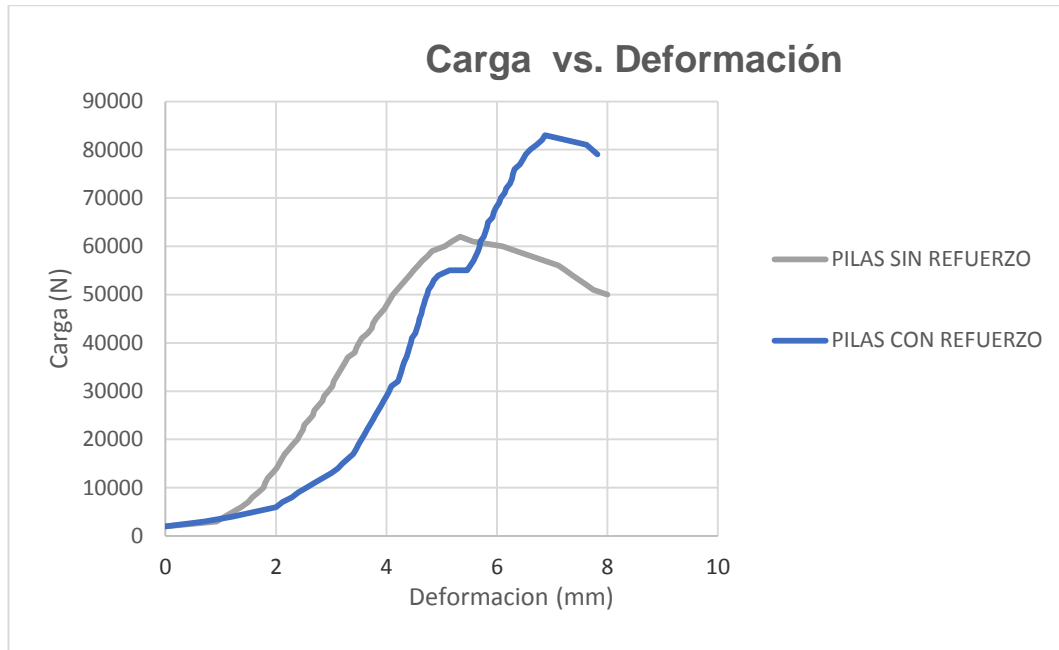


Figura 111. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Pilas S/R y C/R

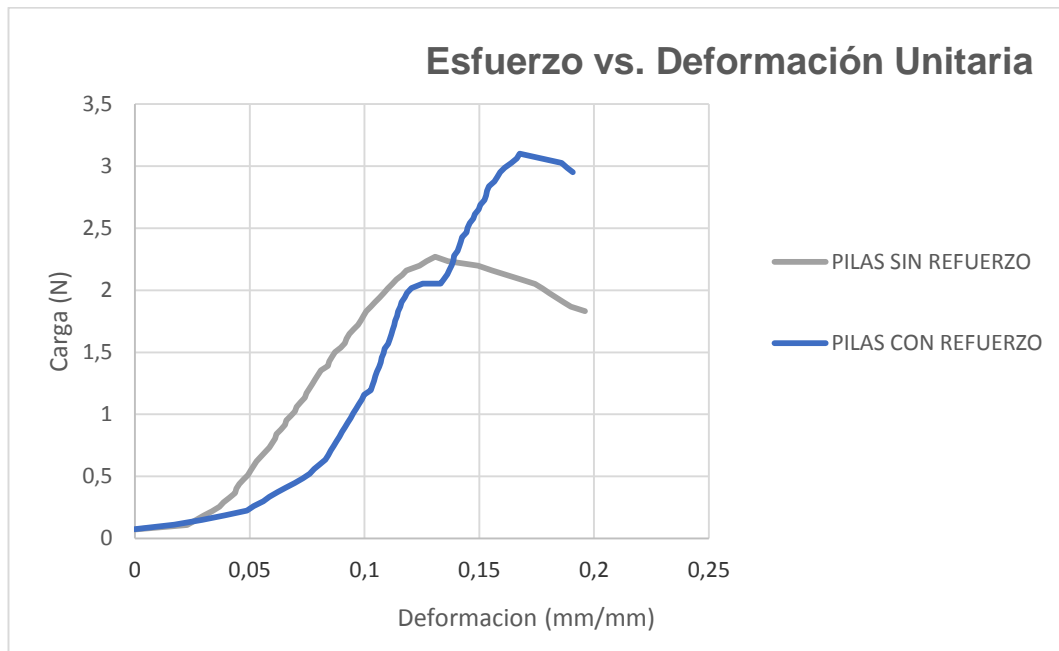


Figura 112. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de Pilas S/R y C/R



**Figura 113.** Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Pilas S/R y C/R

### 3.6.3 Ensayo de corte sin refuerzo

#### 3.6.3.1 Ensayo de corte $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral de 0 MPa)

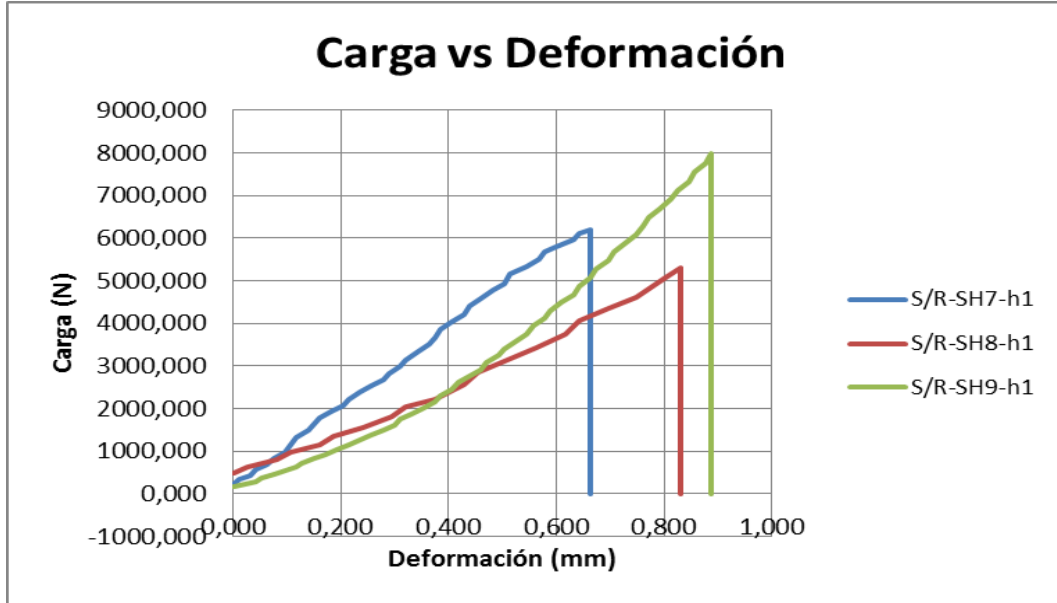


Figura 114. Diagrama Carga vs. Deformación S/R.  $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral=0MPa)

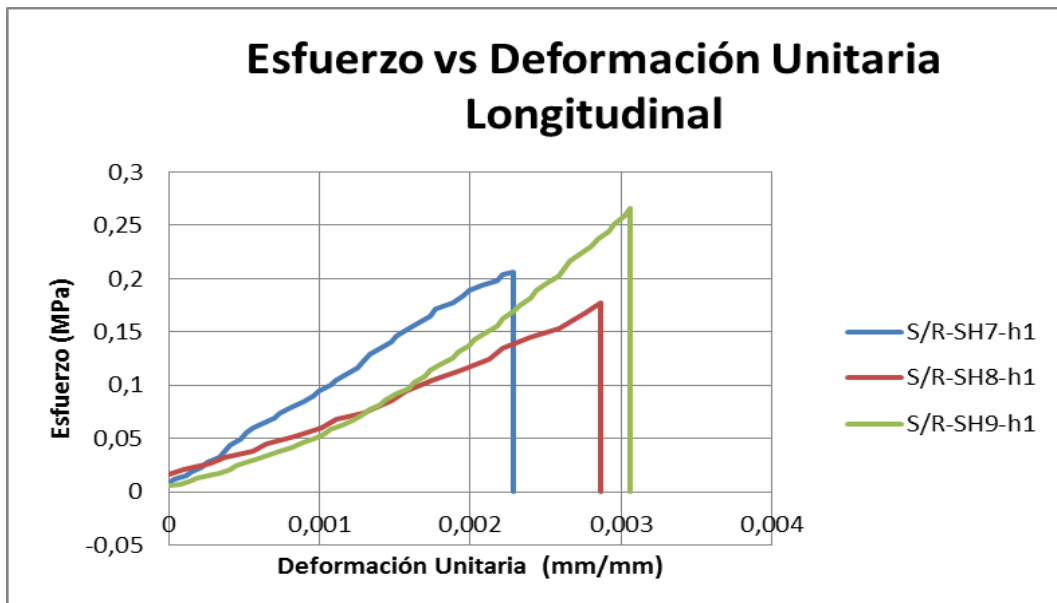


Figura 115. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R.  $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral=0MPa)

### 3.6.3.2 Ensayo de corte $h_2=152$ cm (pre-compresión lateral de 0,33 MPa)

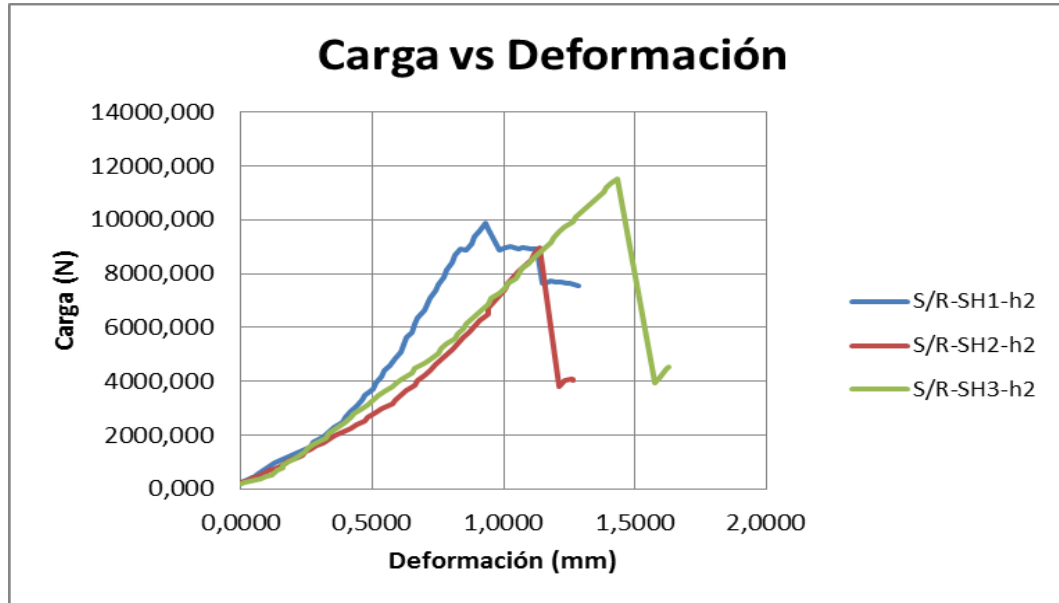


Figura 116. Diagrama Carga vs. Deformación  $h_2=152$ cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)

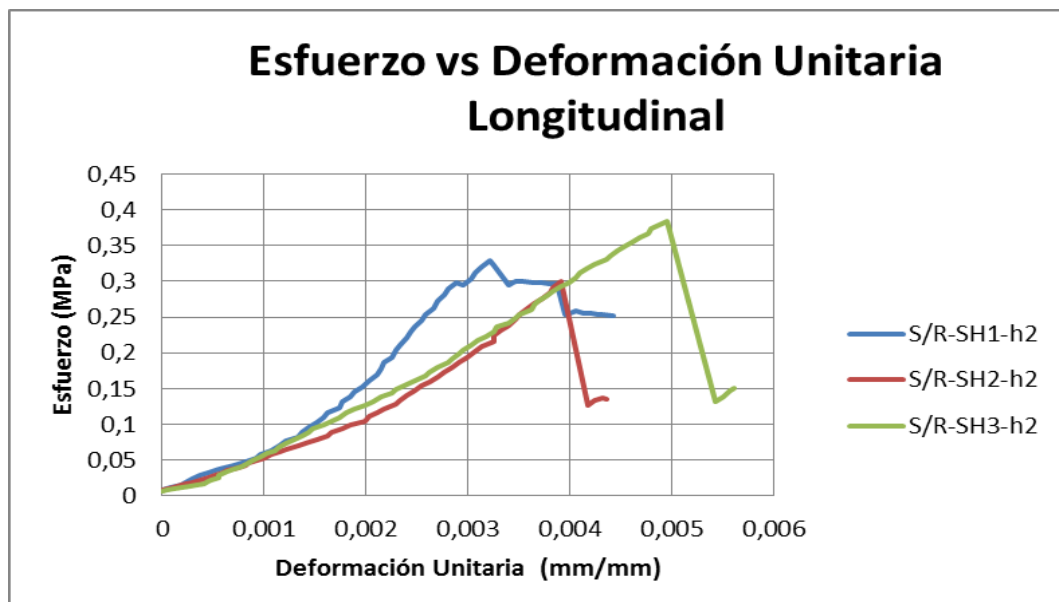
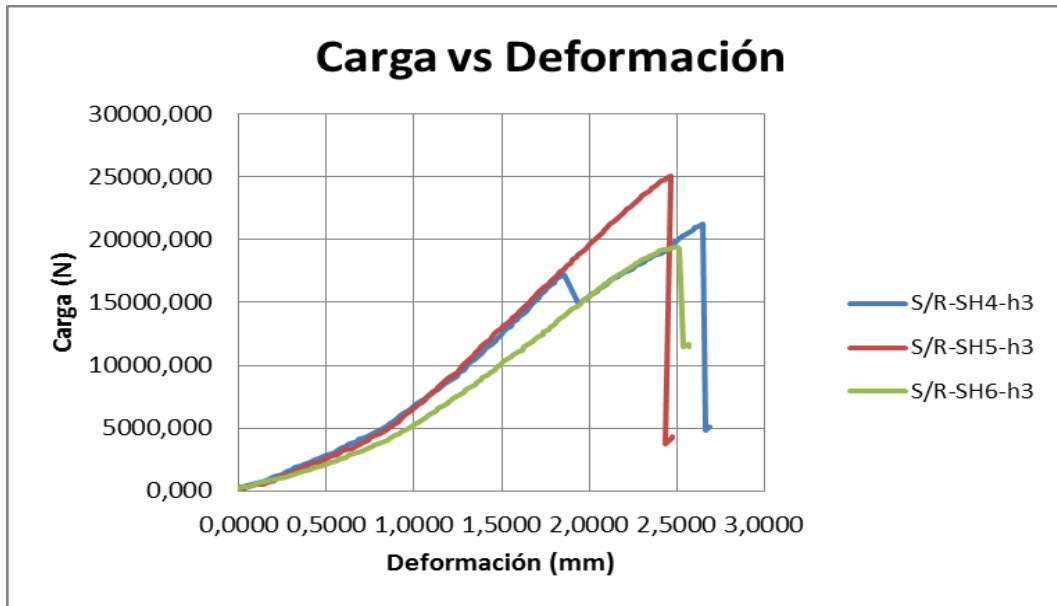
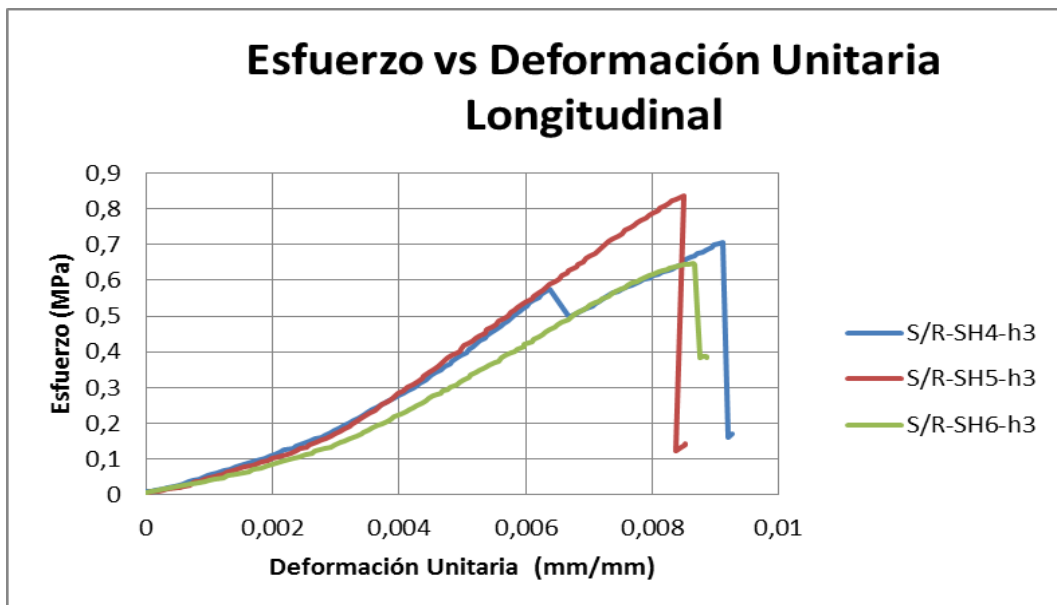


Figura 117. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R.  $h_2=152$ cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)

**3.6.3.3 Ensayo de corte h3=304 cm (pre-compresión lateral de 0,55 MPa)**



*Figura 118. Diagrama Carga vs. Deformación h3=304 cm (pre-compresión lateral=0,55MPa)*



*Figura 119. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R. h3=304cm (pre-compresión lateral=0,55MPa)*

### 3.6.3.4 Resumen de corte sin refuerzo

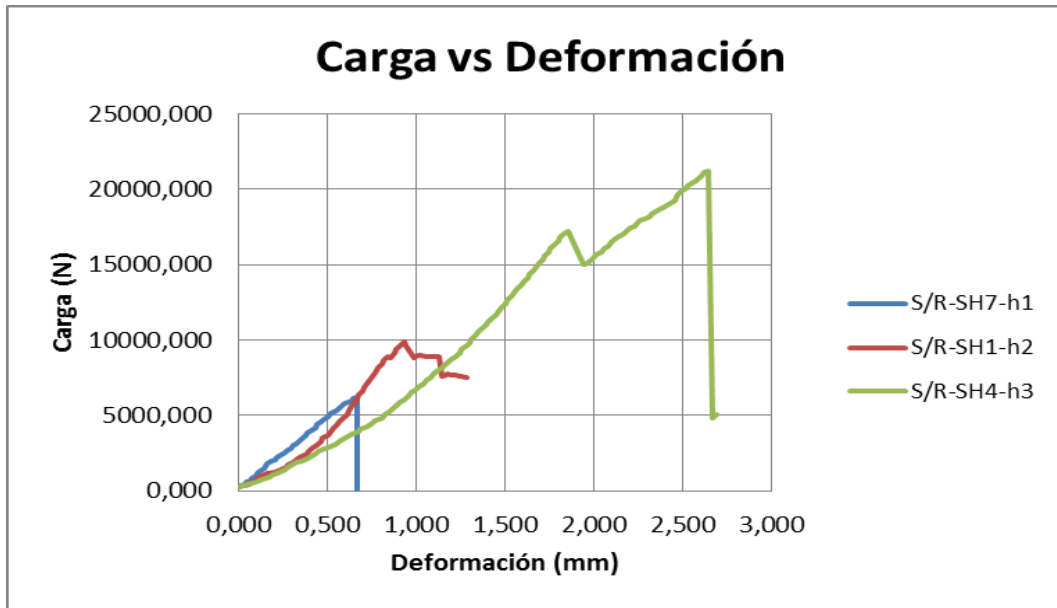


Figura 120. Diagrama Carga vs. Deformación Resumen S/R

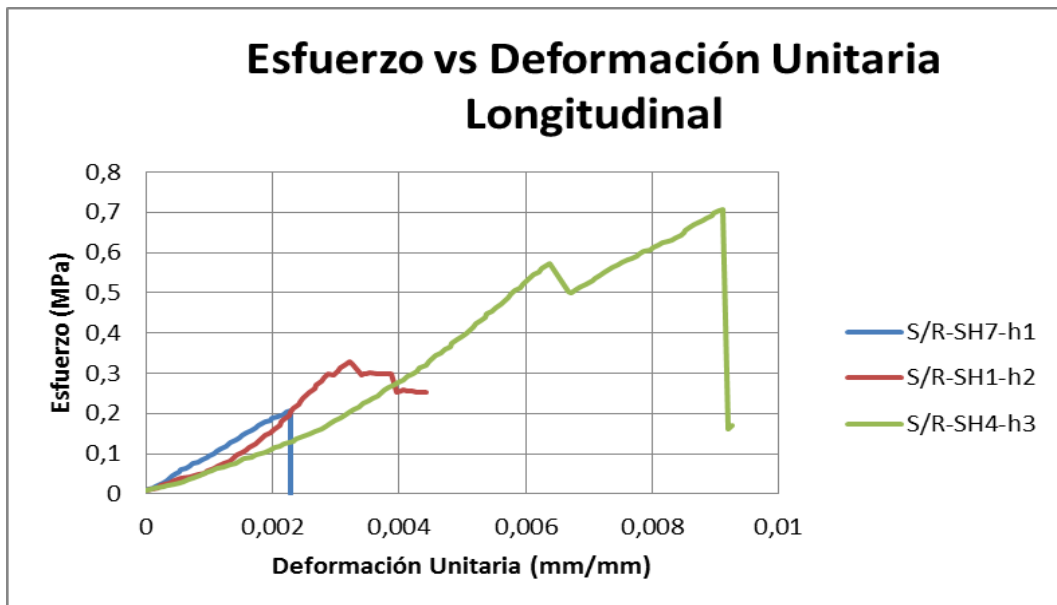


Figura 121. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen S/R.

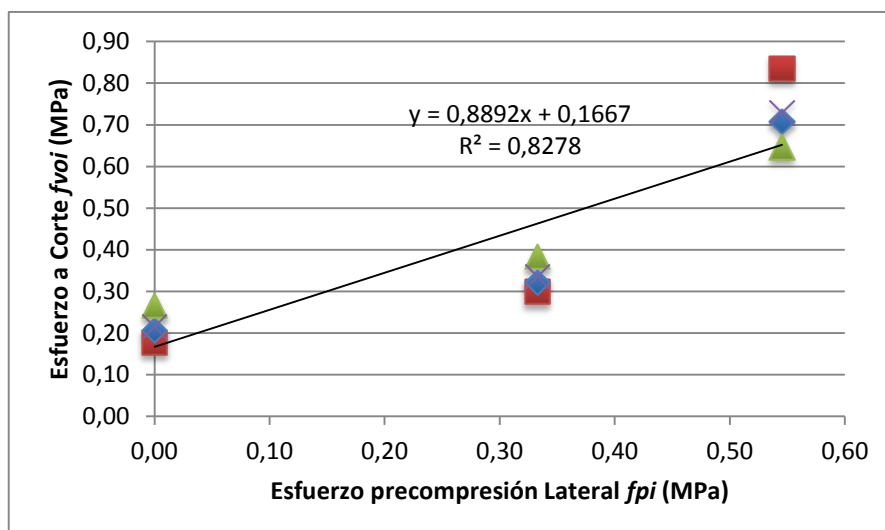


Figura 122. Regresión Lineal de los puntos experimentales S/R

Tabla 22. Resultados de ensayo de corte a probetas sin refuerzo

Pre compresión Lateral (MPa)	Corte	Carga Máxima (N)	Deformación Max (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación Unitaria Max (mm/mm)
0	SH7	6201,333	0,664	0,207	0,002
	SH8	5305,953	0,830	0,177	0,003
	SH9	7977,354	0,889	0,266	0,003
<b>Media</b>		6494,880	0,794	0,216	0,003
<b>Desviación Estándar</b>		1359,677	0,117	0,045	0,0004
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		20,93	14,68	20,93	14,68
0,33	SH1	9653,887	0,942	0,322	0,003
	SH2	8975,905	1,135	0,299	0,004
	SH3	11518,340	1,435	0,384	0,005
<b>Media [g/cm³]</b>		10049,377	1,171	0,335	0,004
<b>Desviación Estándar</b>		1316,550	0,248	0,044	0,001
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		13,10	21,20	13,10	21,20
0,55	SH4	21212,761	2,644	0,707	0,009
	SH5	25048,522	2,462	0,835	0,008
	SH6	19396,207	2,570	0,647	0,009
<b>Media</b>		21885,830	2,559	0,730	0,009
<b>Desviación Estándar</b>		2885,642	0,091	0,096	0,0003
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		13,18	3,57	13,18	3,75

### 3.6.4 Ensayo de corte con refuerzo

#### 3.6.4.1 Ensayo de corte $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral de 0 MPa)

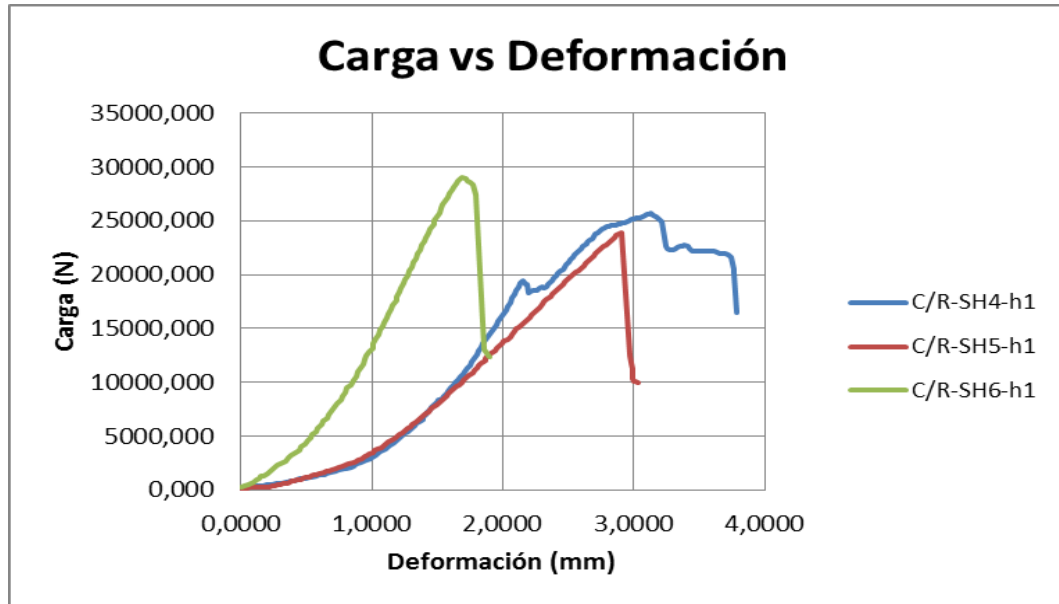


Figura 123. Diagrama Carga vs. Deformación C/R  $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral=0MPa)

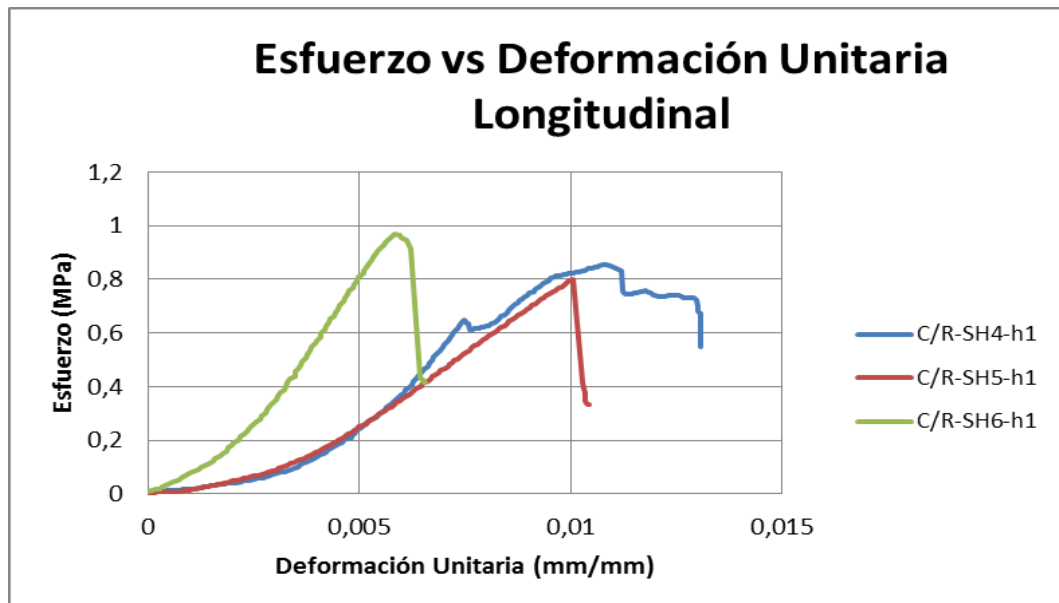


Figura 124. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R.  $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral=0MPa)

### 3.6.4.2 Ensayo de corte h2=152 cm (pre-compresión lateral de 0,33 MPa)

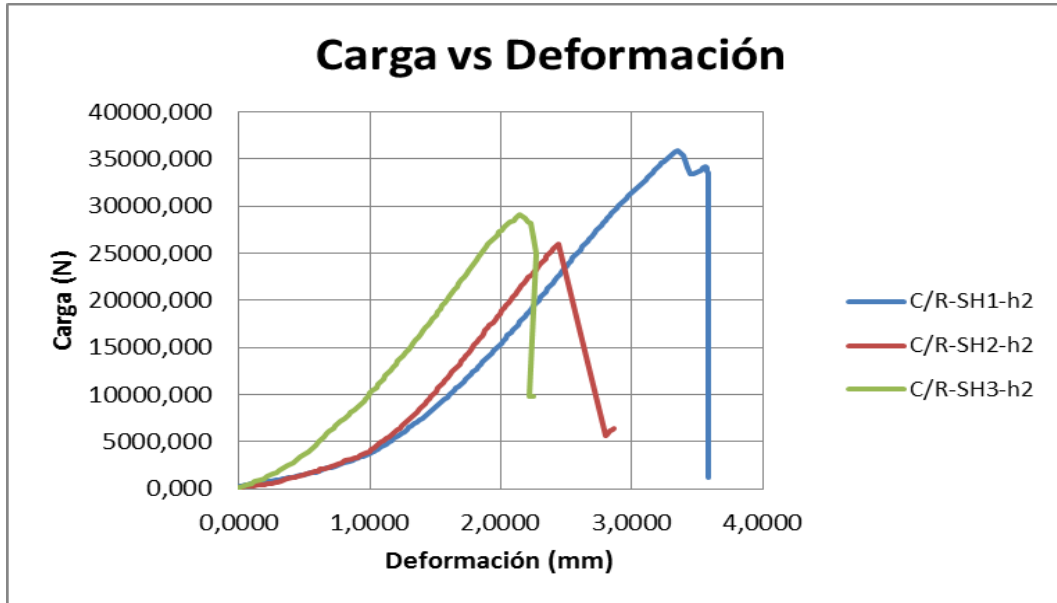


Figura 125. Diagrama Carga vs. Deformación C/R h2=152cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)

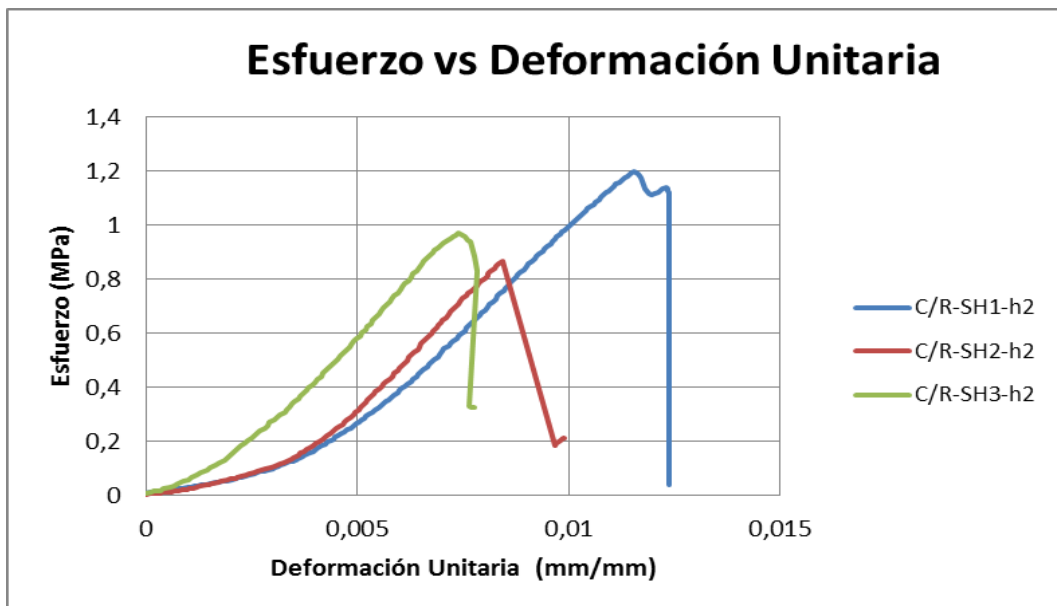
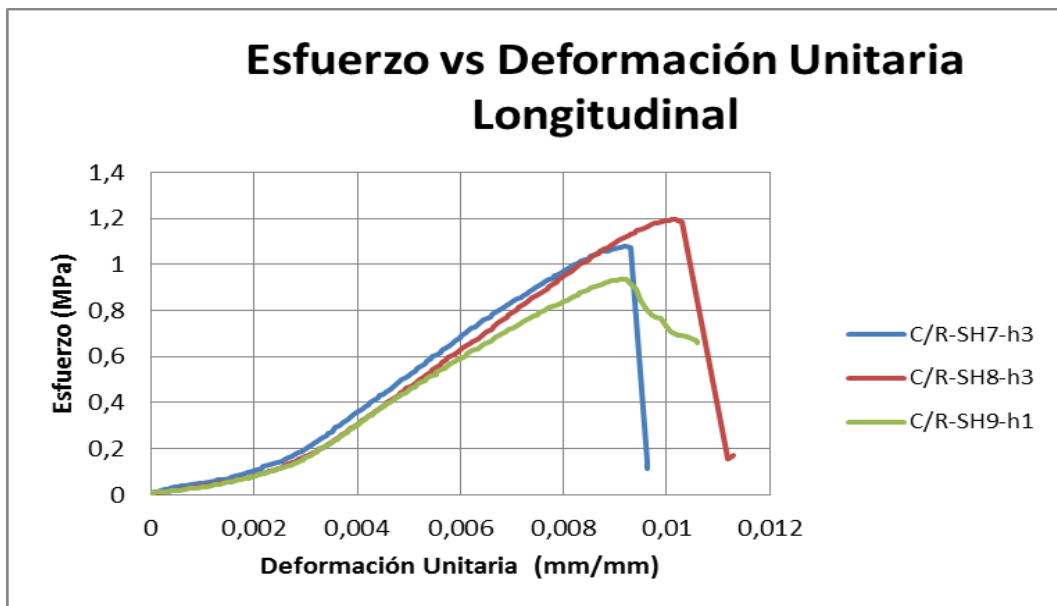


Figura 126. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R h2=152cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)

**3.6.4.3 Ensayo de corte h3=304 cm (pre-compresión lateral de 0,55 MPa)**



*Figura 127. Diagrama Carga vs. Deformación C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0,55MPa)*



*Figura 128. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0,55MPa)*

### 3.6.4.4 Resumen de corte con refuerzo

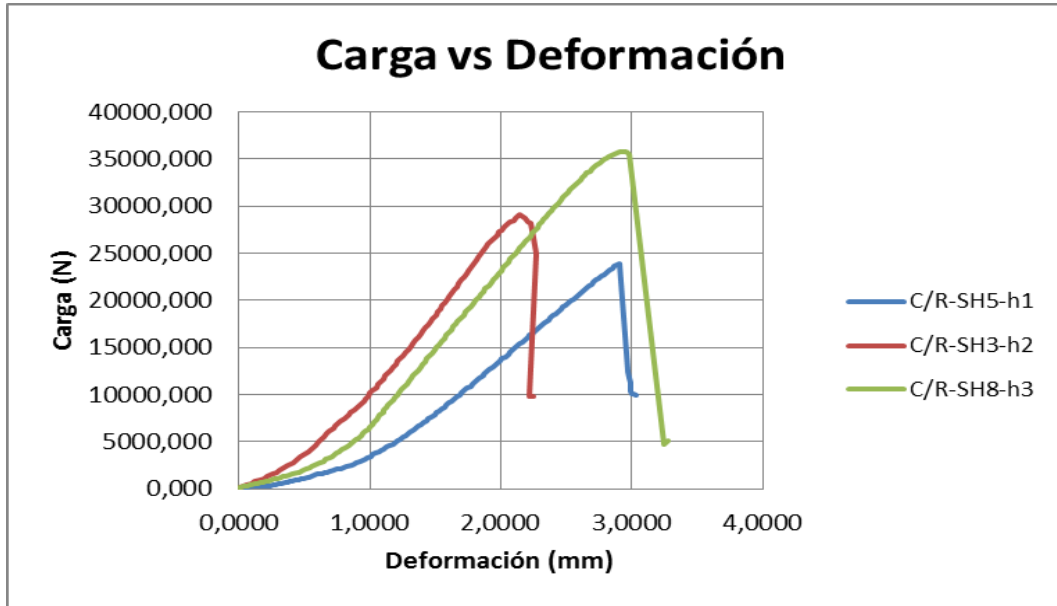


Figura 129. Diagrama Carga vs. Deformación Resumen C/R

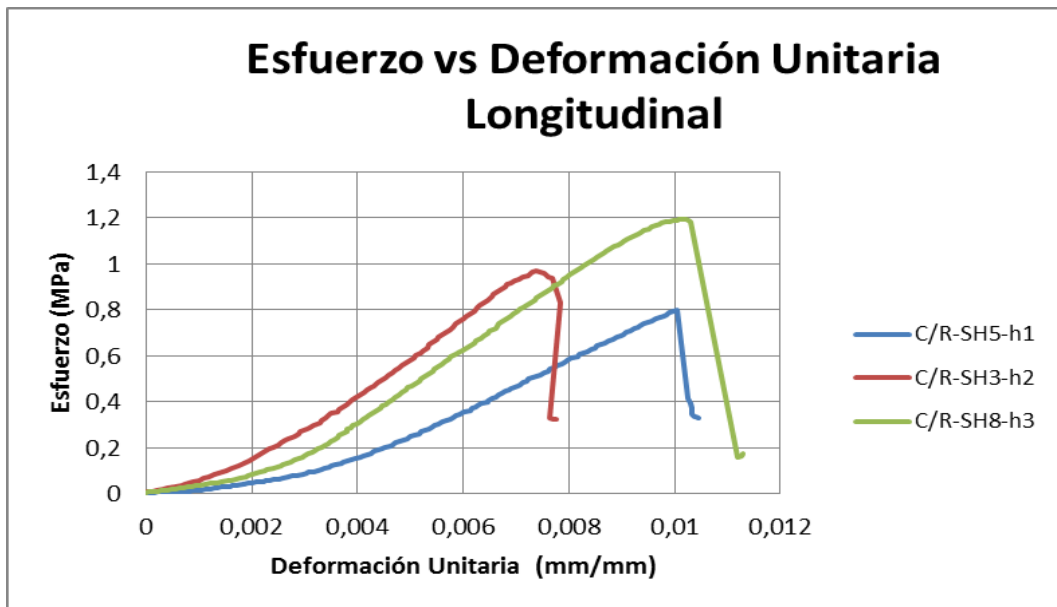


Figura 130. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: C/R

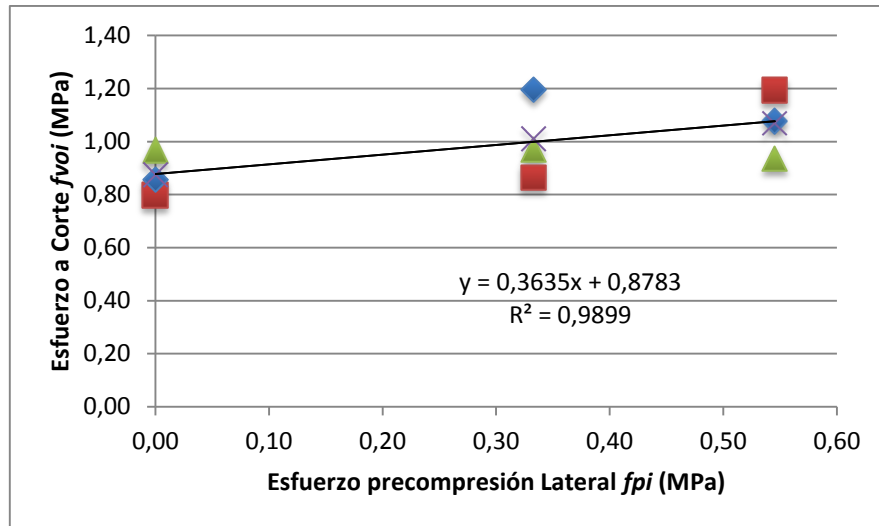


Figura 131. Regresión Lineal de los puntos experimentales C/R

Tabla 23. Resultados de ensayo de pilas con refuerzo

Pre compresión Lateral (MPa)	Corte	Carga Máxima (N)	Deformación Max (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación Unitaria Max (mm/mm)
0,00	SH4	25663,865	3,126	0,855	0,011
	SH5	23939,431	2,912	0,798	0,010
	SH6	29039,042	1,692	0,968	0,006
<b>Media</b>		26214,113	2,577	0,874	0,009
<b>Desviación Estándar</b>		2593,952	0,774	0,086	0,003
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		9,90	30,04	9,90	30,04
0,33	SH1	35925,728	3,351	1,198	0,012
	SH2	25943,902	2,441	0,865	0,008
	SH3	29101,681	2,141	0,970	0,007
<b>Media</b>		30323,770	2,644	1,011	0,009
<b>Desviación Estándar</b>		5101,896	0,630	0,170	0,002
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		16,82	23,82	16,82	23,82
0,55	SH7	32329,469	2,677	1,078	0,009
	SH8	35800,448	2,955	1,193	0,010
	SH9	28121,553	2,677	0,937	0,009
<b>Media</b>		32083,824	2,769	1,069	0,010
<b>Desviación Estándar</b>		3845,336	0,161	0,128	0,001
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		11,99	5,80	11,99	5,80

### 3.6.4.5 Comparación de probetas de corte sin Refuerzo y probetas de corte con Refuerzo

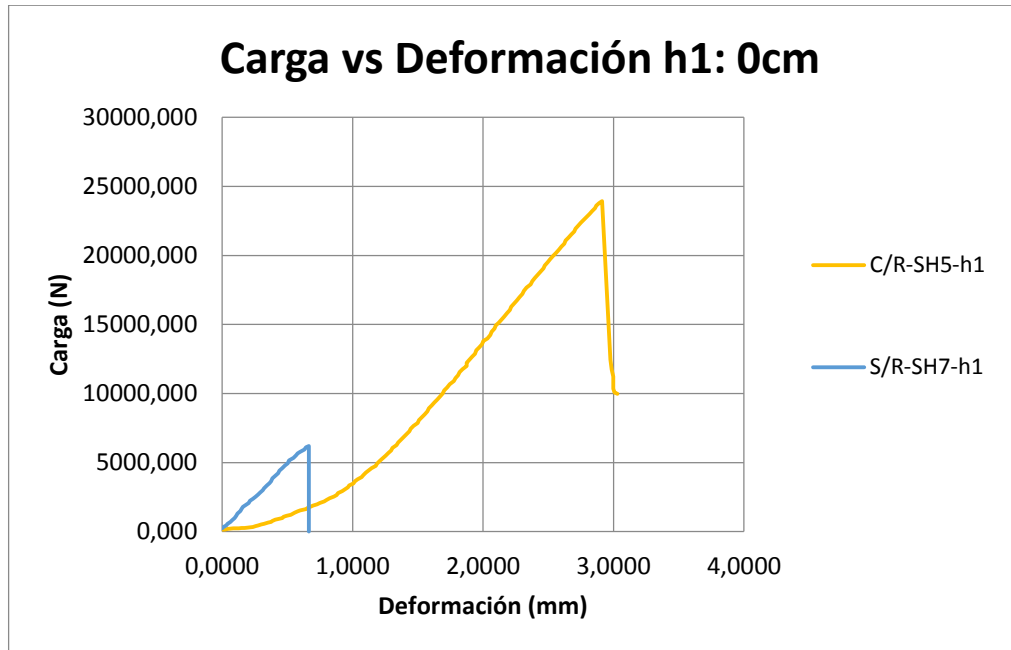


Figura 132. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R  $h1=0\text{cm}$  (pre-compresión lateral=0MPa)

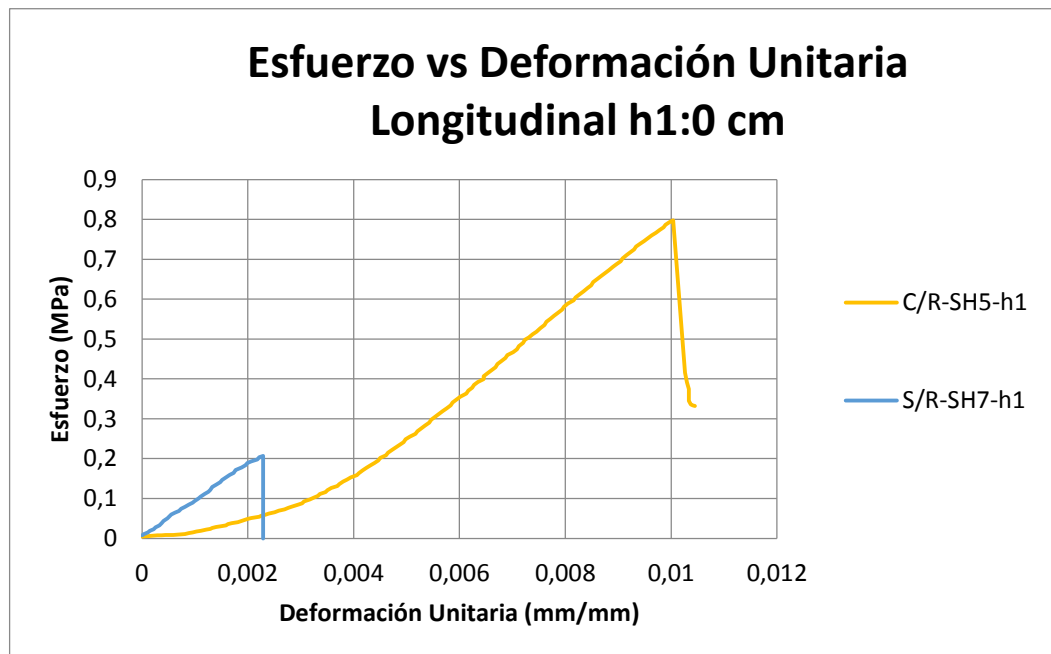
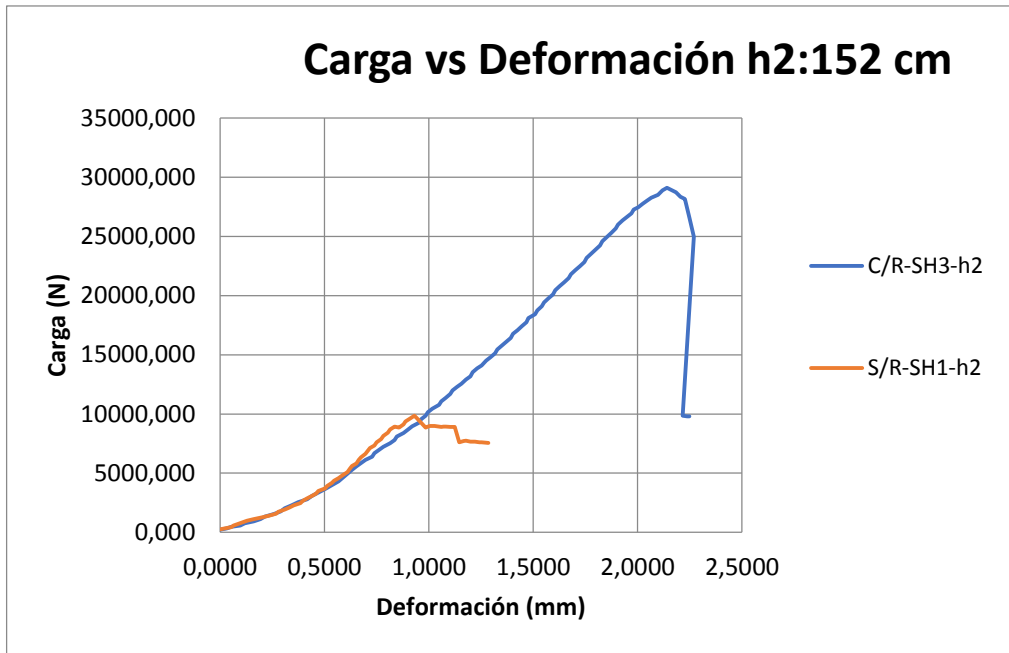
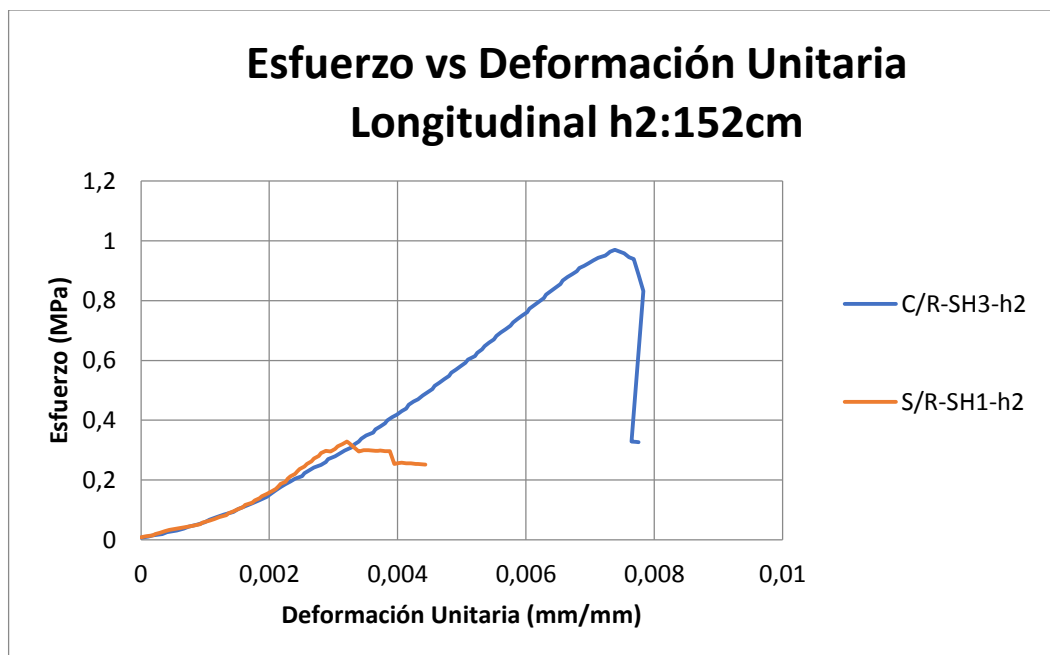


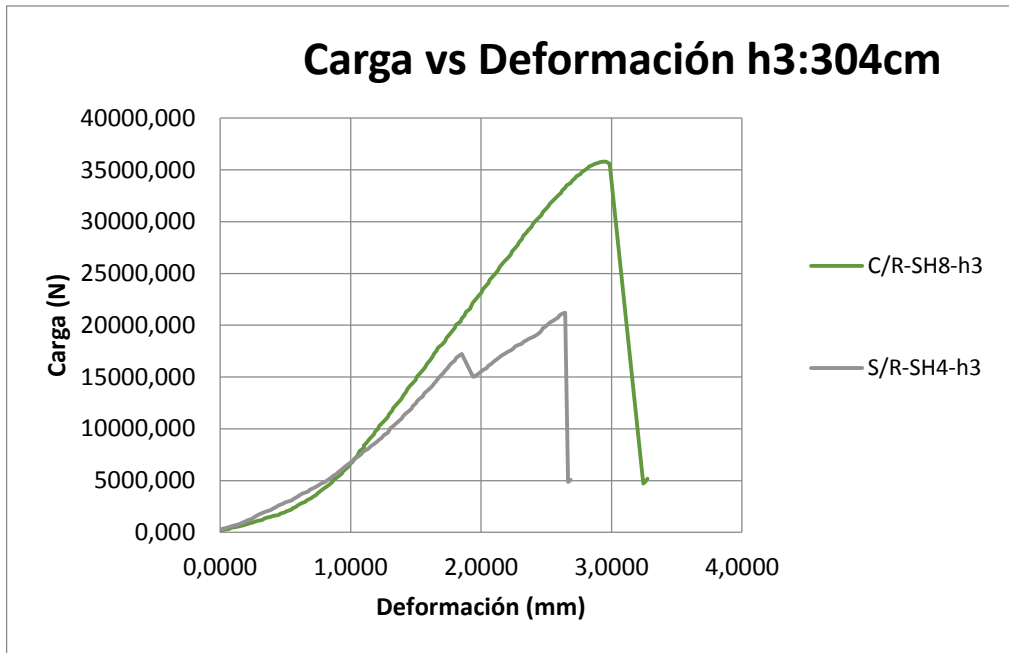
Figura 133. Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R  $h1=0\text{cm}$  (pre-compresión lateral=0MPa)



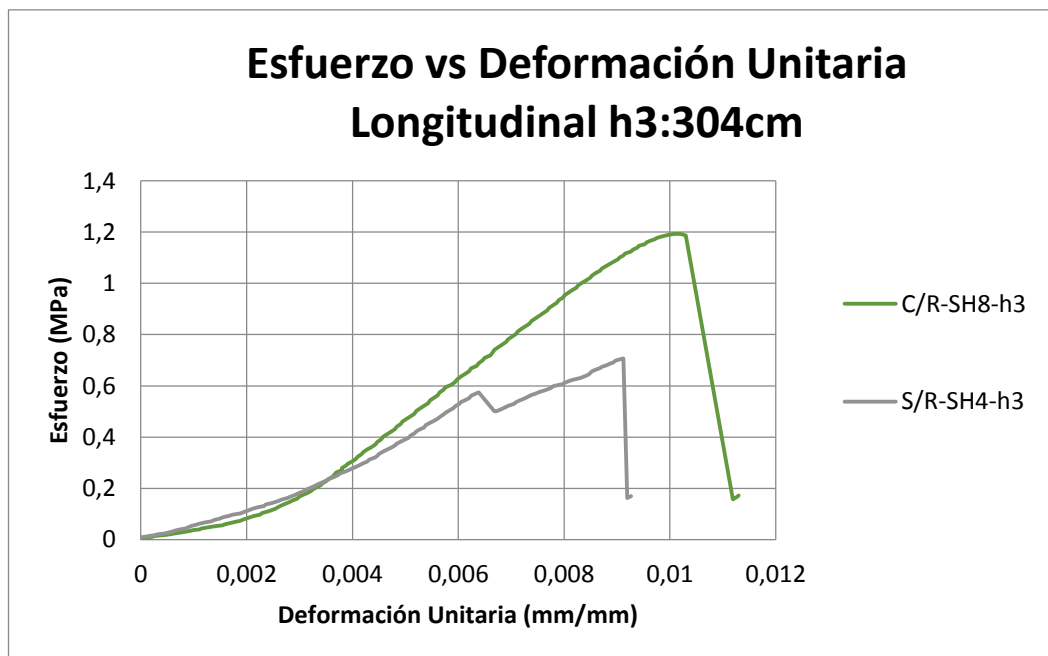
**Figura 134.** Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R h2=152cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)



**Figura 135.** Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R h2=152cm (pre-compresión lateral=0,33MPa)



**Figura 136.** Comparación Diagrama Carga vs Deformación de probetas de corte S/R y C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0.55MPa)












**Figura 137.** Comparación Esfuerzo vs Deformación Unitaria de probetas de corte S/R y C/R h3=304cm (pre-compresión lateral=0.55MPa)










### 3.6.4.6 Análisis de falla

- Ensayos de corte

Tabla 24. Análisis de fallas de corte Sin refuerzo

Espécimen	Tipo de falla	Fotografía
1	Separación completa de mortero y ladrillo de uno de los lados de la tripleta.	
2	Separación completa de mortero y ladrillo de uno de los lados de la tripleta.	
3	Separación completa de uno de los ladrillos.	
4	Separación completa de mortero y ladrillo de uno de los lados de la tripleta, agrietamiento en ladrillo central.	
5	Separación parcial ladrillo y mortero de la tripleta, agrietamiento ladrillo central	
6	Separación total ladrillo y mortero de uno de los lados	
7	Separación completa de mortero y ladrillo de uno de los lados de la tripleta.	
8	Separación completa del ladrillo de uno de los lados de la tripleta.	
9	Separación parcial de mortero y ladrillo de uno de los lados de la tripleta.	

**Tabla 25. Análisis de fallas de corte con refuerzo**

<b>Espécimen</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Fotografía</b>
1	Falla en la esquina inferior de uno de los ladrillos, separación parcial del mismo	
2	Separación total del ladrillo y de uno de los lados del refuerzo	
3	Separación total de uno de los lados del refuerzo	
4	Fallo prominente en la unión de refuerzo-ladrillo, a los dos lados del refuerzo	
5	Fallo en la unión de refuerzo- ladrillo, a los dos lados del refuerzo	
6	Separación total del ladrillo- mortero y de uno de los lados del refuerzo	
7	Agrietamiento en la cara del refuerzo	
8	Fallo en la unión de refuerzo- ladrillo, a los dos lados del refuerzo	
9	Agrietamiento en la cara de uno de los refuerzos y en la parte inferior del ladrillo	

### 3.6.5 Ensayo de columnas sin reforzamiento sometida a carga axial

#### 3.6.5.1 S/R- Co1

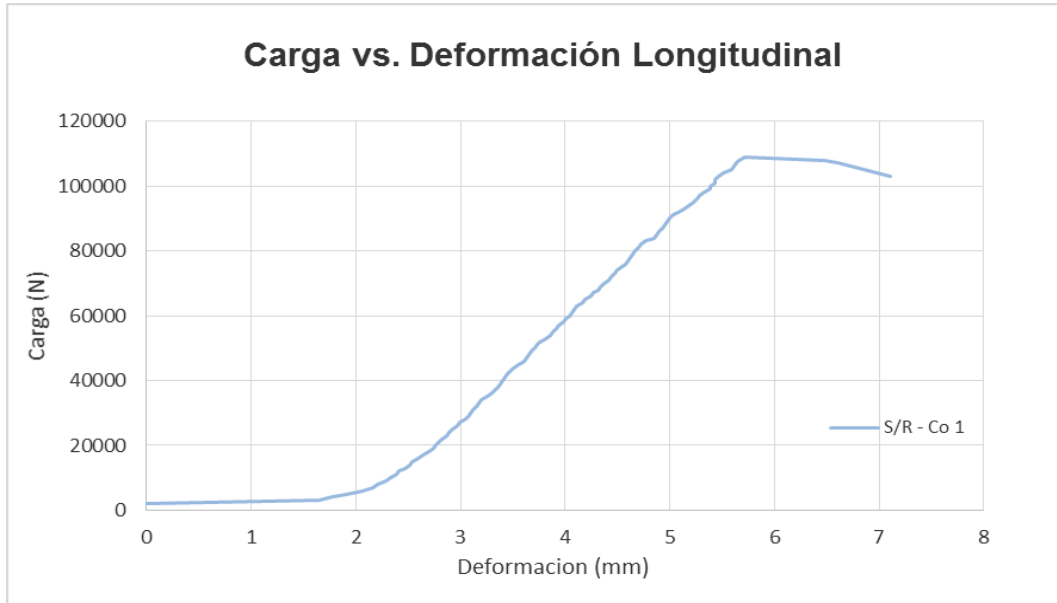


Figura 138. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co1

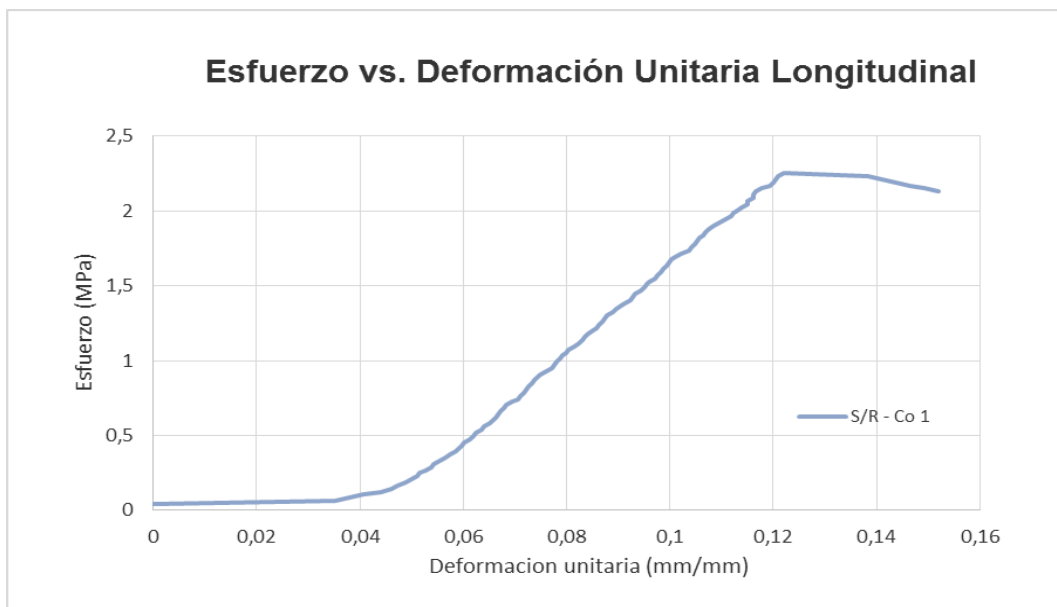
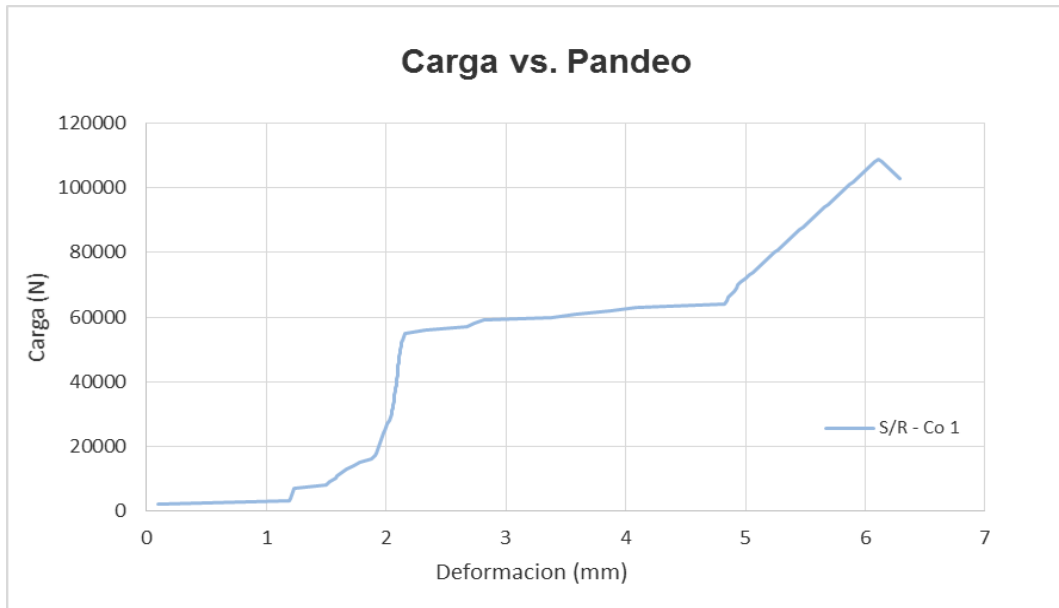
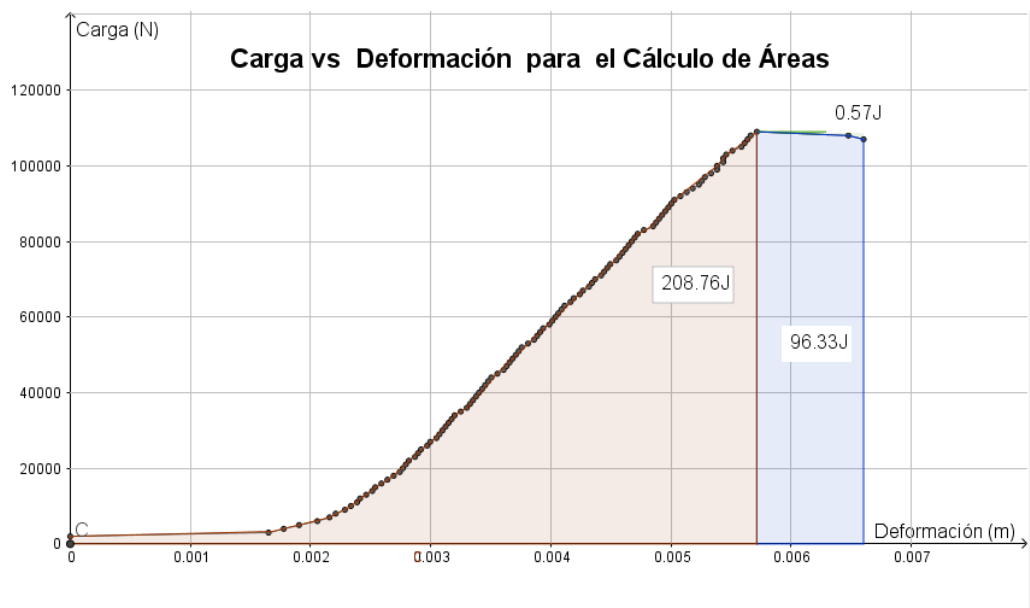


Figura 139. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co1

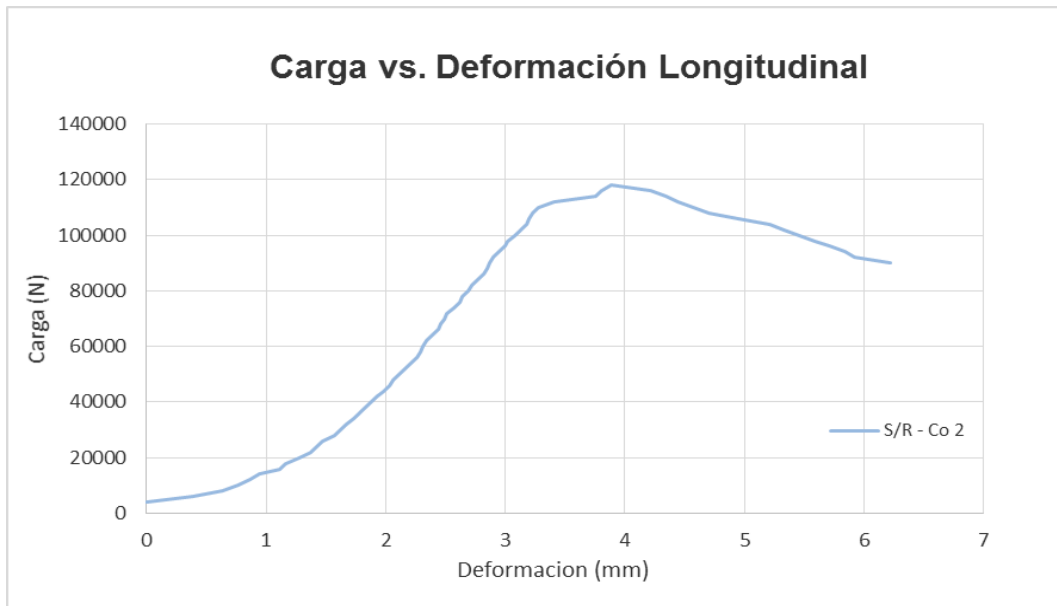


**Figura 140.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co1

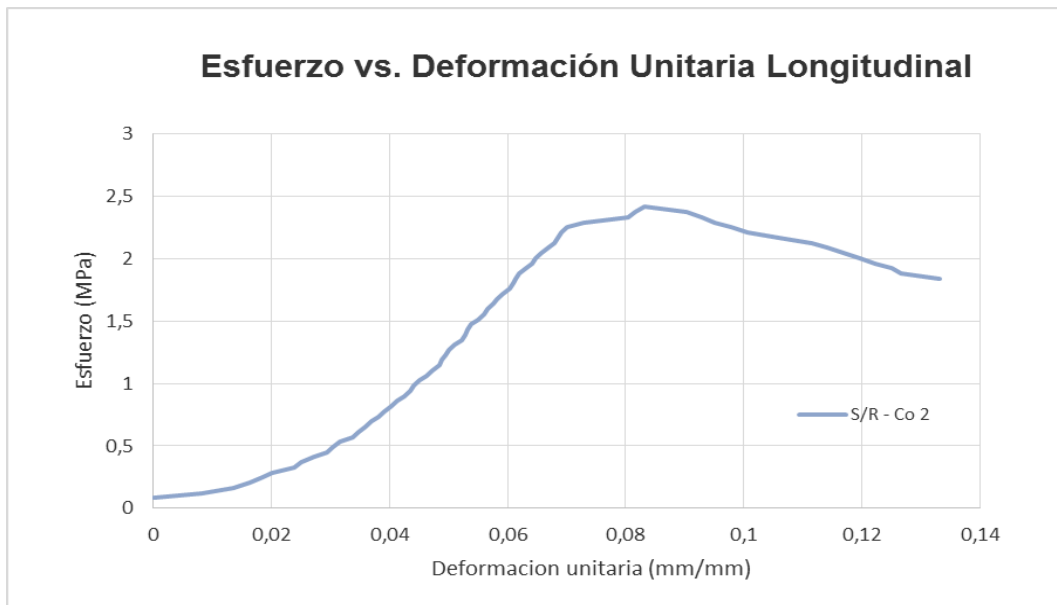


**Figura 141.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co1

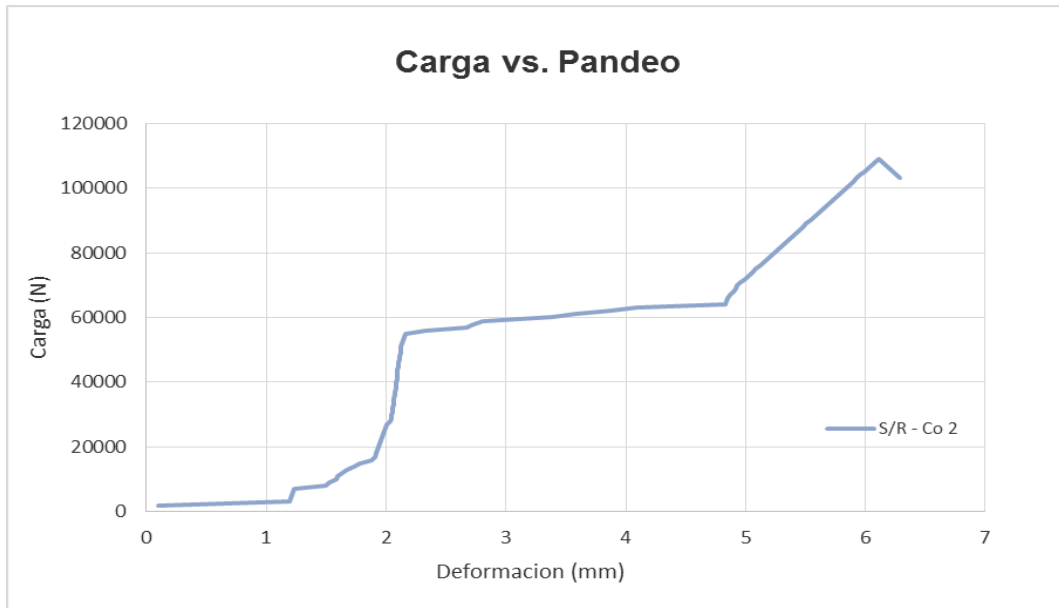
### 3.6.5.2 S/R- Co2



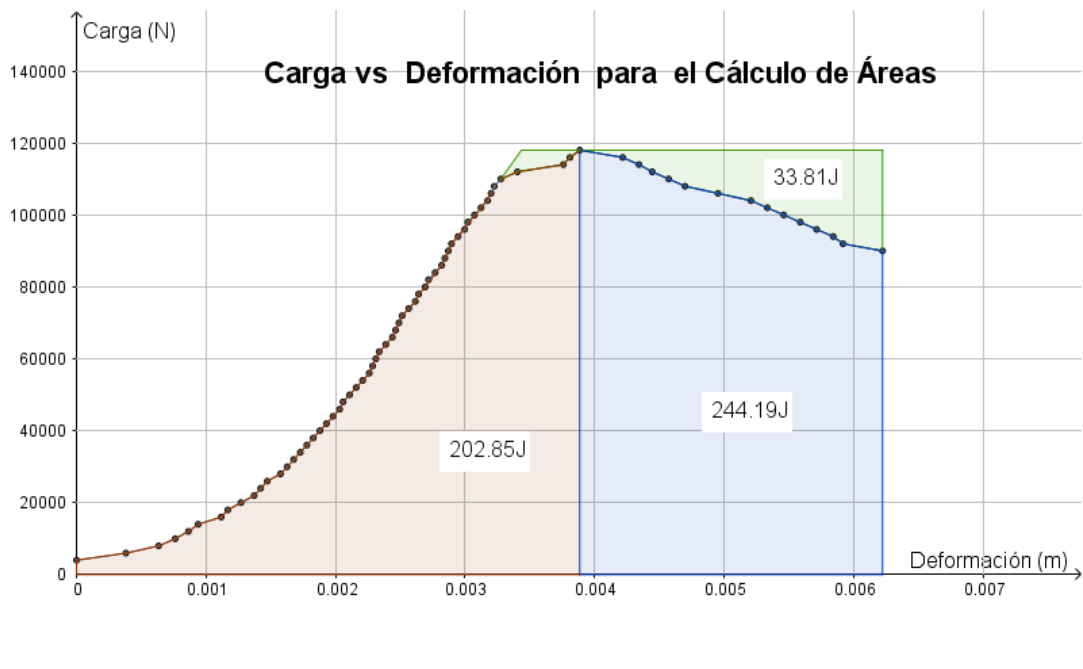
*Figura 142. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co2*



*Figura 143. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co2*

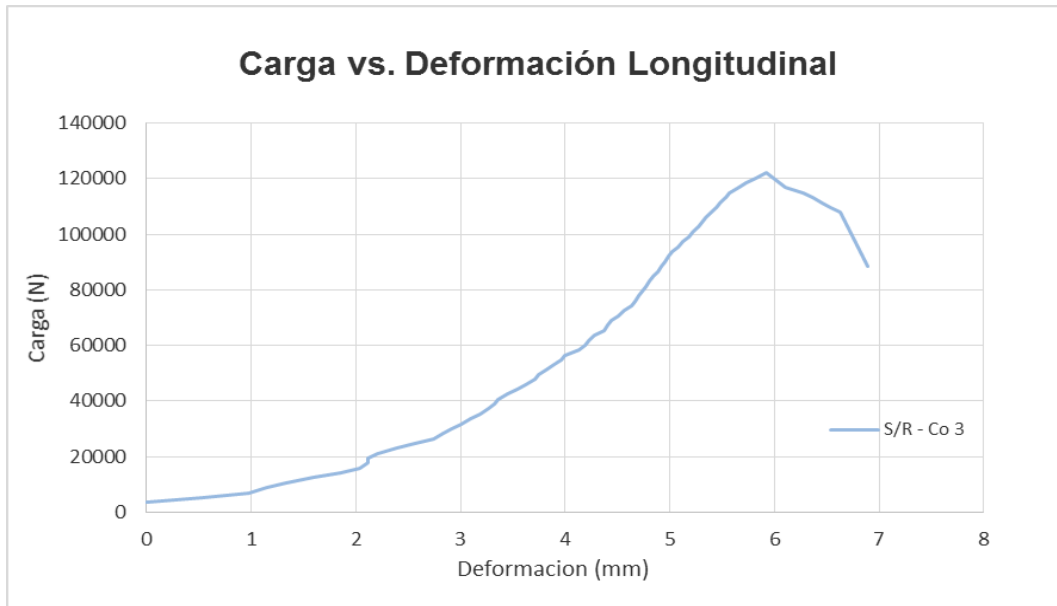


**Figura 144 .Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co2**

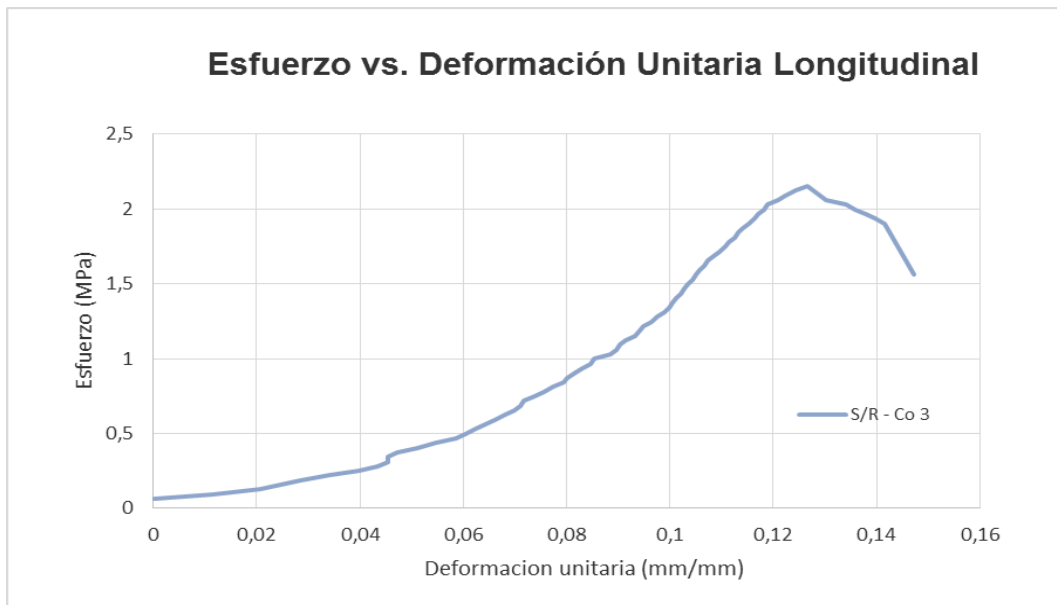


**Figura 145. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co2**

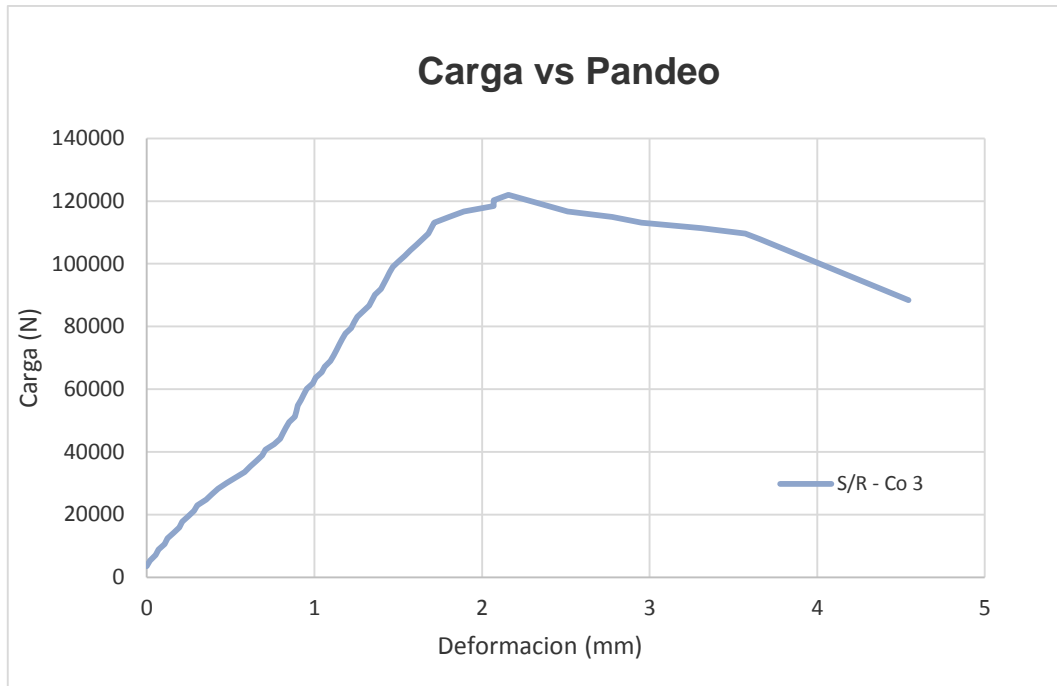
### 3.6.5.3 S/R- Co3



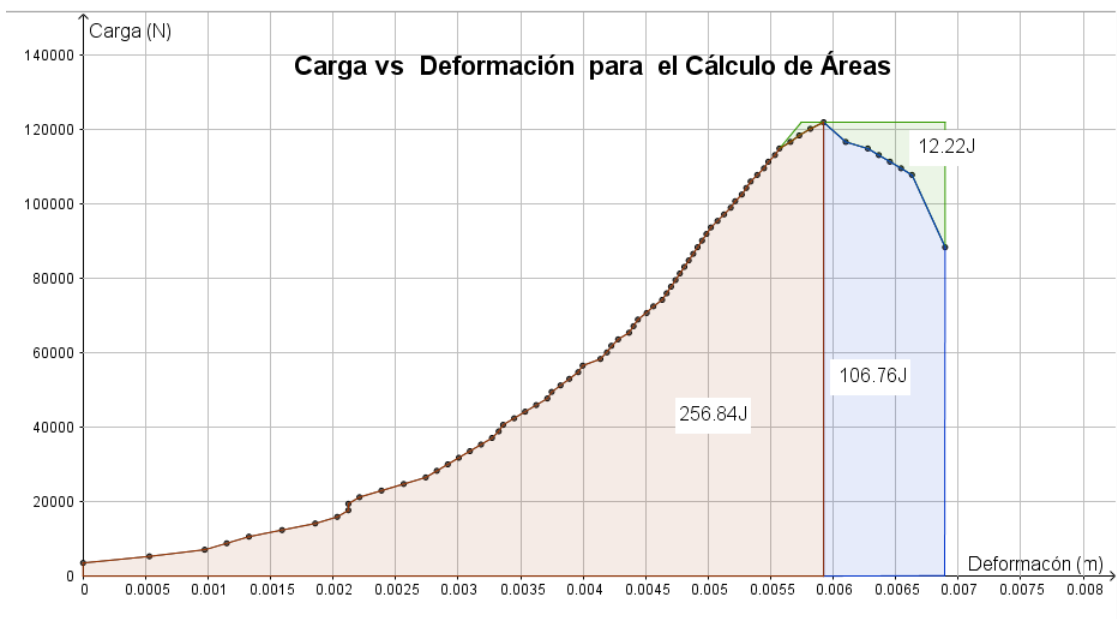
**Figura 146.** Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co3



**Figura 147.** Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co3



**Figura 148.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co3

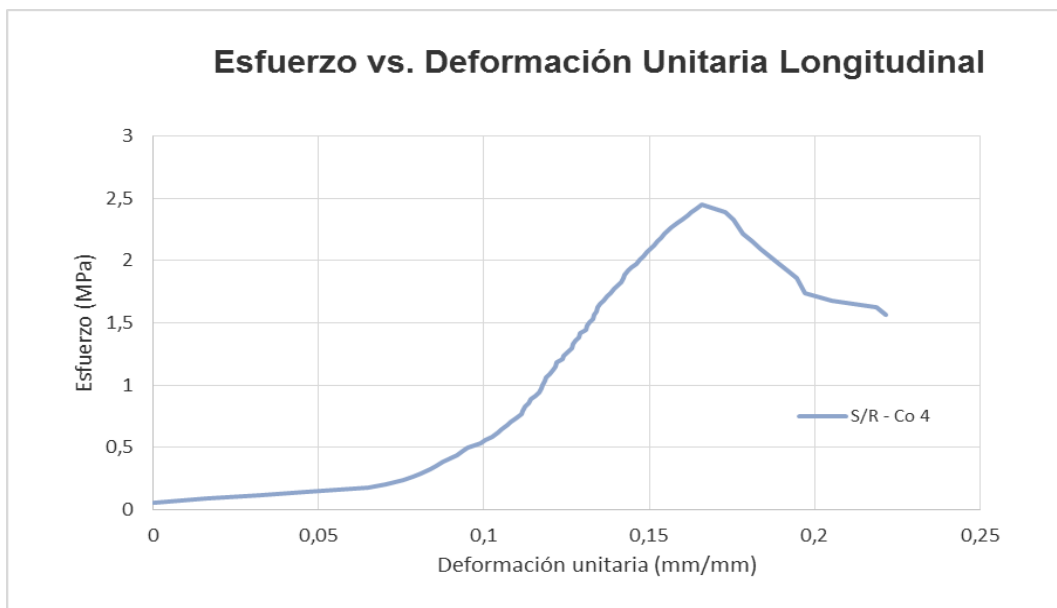


**Figura 149.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co3

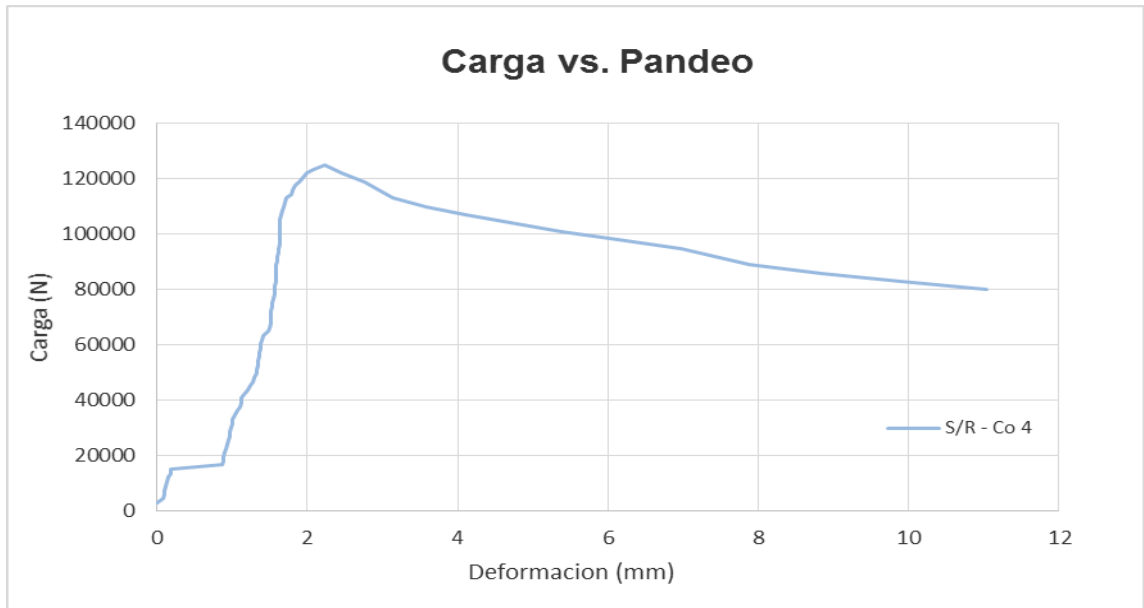
### 3.6.5.4 S/R- Co4



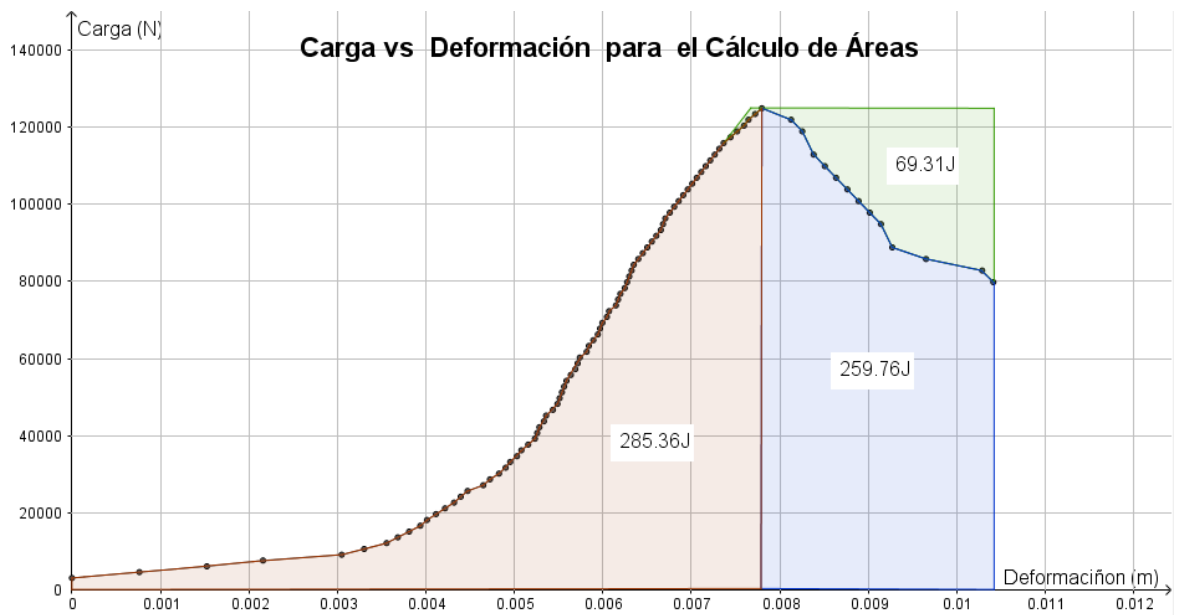
*Figura 150. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-Co4*



*Figura 151. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria S/R-Co4*



**Figura 152.** Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-Co4



**Figura 153.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-Co4

### 3.6.5.5 Resumen de columnas sin refuerzo sometidas a carga axial

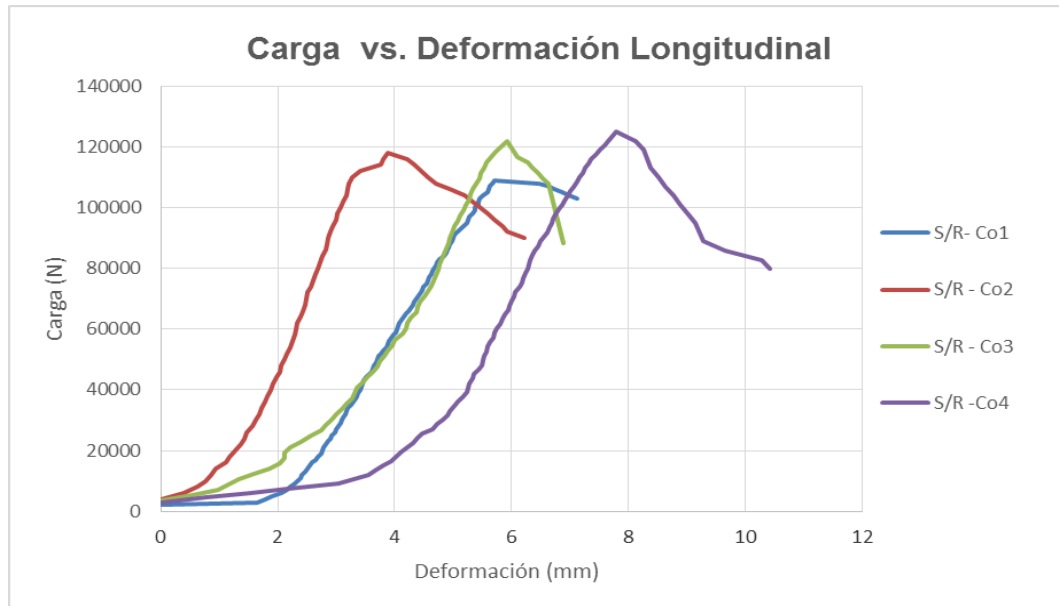


Figura 154. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: S/R-Co

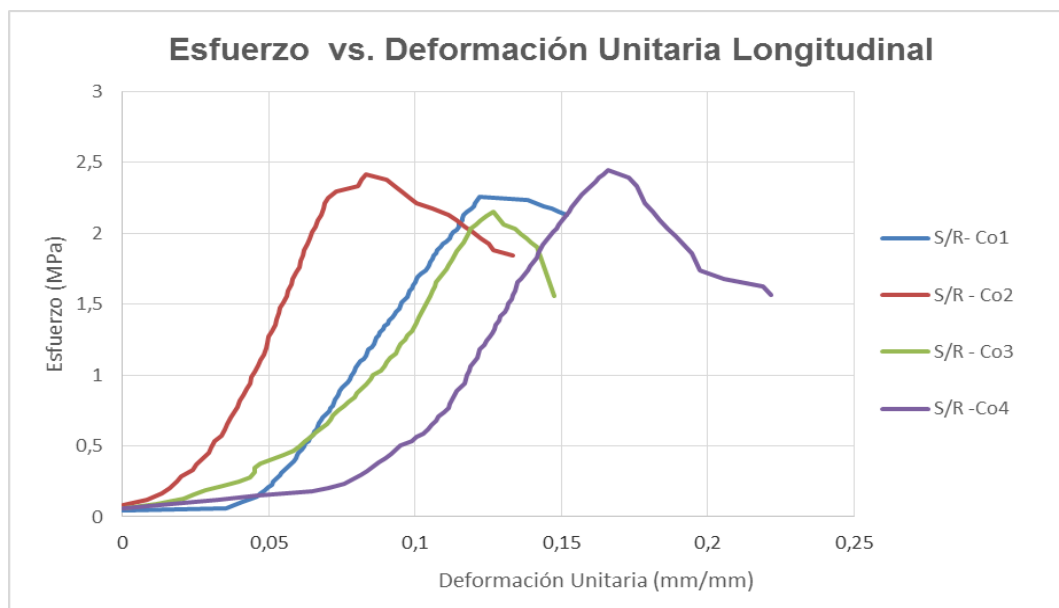
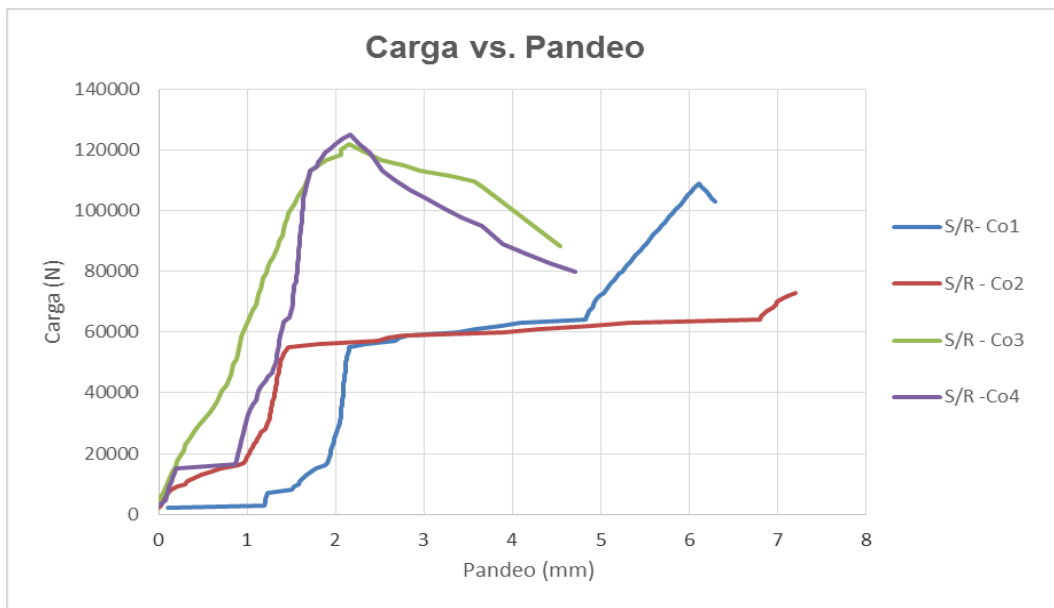


Figura 155. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: S/R-Co



**Figura 156.** Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: S/R-Co

**Tabla 26.** Resultados de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas concéntricas

Tipo	Muestra	Carga Máxima(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por compresión (mm)	Deformación por Pandeo (mm)
Sin refuerzo	Co1	109000	2,253	5,715	6,290
	Co2	118000	2,293	4,445	6,290
	Co3	122000	2,152	5,923	4,544
	Co4	125000	2,447	7,798	4,711
<b>Media</b>		118500,000	2,287	5,970	5,459
<b>Desviación Estándar</b>		6952,218	0,122	1,382	0,962
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		5,867	5,357	23,156	17,628

*Tabla 27. Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas concéntricas*

Tipo	Muestra	A total (N-m)	A peak (N-mm)	A post (N-m)	A pr (N-m)	Ductilidad de Energía (J/J)	Reserva de Energía de Deformación (J/J)	Energía Absorbida (J)	Índice de Tenacidad a Compresión (J/J)
SIN REFUERZO	Co1	308,090	208,760	99,330	0,570	0,998	0,476	308,090	1,476
	Co2	447,040	202,850	244,190	33,810	0,930	1,204	447,040	2,204
	Co3	363,600	256,840	106,760	12,220	0,967	0,416	363,600	1,416
	Co4	545,120	285,360	259,760	69,310	0,887	0,910	545,120	1,910
<b>Media</b>						0,946	0,751	415,963	1,751
<b>Desviación Estándar</b>						0,048	0,374	103,321	0,374
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>						5,073	49,712	24,839	21,328

$$Ductilidad\ de\ Energía = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$Reserva\ de\ Energía = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

$$Energía\ Absorbida = A_{total}$$

$$Índice\ de\ Tenacidad\ a\ la\ Compresión = \frac{A_{tot}}{A_{peak}}$$

### 3.6.6 Ensayo de columnas con reforzamiento sometida a carga axial

#### 3.6.6.1 C/R- Co1

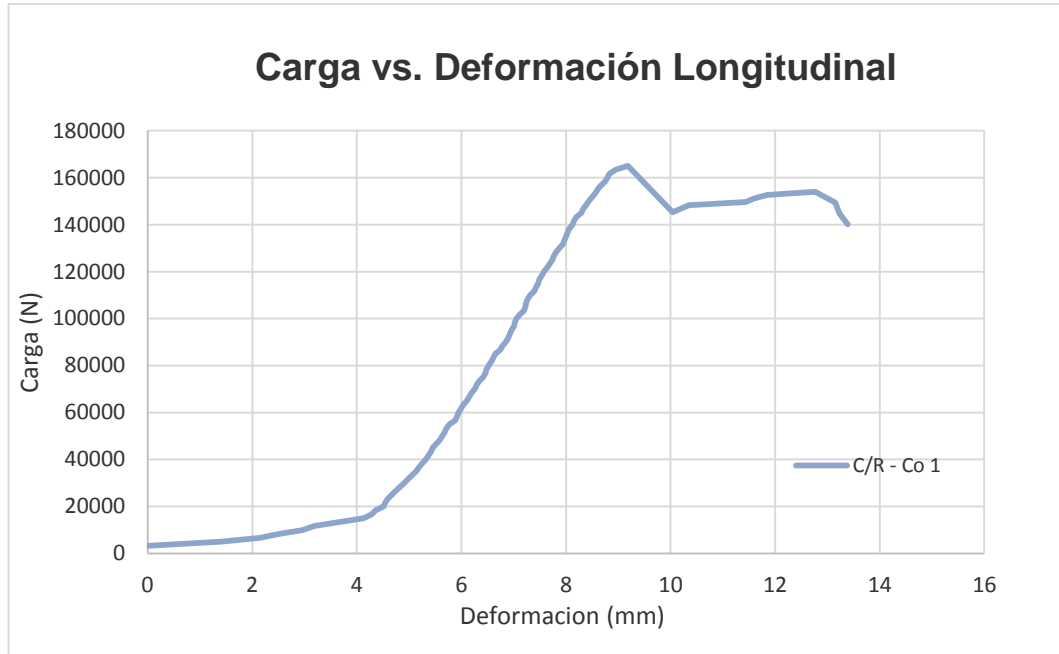


Figura 157. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co1

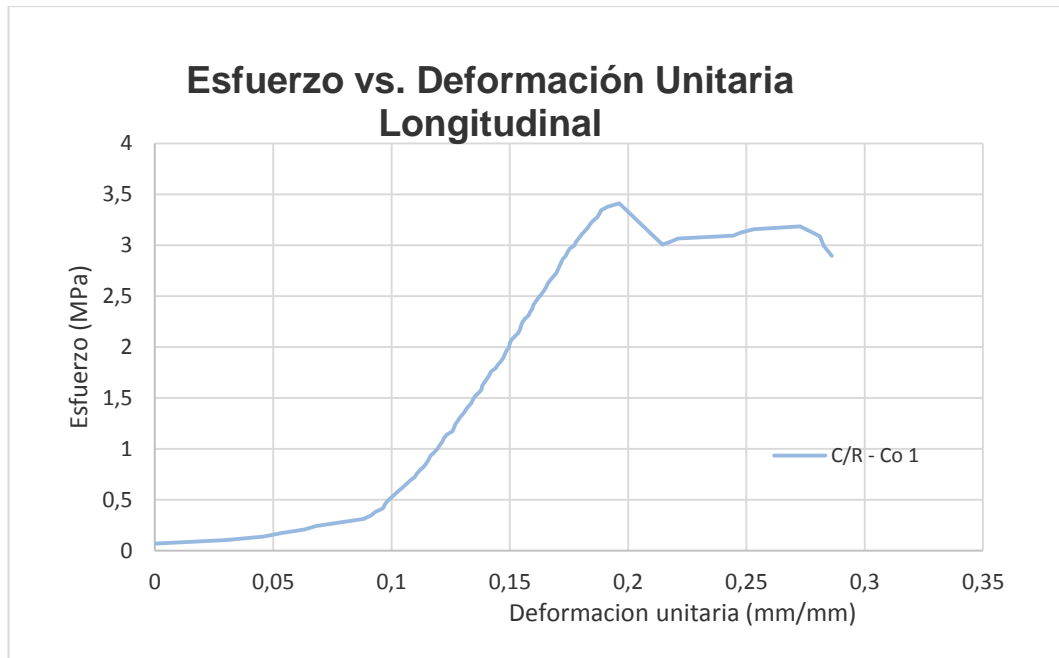
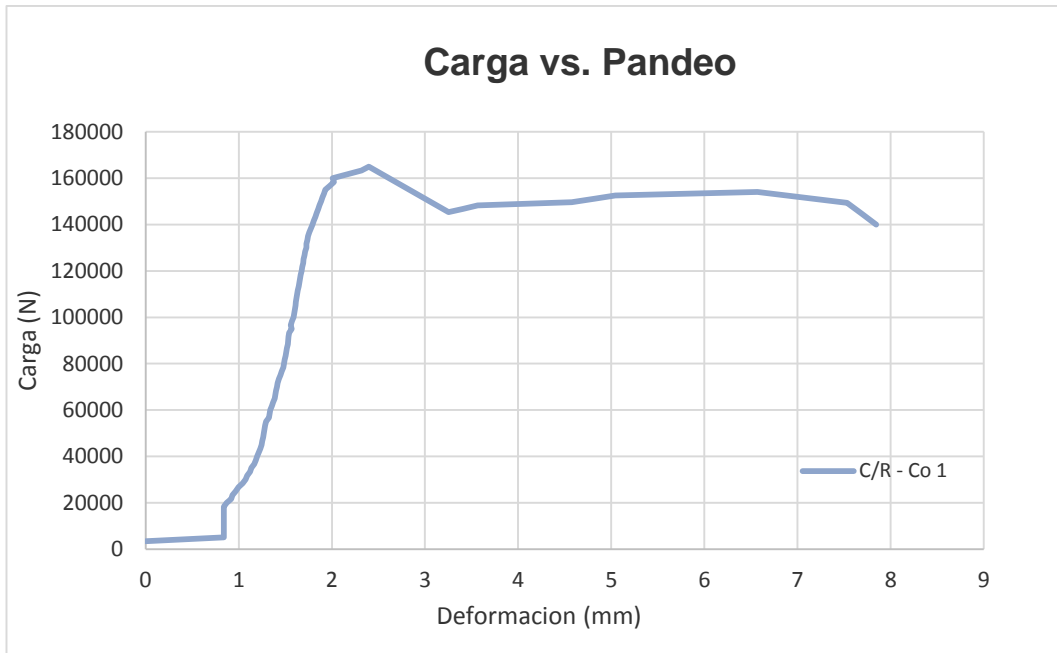
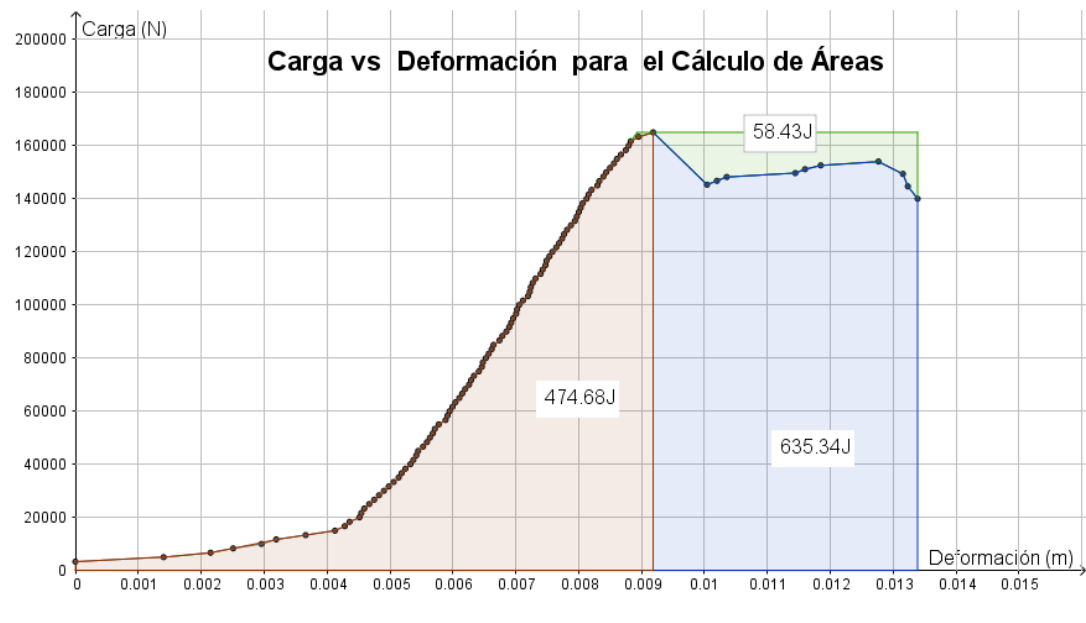


Figura 158. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co1

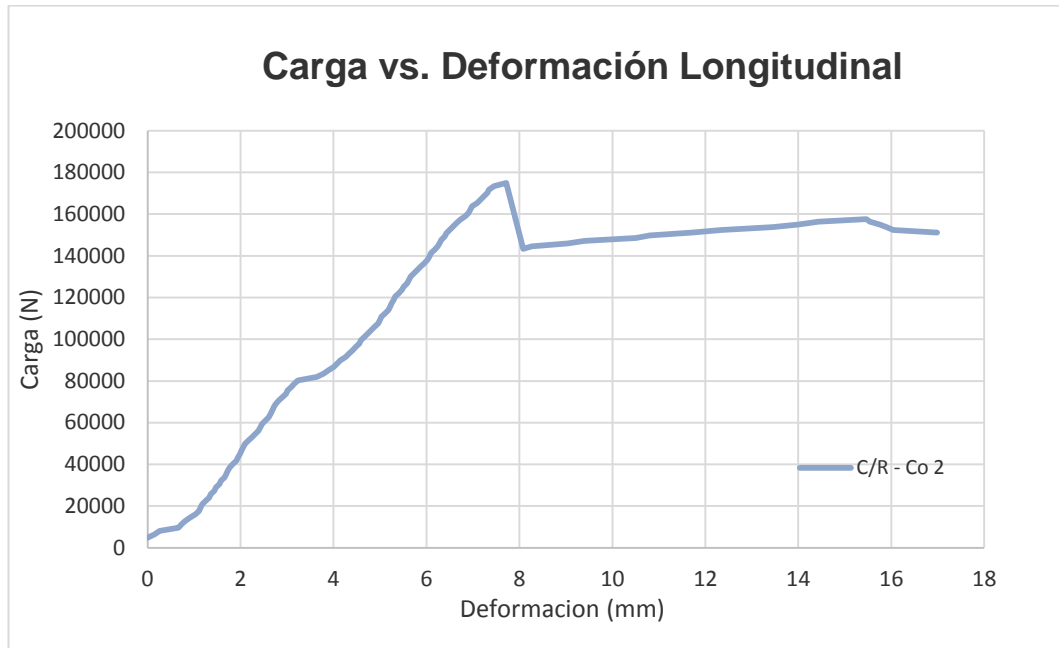


**Figura 159.** Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co1

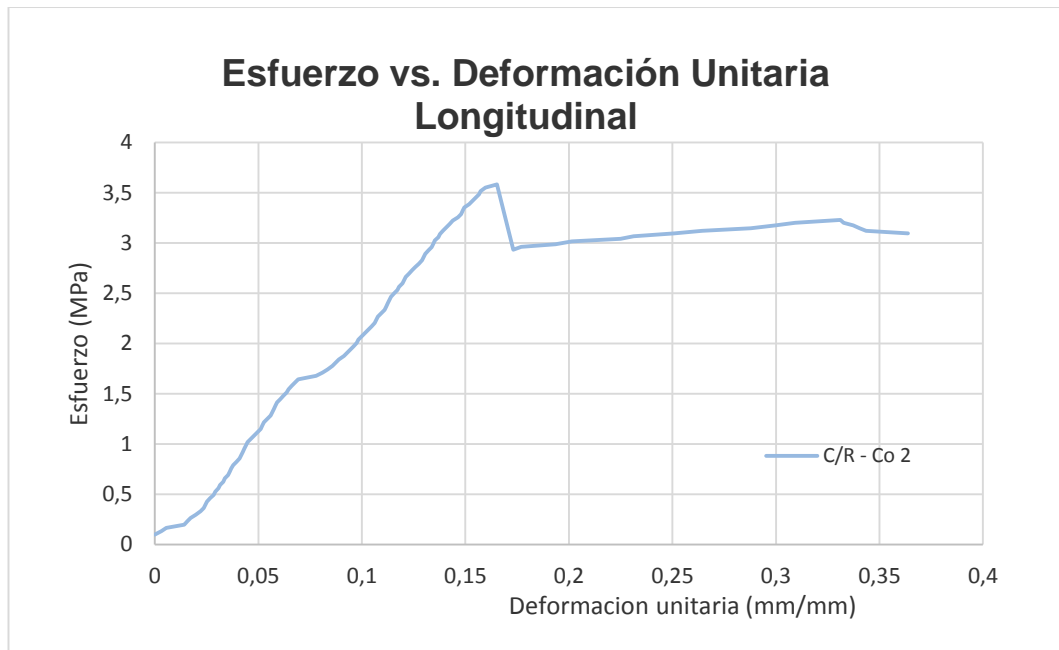


**Figura 160.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co1

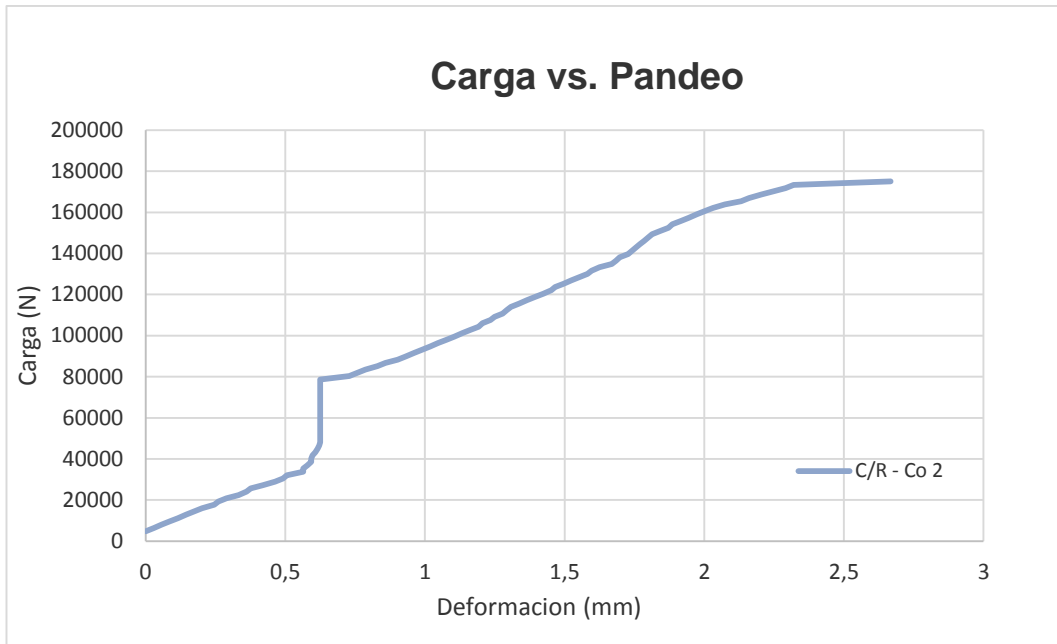
### 3.6.6.2 C/R- Co2



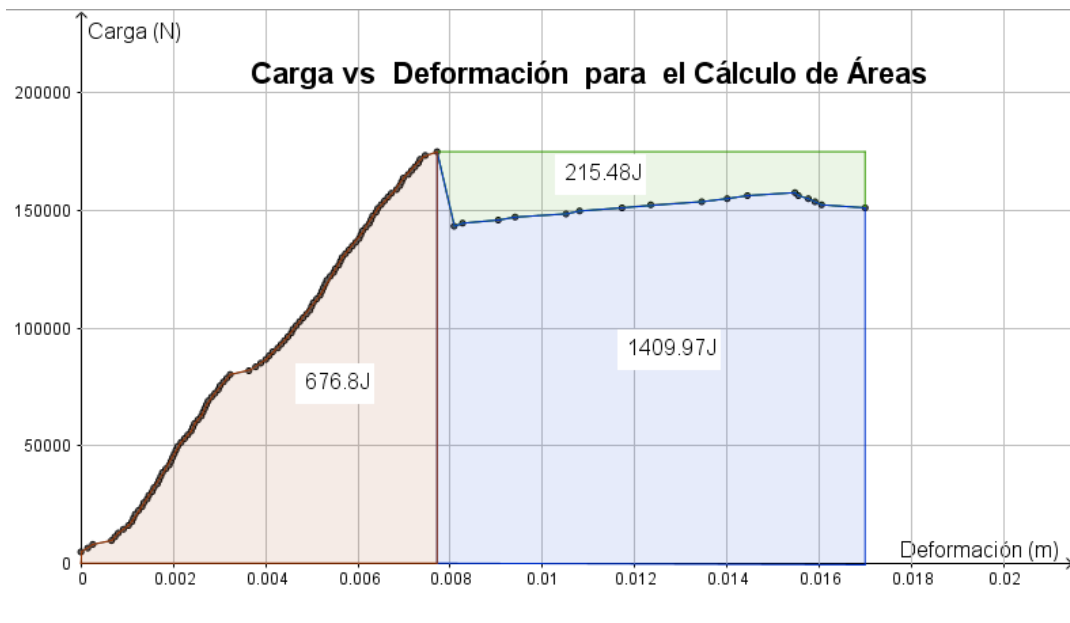
*Figura 161. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co2*



*Figura 162. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co2*

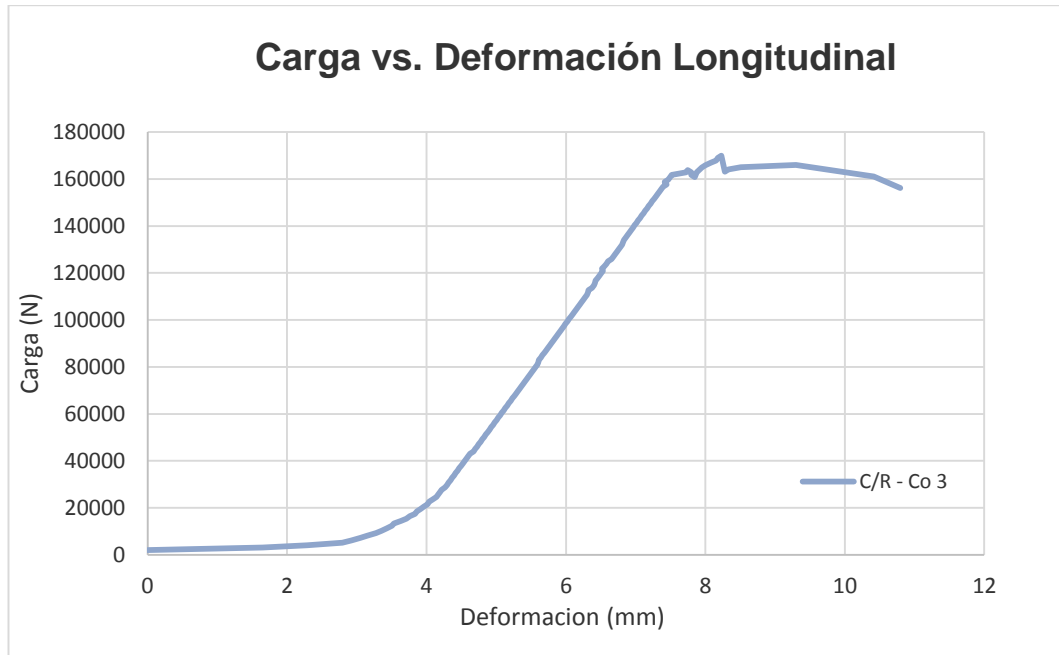


**Figura 163.** Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co2

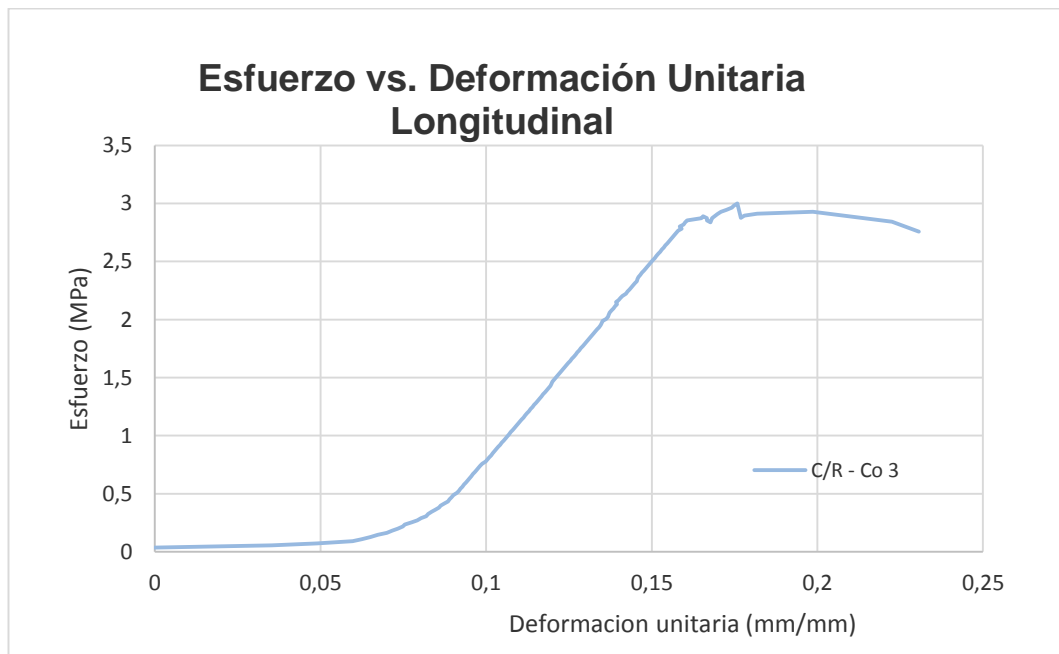


**Figura 164.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co2

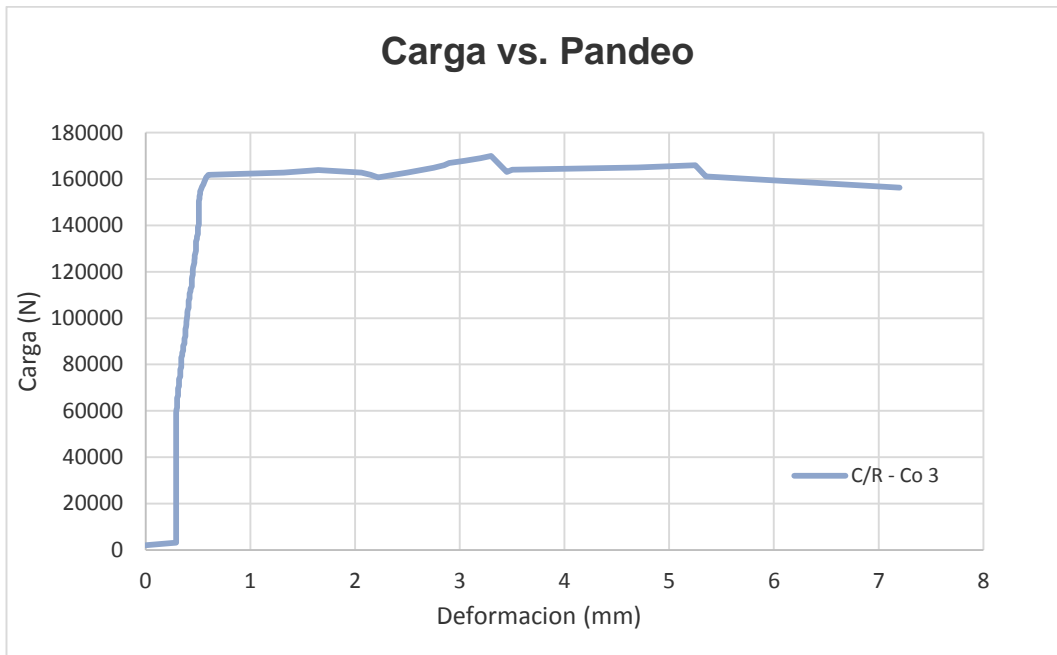
### 3.6.6.3 C/R- Co3



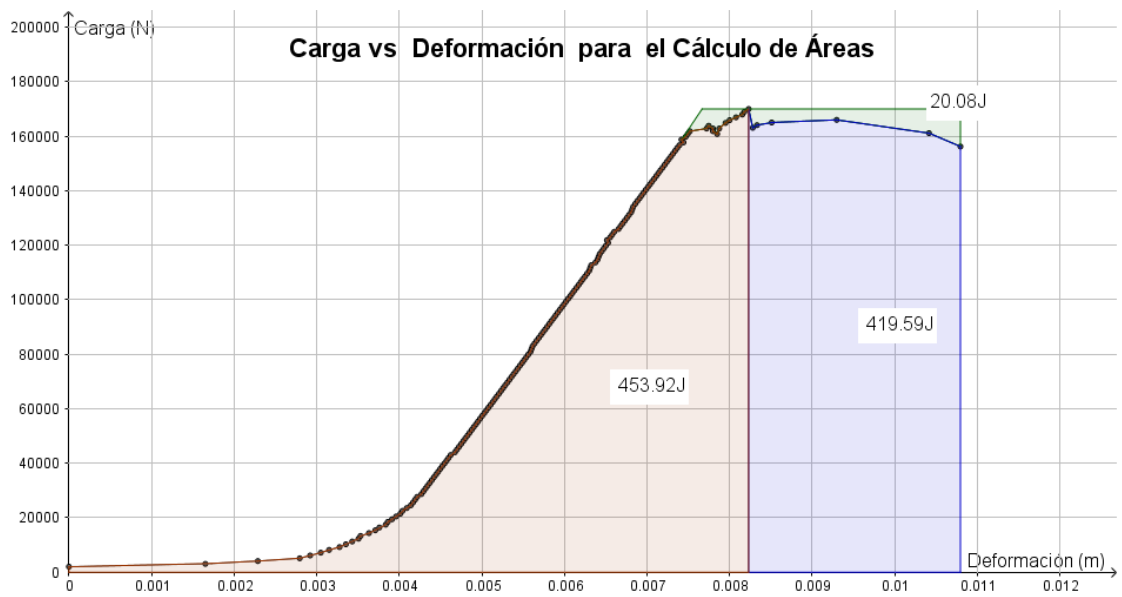
*Figura 165. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co3*



*Figura 166. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co3*

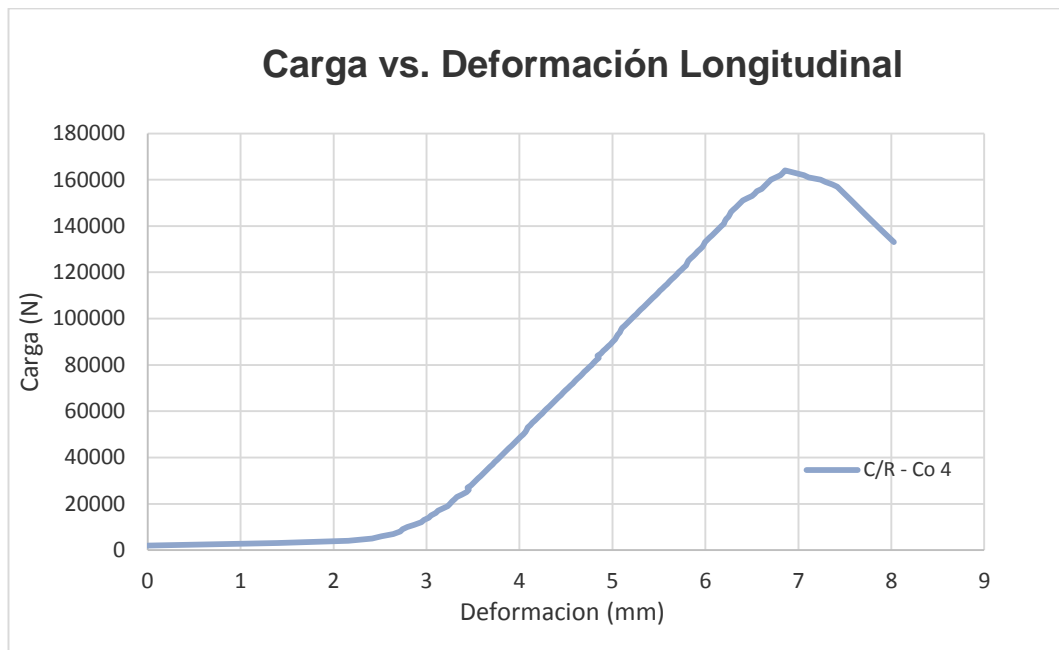


*Figura 167. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co3*

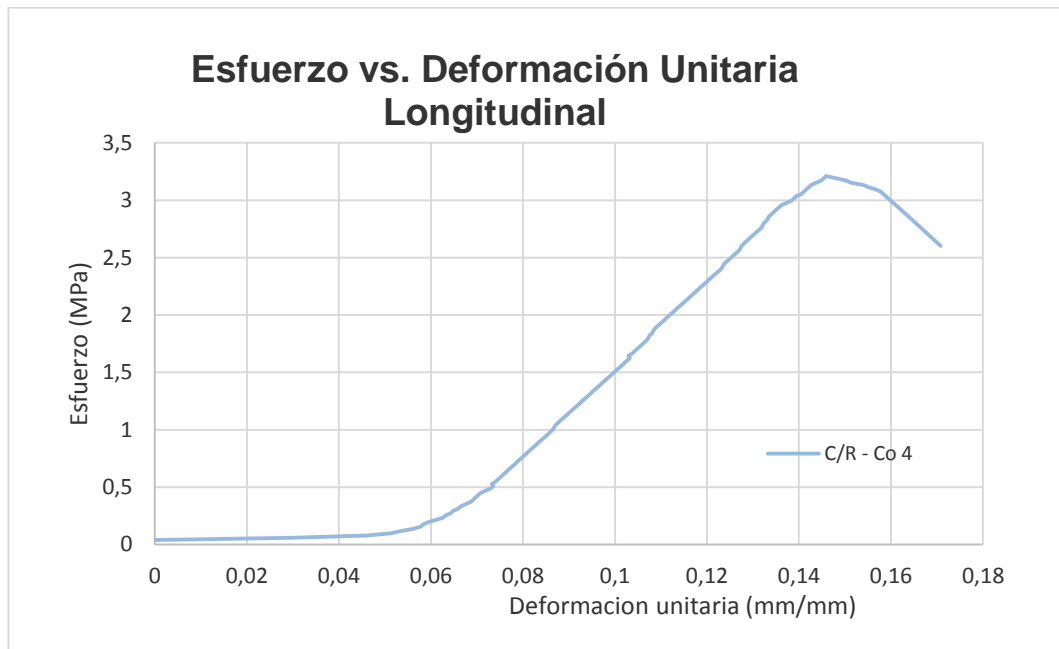


*Figura 168. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co3*

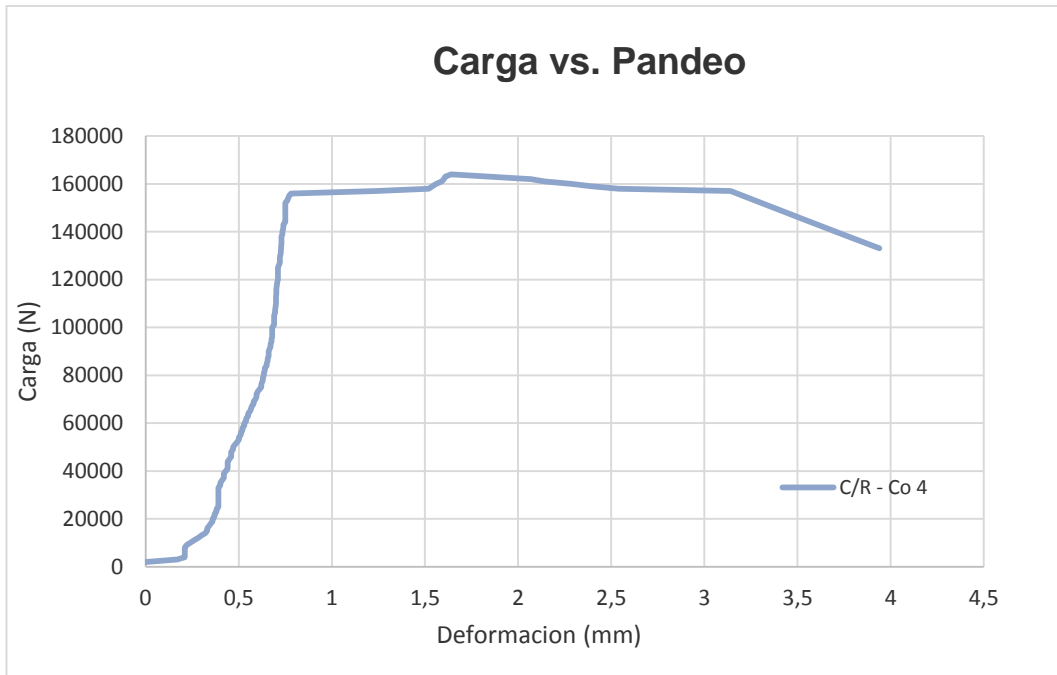
### 3.6.6.4 C/R- Co4



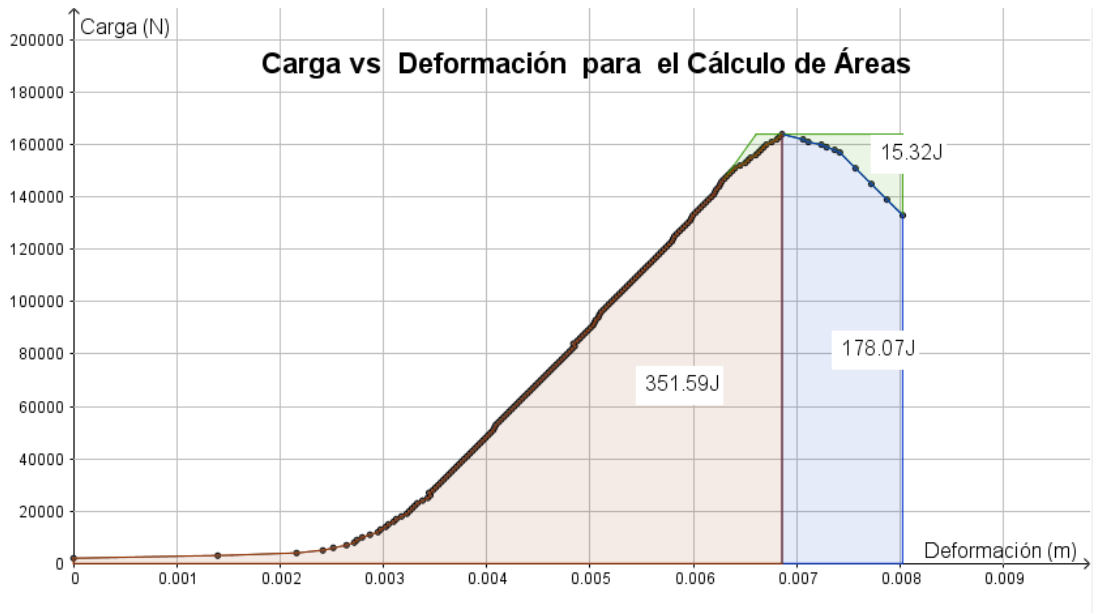
**Figura 169.** Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-Co4



**Figura 170.** Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria C/R-Co4



**Figura 171.** Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-Co4



**Figura 172.** Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-Co4

### 3.6.6.5 Resumen de columnas con refuerzo sometidas a carga axial

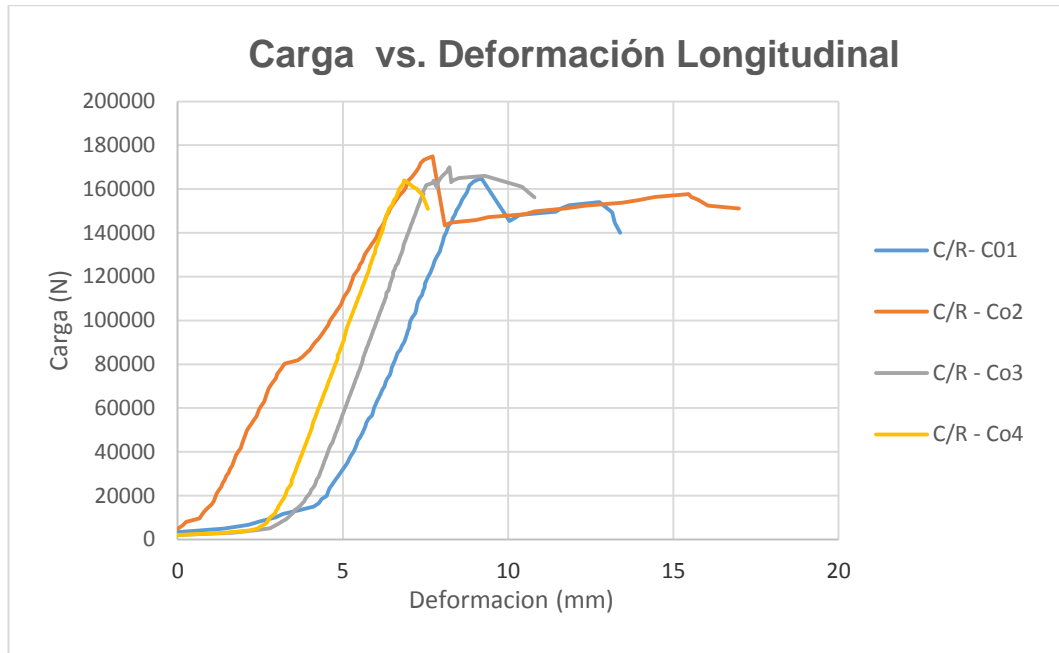


Figura 173. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: C/R-Co

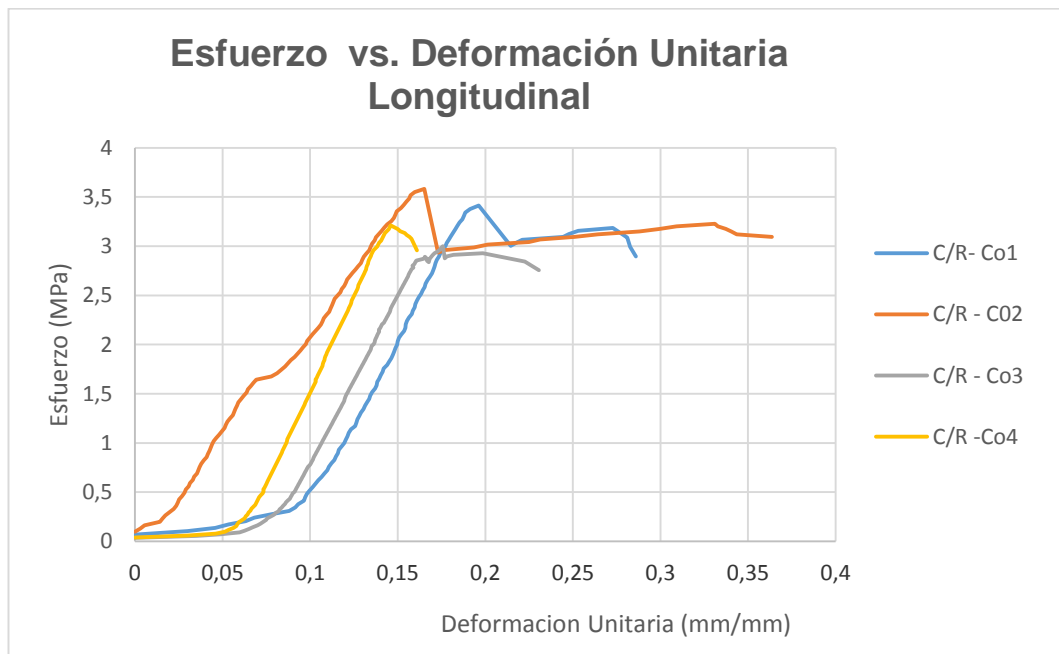


Figura 174. Diagrama Esfuerzo vs. Deformación Unitaria Resumen: C/R-Co

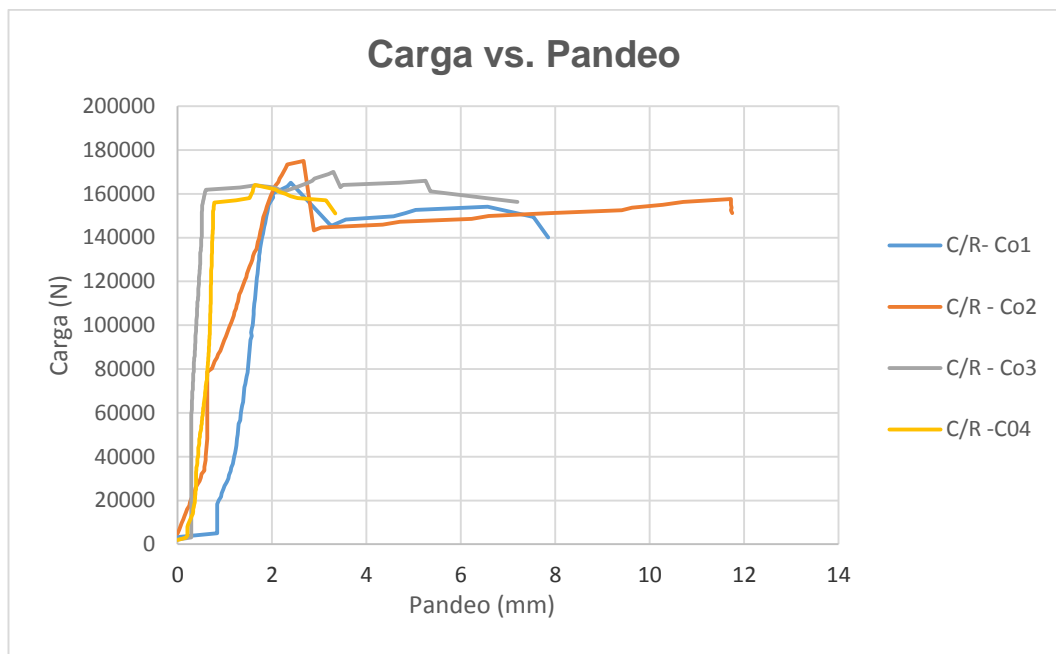


Figura 175. Diagrama Carga vs. PandeoResumen C/R-Co

Tabla 28. Resumen de columnas con reforzamiento sometidas a cargas concéntricas

Tipo	Muestra	Carga(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por Compresión (mm)	Deformación por Pandeo (mm)
Con Refuerzo	Co1	154061,62	3,18	12,76	7,85
	Co2	157644,63	3,23	15,47	11,75
	Co3	166000,00	2,93	9,30	7,20
	Co4	164000,00	3,21	7,06	3,34
<b>Media</b>		160426,56	3,14	11,15	7,53
<b>Desviación Estándar</b>		5540,28	0,14	3,71	3,44
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		3,45	4,48	33,32	45,71

**Tabla 29.** Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas con reforzamiento sometidas a cargas concéntricas

Tipo	Muestra	A total (N-m)	A peak (N-mm)	A post (N-m)	A pr (N-m)	Ductilidad de Energía (J/J)	Reserva de Energía de Deformación (J/J)	Energía Absorbida (J)	Índice de Tenacidad a Compresión (J/J)
CON REFUERZO	Co1	1110,020	474,680	635,340	58,430	0,950	1,338	1110,020	2,338
	Co2	2086,770	676,800	1409,970	215,480	0,906	2,083	2086,770	3,083
	Co3	873,510	453,920	419,590	20,080	0,978	0,924	873,510	1,924
	Co4	529,660	351,590	178,070	15,320	0,972	0,506	529,660	1,506
<b>Media</b>						0,951	1,213	1149,990	2,213
<b>Desviación Estándar</b>						0,032	0,672	668,432	0,672
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>						3,394	55,411	58,125	30,374

$$\text{Ductilidad de Energía} = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$\text{Reserva de Energía} = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

$$\text{Energía Absorbida} = A_{total}$$

$$\text{Índice de Tenacidad a la Compresión} = \frac{A_{tot}}{A_{peak}}$$

### 3.6.7 Ensayo de columnas sin reforzamiento sometida a carga excéntrica

#### 3.6.7.1 S/R- CE2

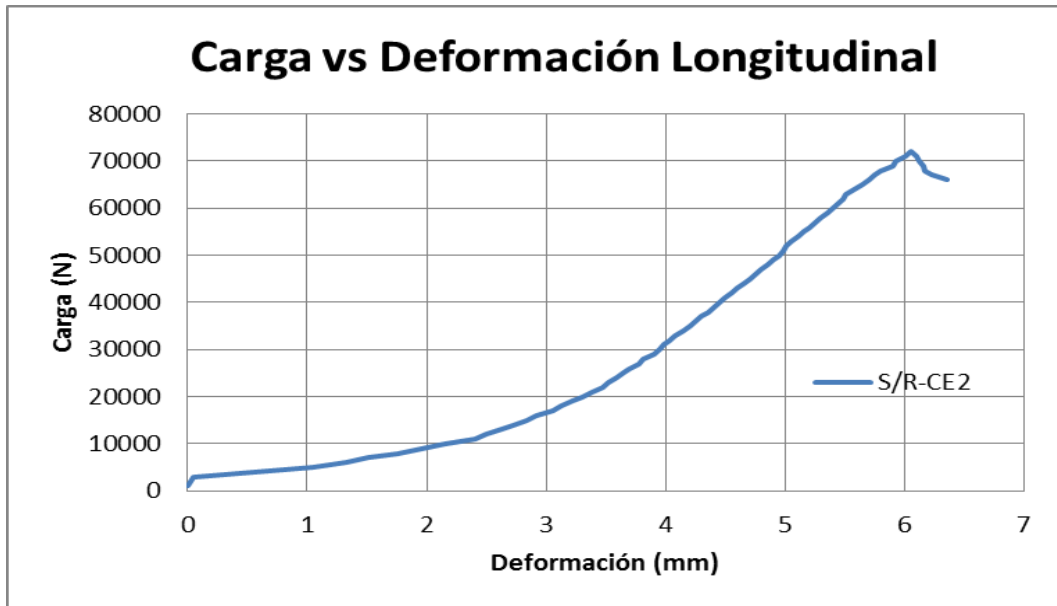


Figura 176. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE2

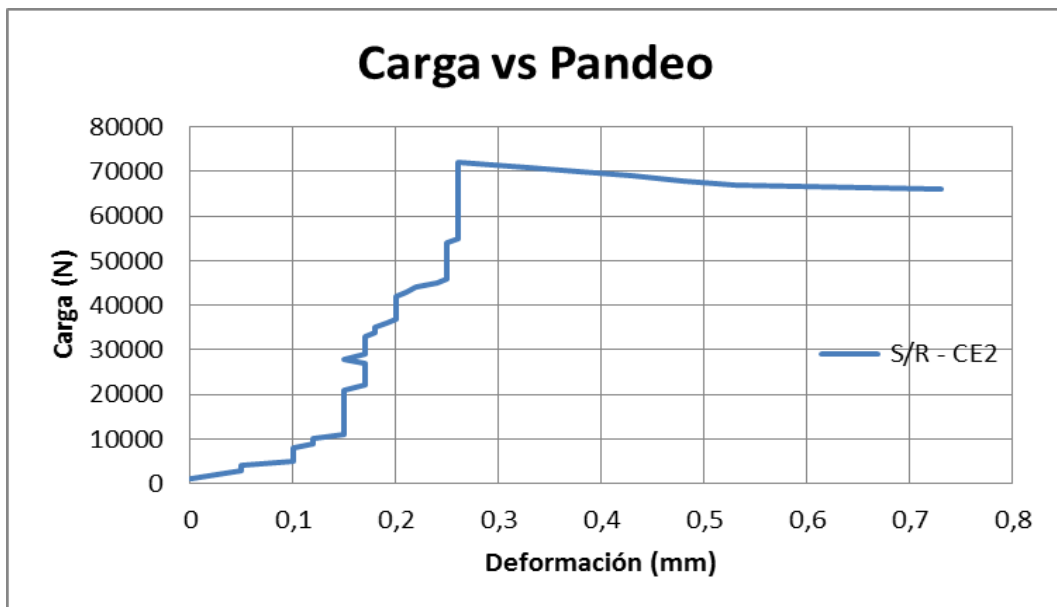


Figura 177. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE2

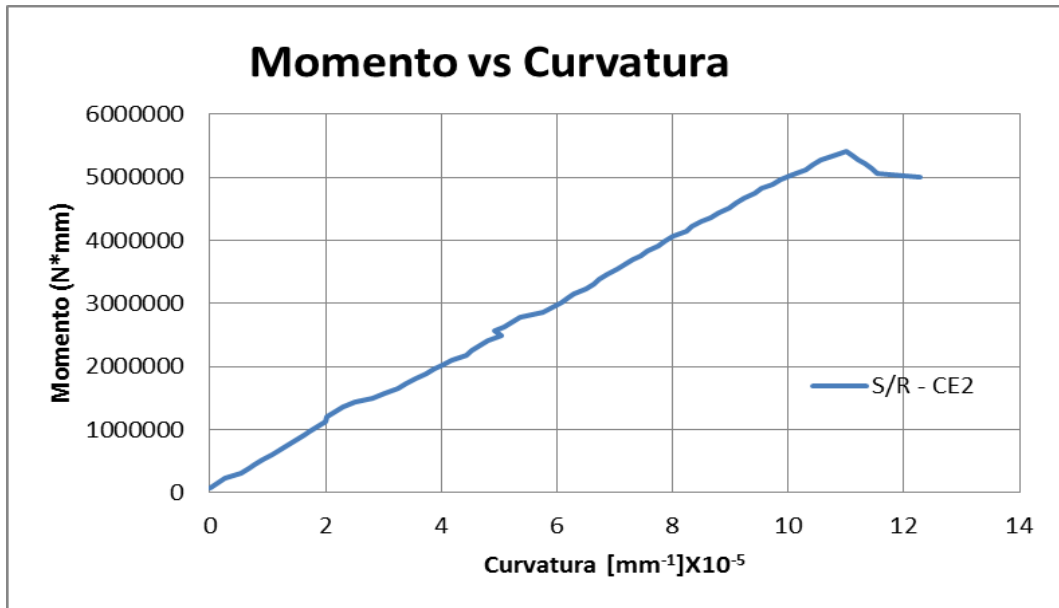


Figura 178. Momento vs Curvatura S/R-CE2

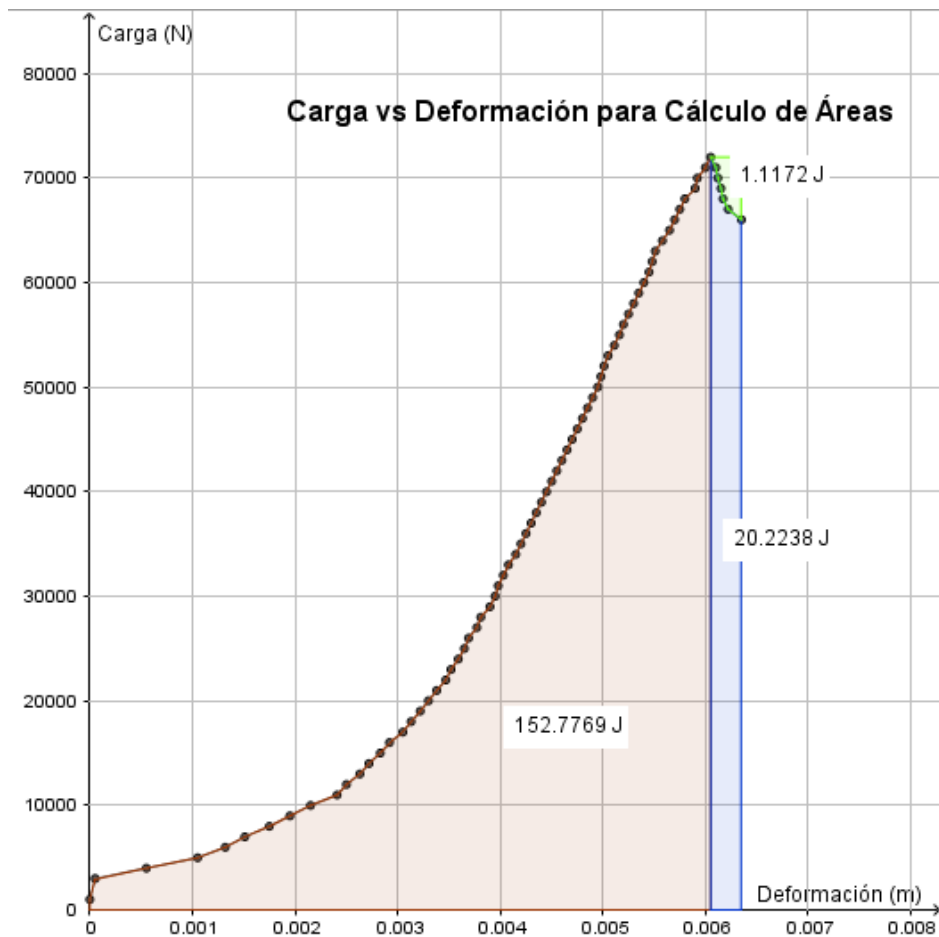


Figura 179. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE2

### 3.6.7.2 S/R- CE3



Figura 180. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE3

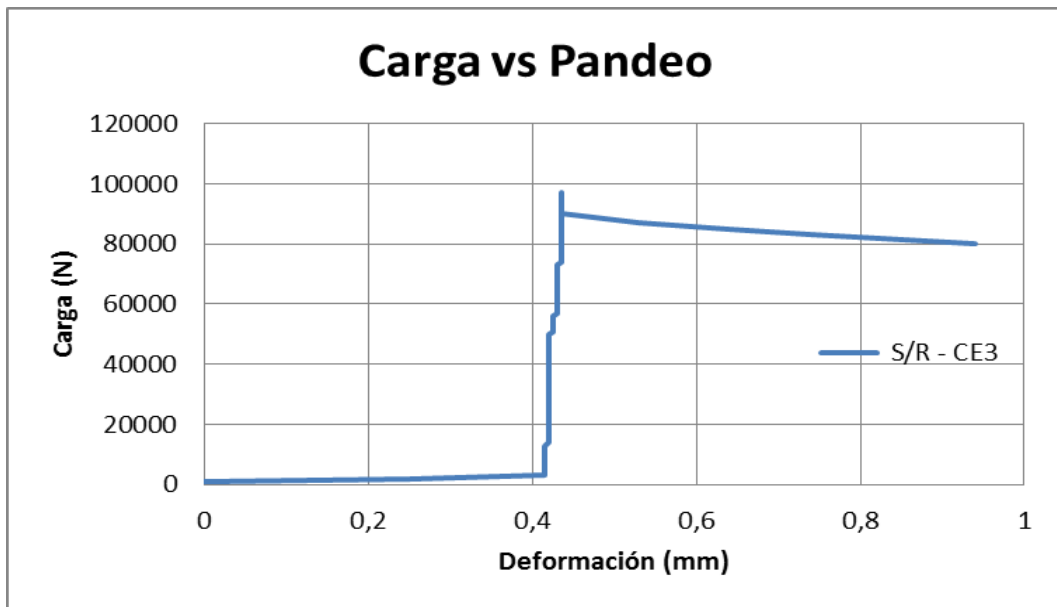
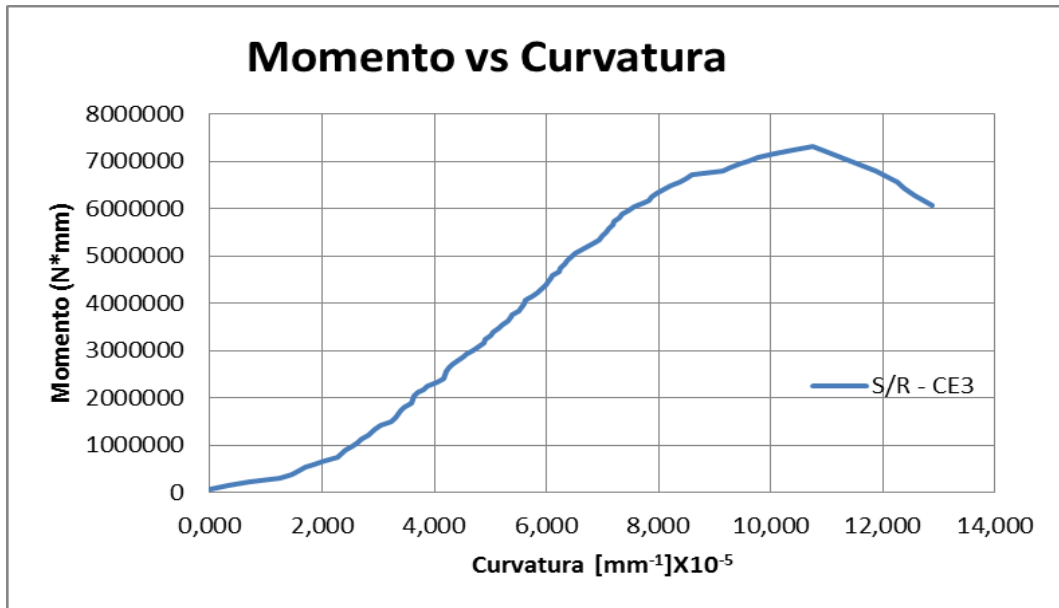
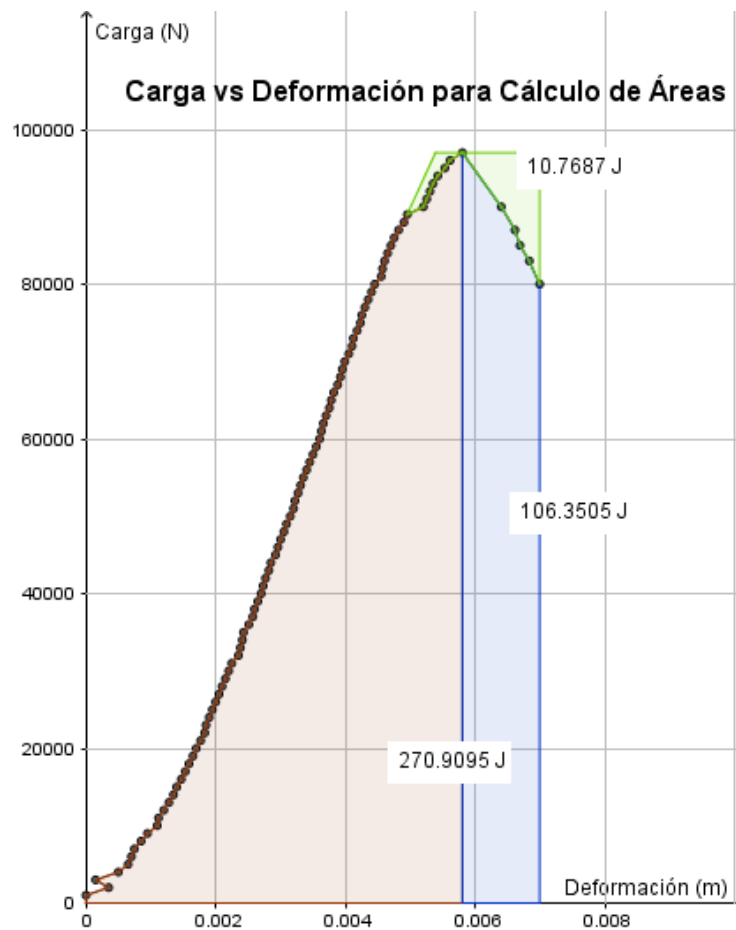


Figura 181. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE3



*Figura 182. Momento vs Curvatura S/R-CE3*



*Figura 183. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE3*

### 3.6.7.3 S/R- CE4

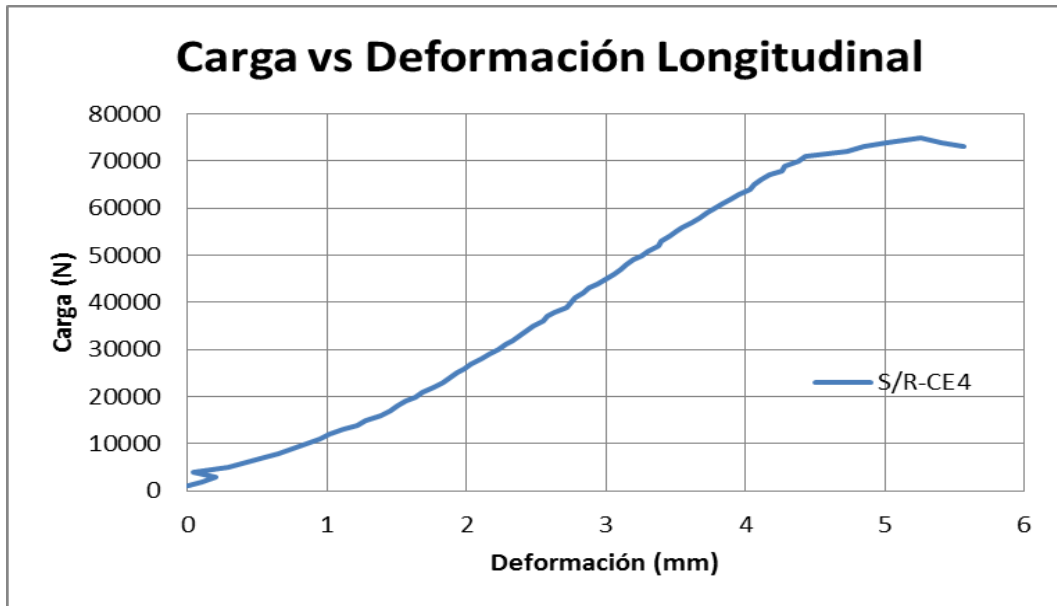


Figura 184. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal S/R-CE4

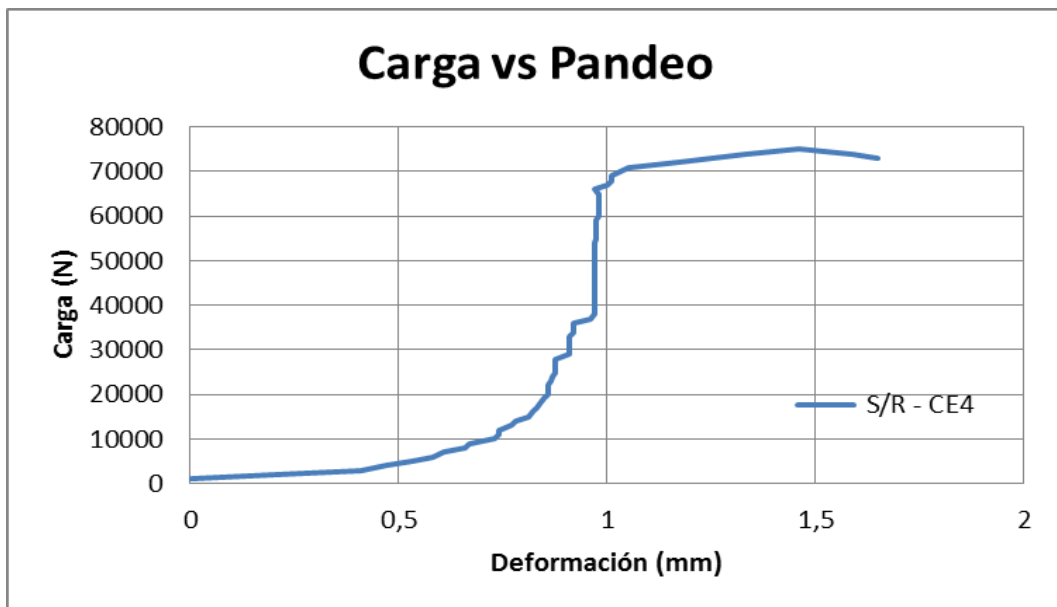
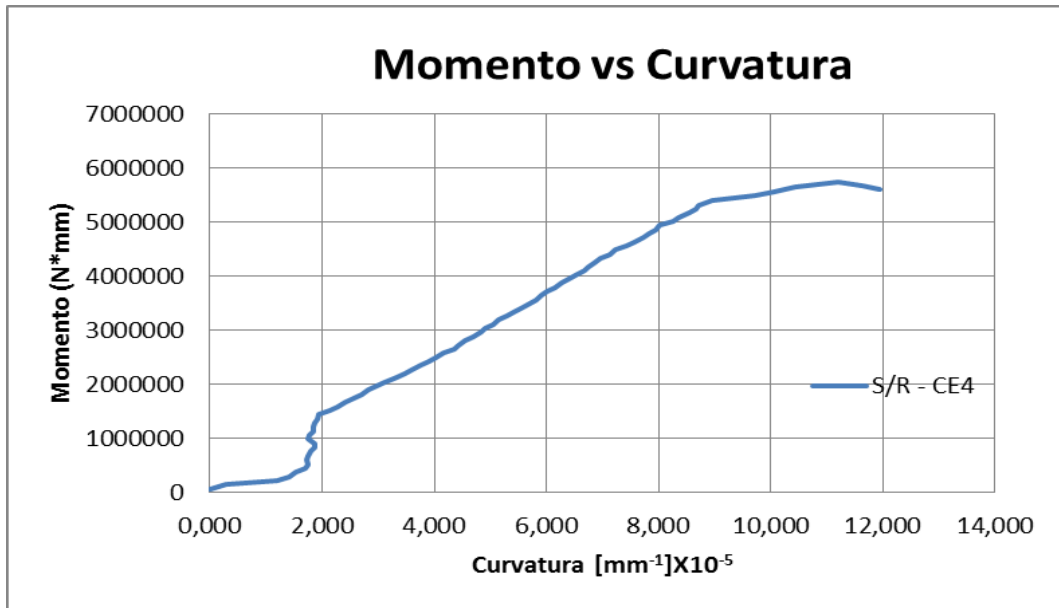
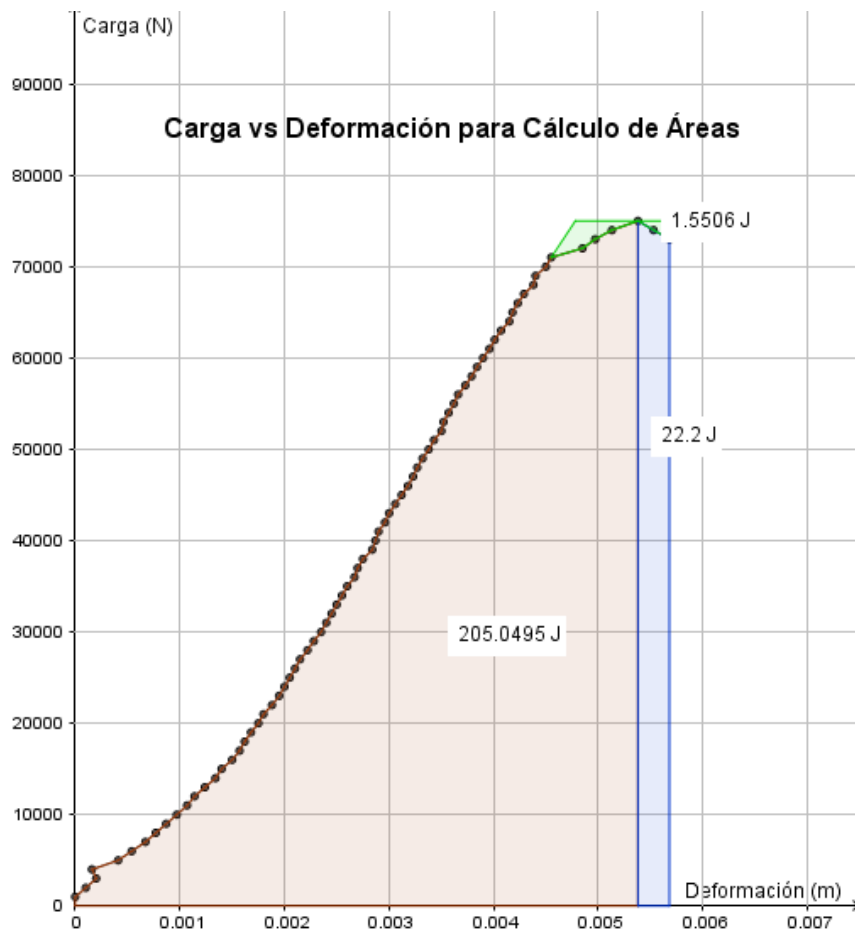


Figura 185. Diagrama Carga vs. Pandeo S/R-CE4



*Figura 186. Momento vs Curvatura S/R-CE4*



*Figura 187. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas S/R-CE4*

### 3.6.7.4 Resumen de columnas sin refuerzo sometidas a cargas excéntricas

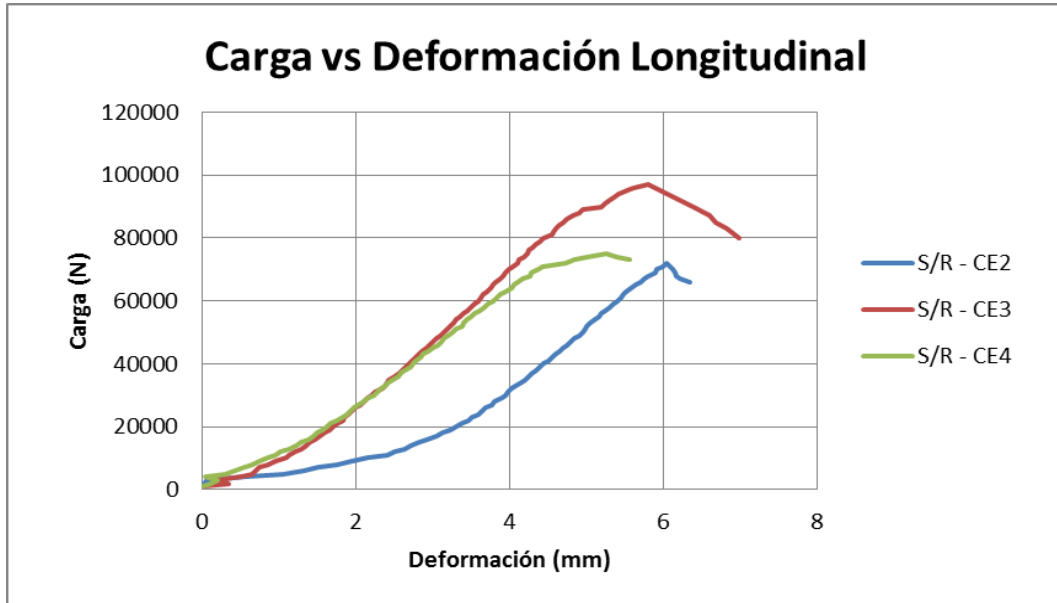


Figura 188. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: S/R-CE

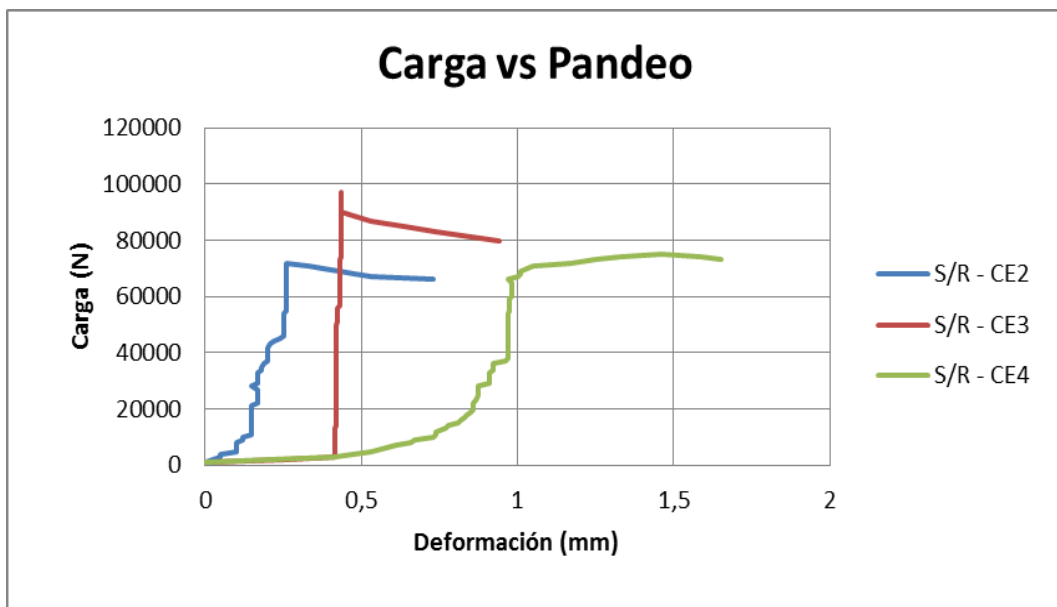


Figura 189. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: S/R-CE

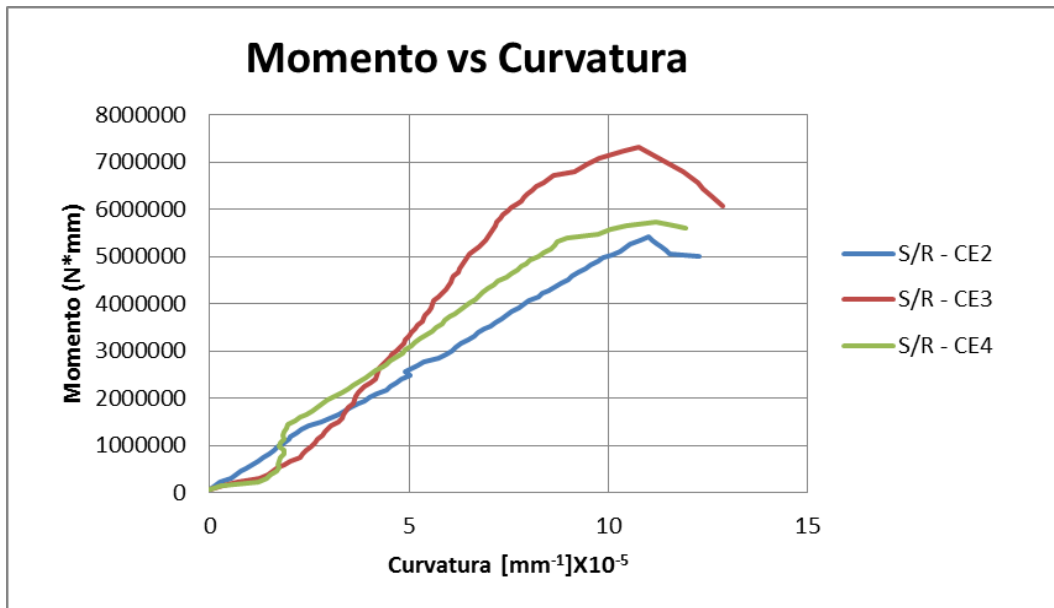


Figura 190. Momento vs Curvatura Resumen: S/R-CE

Tabla 30. Resumen de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas excéntricas

Tipo	Muestra	Carga Máxima (N)	Deformación Compresión (mm)	Deformación Pandeo (mm)	Momento 1er. Orden (N*mm)	Momento 2do. Orden (N*mm)	Curvatura (mm <sup>-1</sup> )*10 <sup>-5</sup>
Sin reforzo	CE2	72000	6,05	0,73	5400000	5418720	10,999
	CE3	97000	5,80	0,94	7275000	7317195	10,752
	CE4	75000	5,26	1,65	5625000	5734500	11,197
<b>Media</b>		81333,33	5,70	1,11	6100000	6156805	10,98
<b>Desviación Estándar</b>		13650,40	0,40	0,48	1023779,76	1017255,11	0,22
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		16,78	7,08	43,56	16,78	16,52	2,03

**Tabla 31** .Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas sin reforzamiento sometidas a cargas excéntricas

Tipo	Muestra	A total (N-m)	A post (N-m)	A peak (N-m)	A pr (N-m)	A ep (N-m)	Ductilidad de Energía (J/J)	Reserva de Energía de Deformación (J/J)	Energía Absorbida (J)	Índice de Tenacidad a Compresión (J/J)
Sin Refuerzo	CE2	173,0007	20,224	152,777	1,117	174,118	0,994	0,132	173,001	1,132
	CE3	377,26	106,351	270,910	10,769	388,029	0,972	0,393	377,260	1,393
	CE4	227,2495	22,200	205,050	1,551	228,8	0,993	0,108	227,250	1,108
	<b>Media</b>						0,99	0,21	259,17	1,21
<b>Desviación Estándar</b>						0,01	0,16	105,80	0,16	
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>						1,24	74,69	40,82	13,02	

$$Ductilidad\ de\ Energía = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$Reserva\ de\ Energía = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

$$Energía\ Absorbida = A_{total}$$

$$Índice\ de\ Tenacidad\ a\ la\ Compresión = \frac{A_{tot}}{A_{peak}}$$

### 3.6.8 Ensayo de columnas con reforzamiento sometida a carga excéntrica

#### 3.6.8.1 C/R- CE1

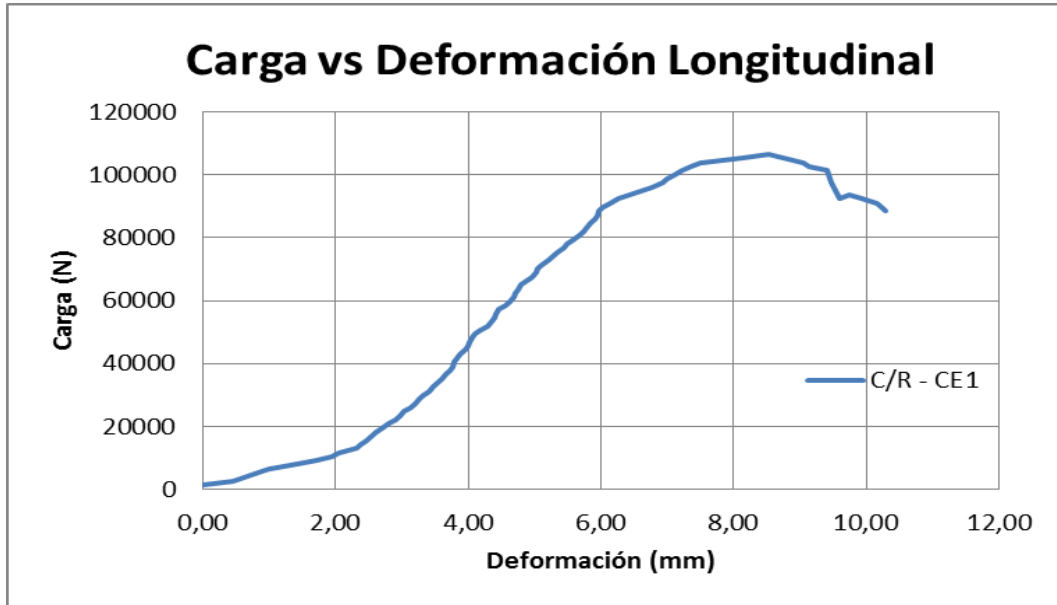


Figura 191. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE1

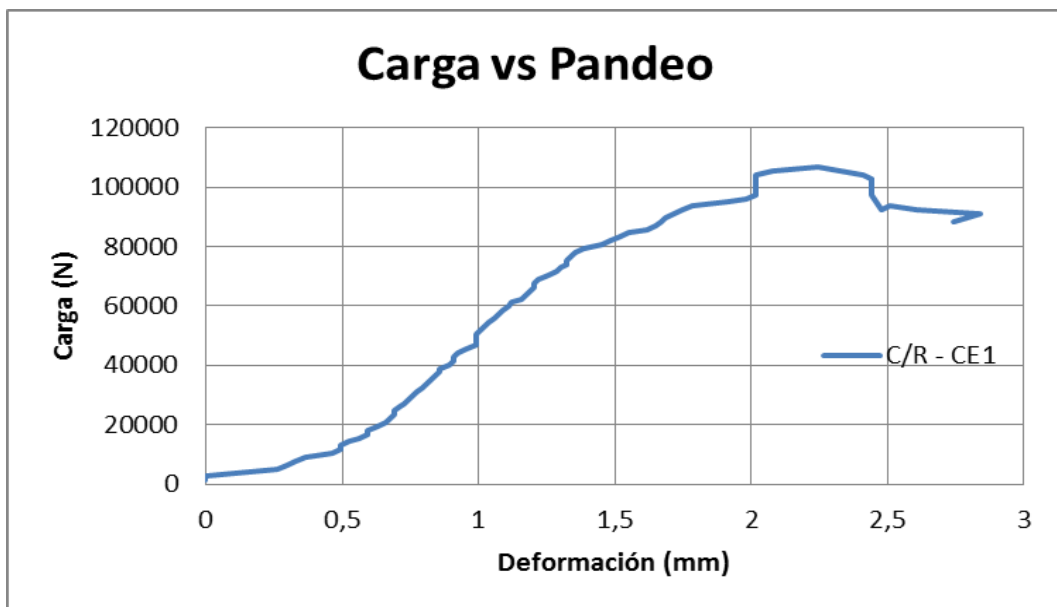
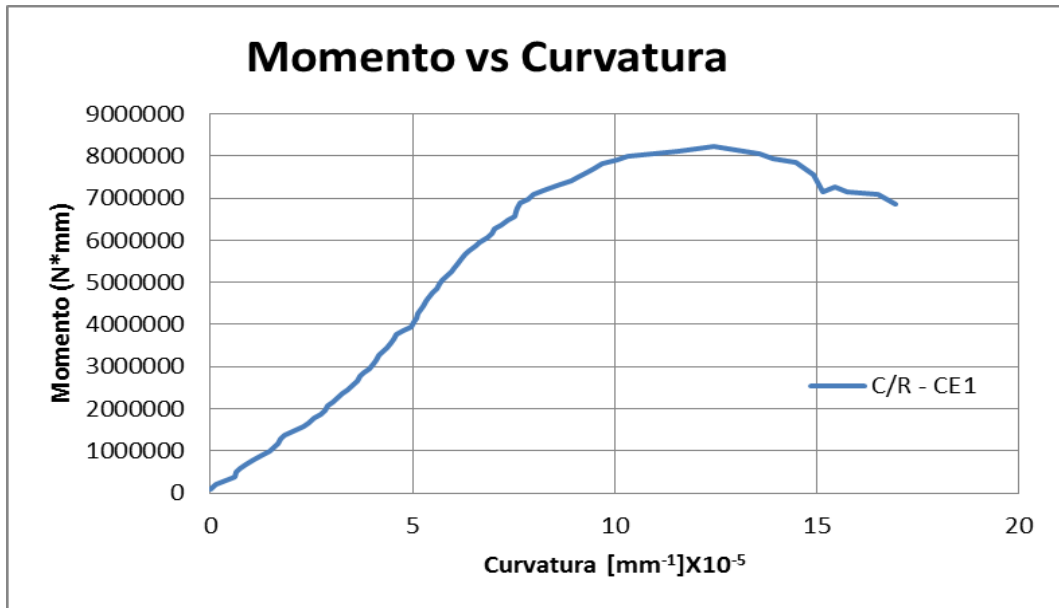
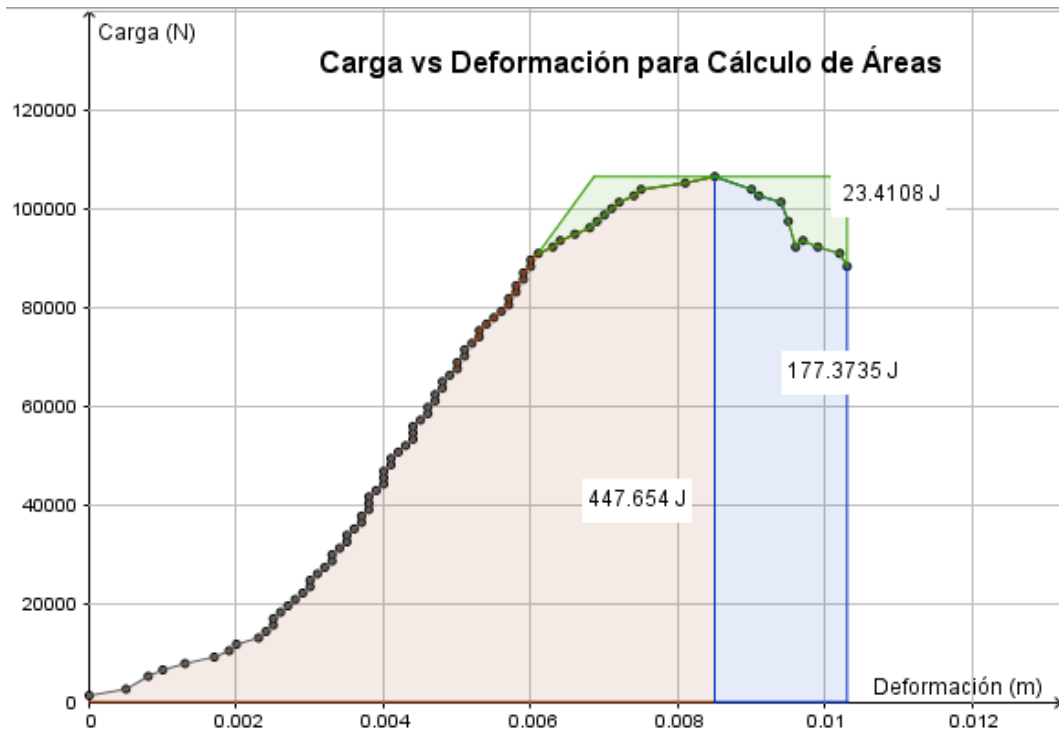


Figura 192. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE1



*Figura 193. Momento vs Curvatura C/R-CE1*

*Figura 194. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE1*



### 3.6.8.2 C/R- CE2

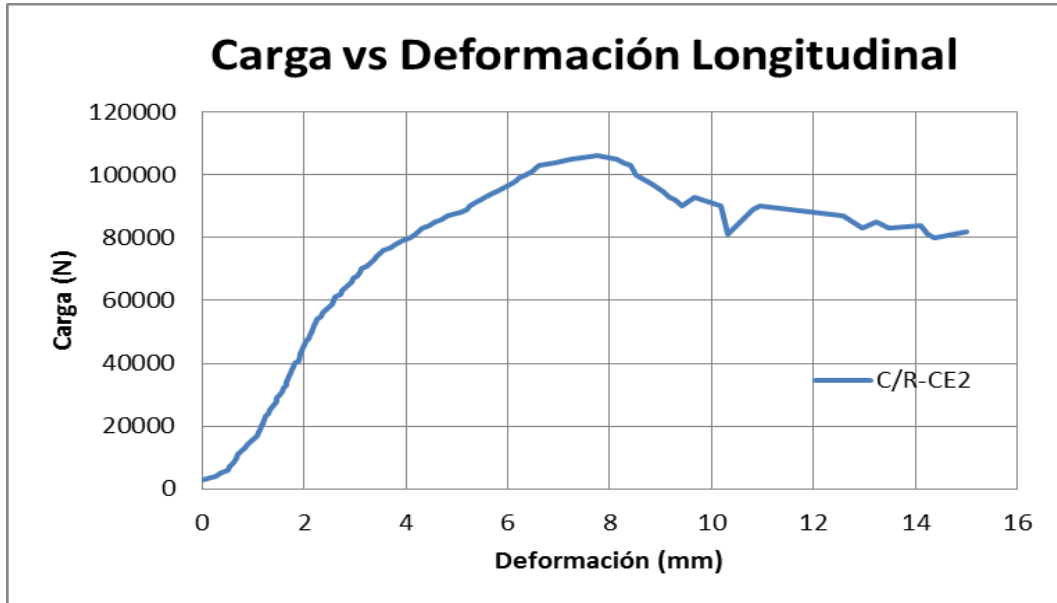


Figura 195. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE2

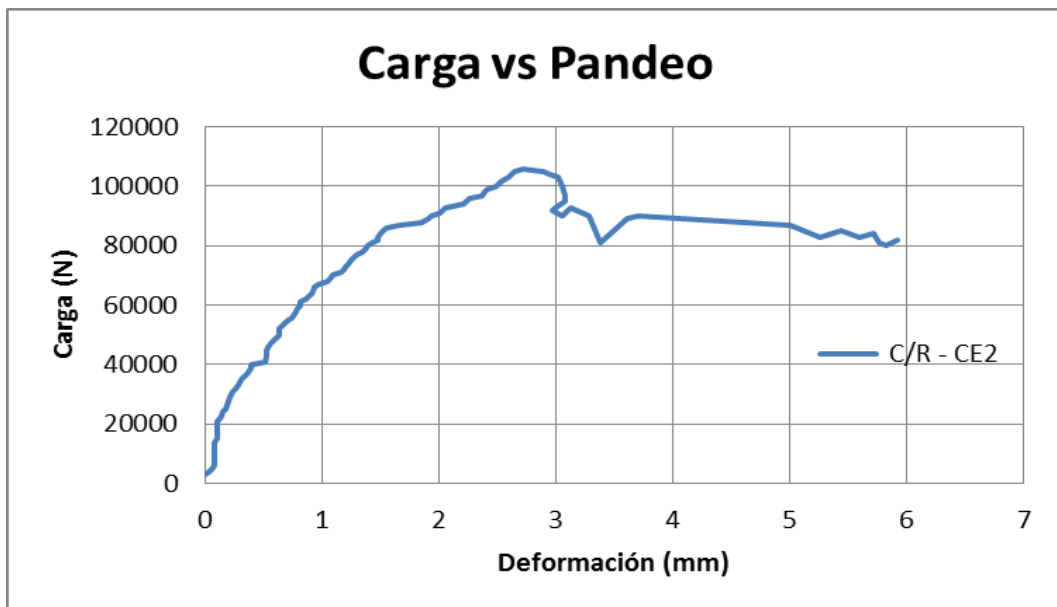
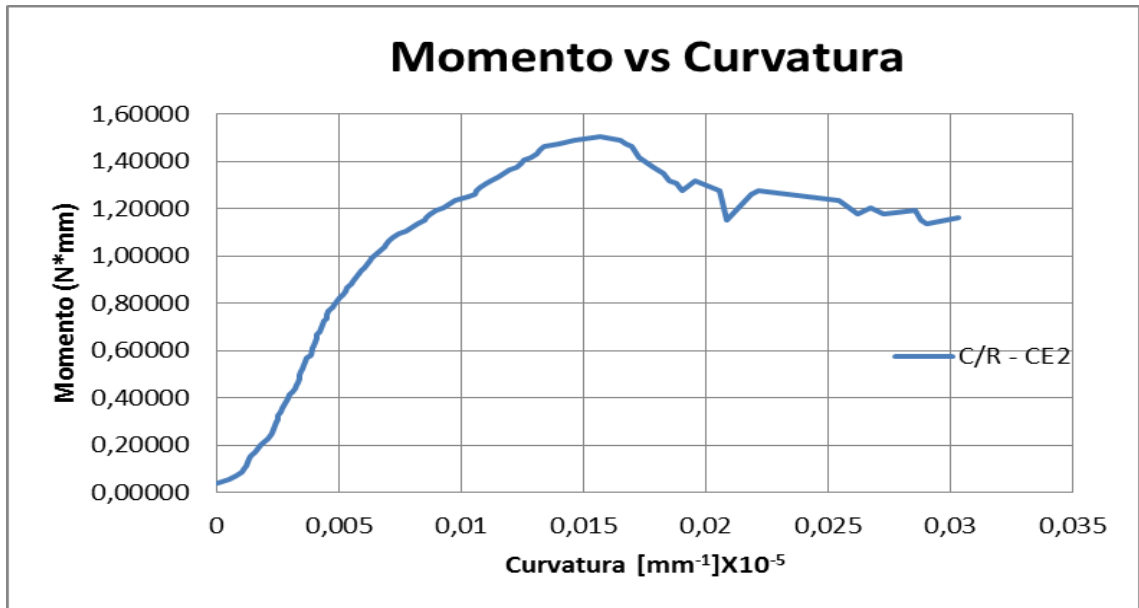
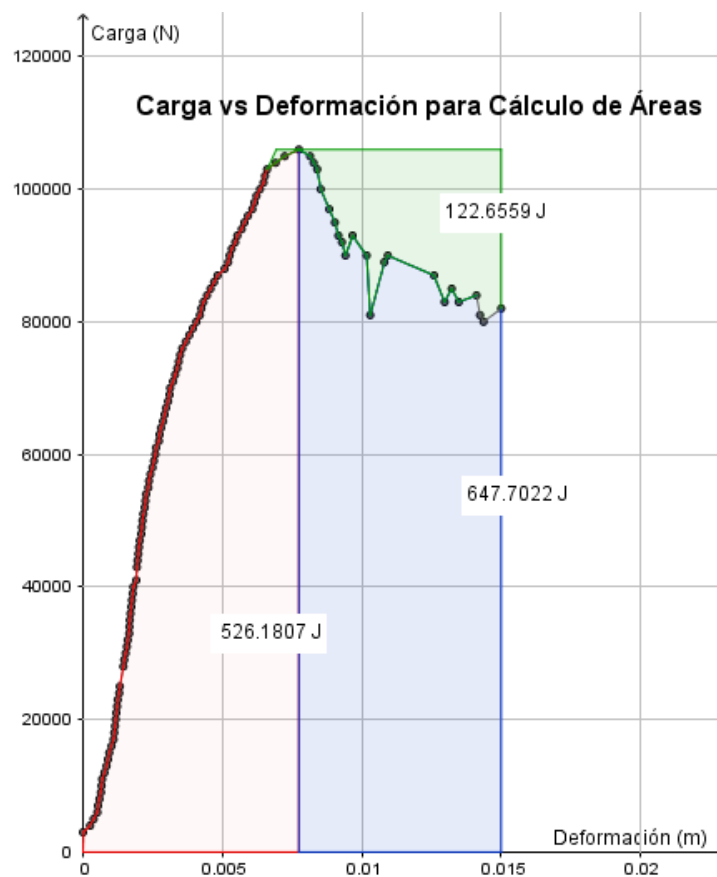


Figura 196. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE2



*Figura 197. Momento vs Curvatura C/R-CE2*



*Figura 198. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE2*

### 3.6.8.3 C/R- CE3

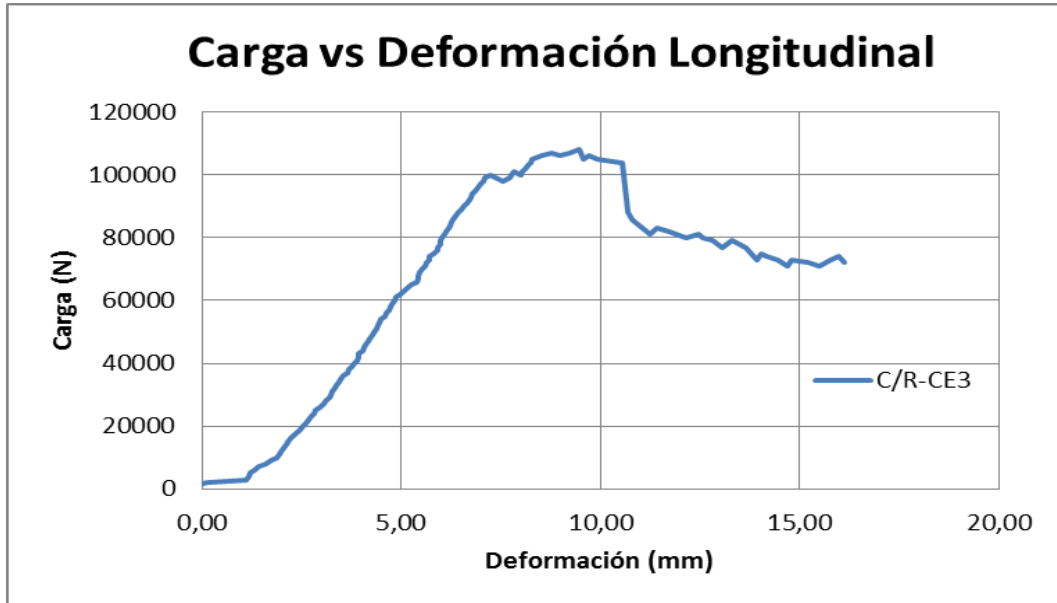


Figura 199. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE3

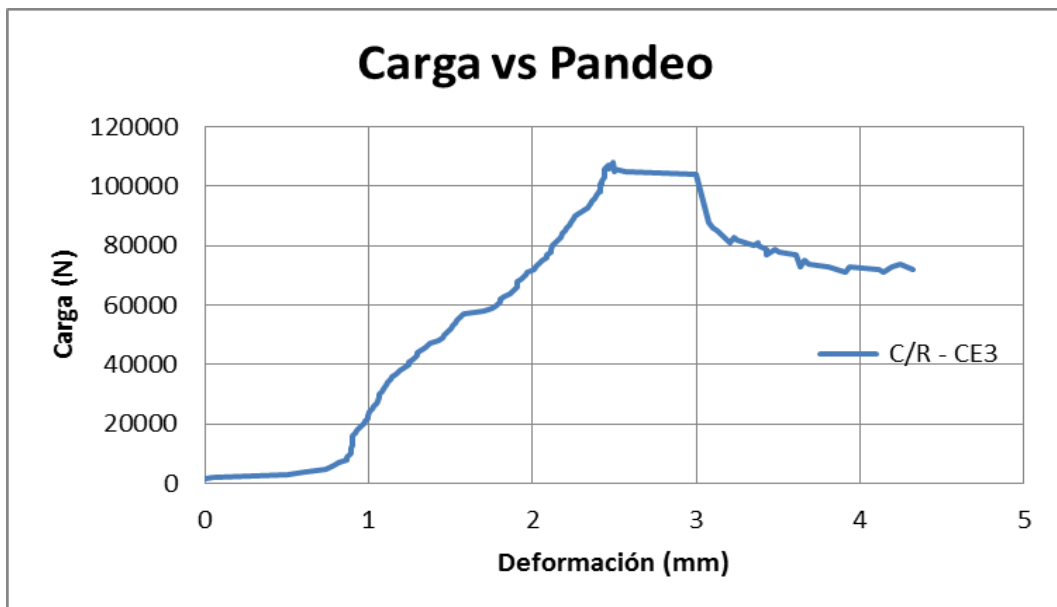
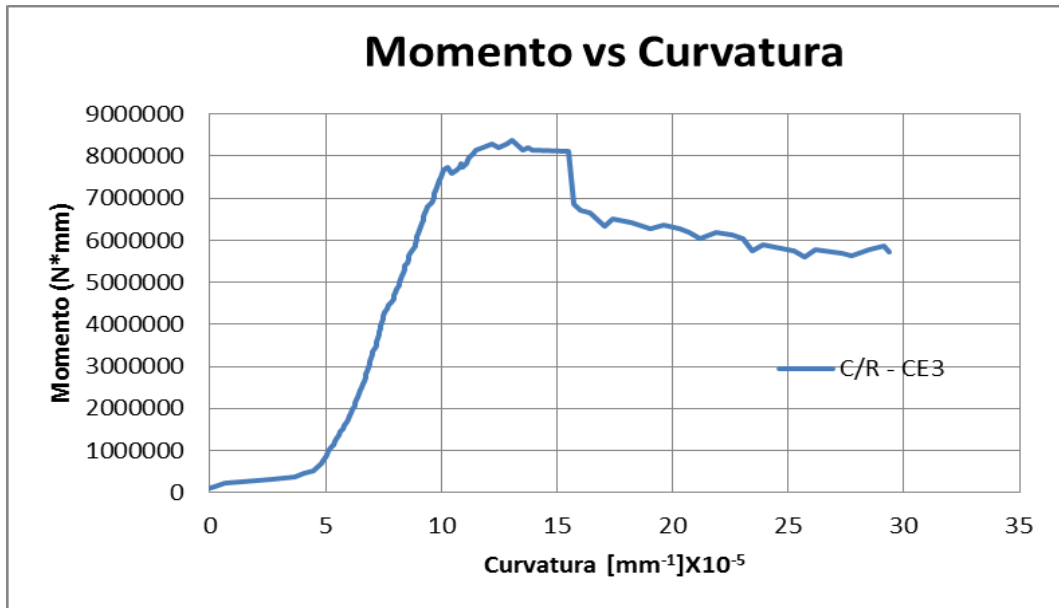
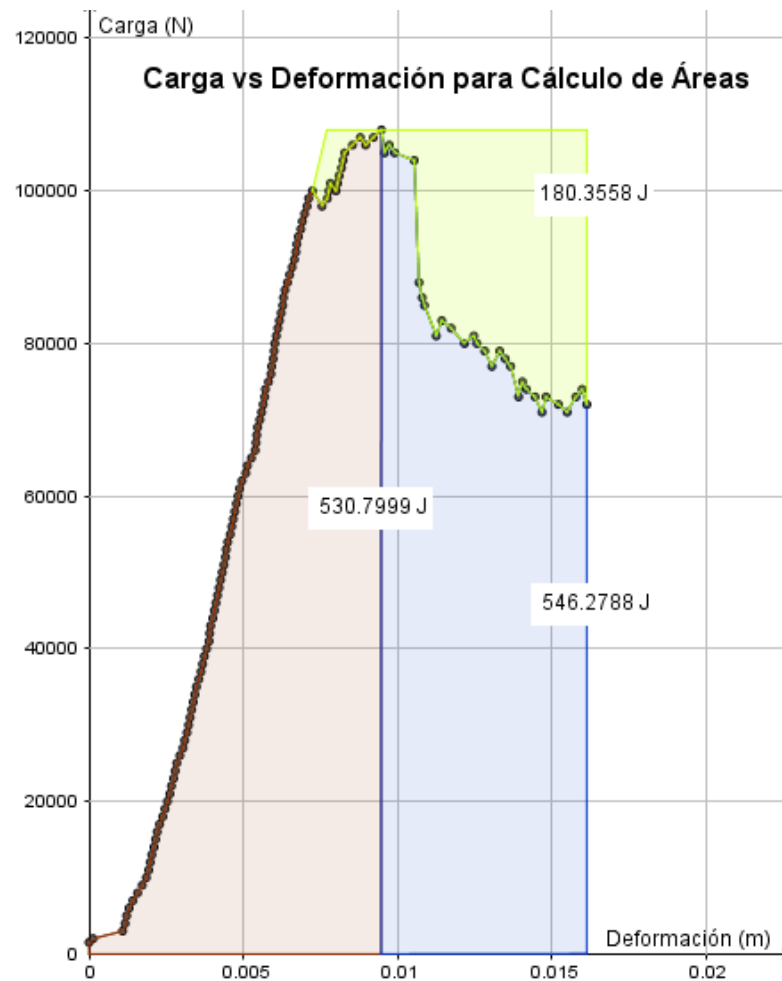


Figura 200. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE3



*Figura 201. Momento vs Curvatura C/R-CE3*



*Figura 202. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE3*

### 3.6.8.4 C/R- CE4



Figura 203. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal C/R-CE4

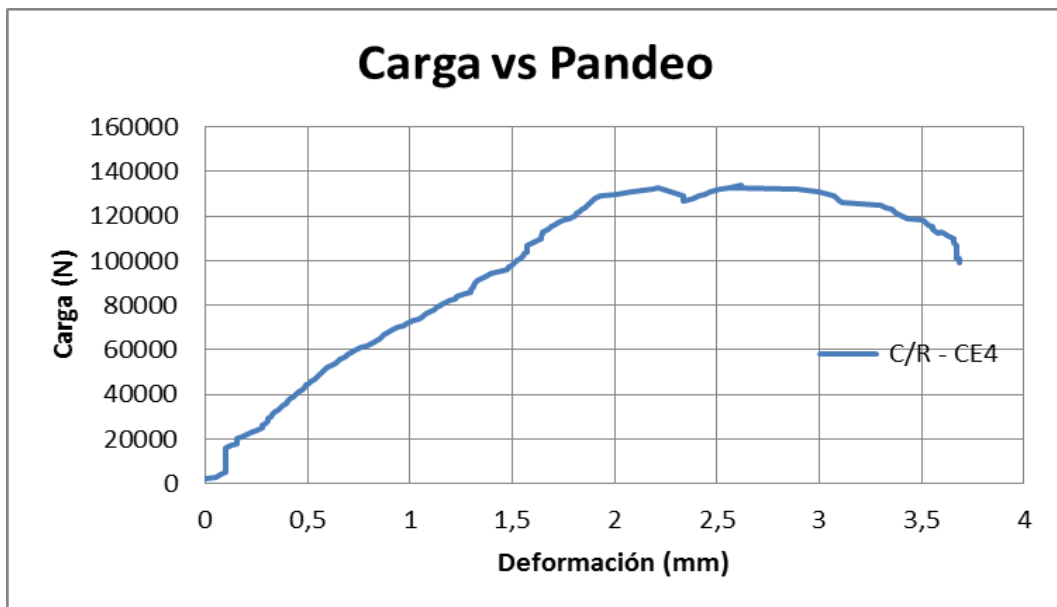
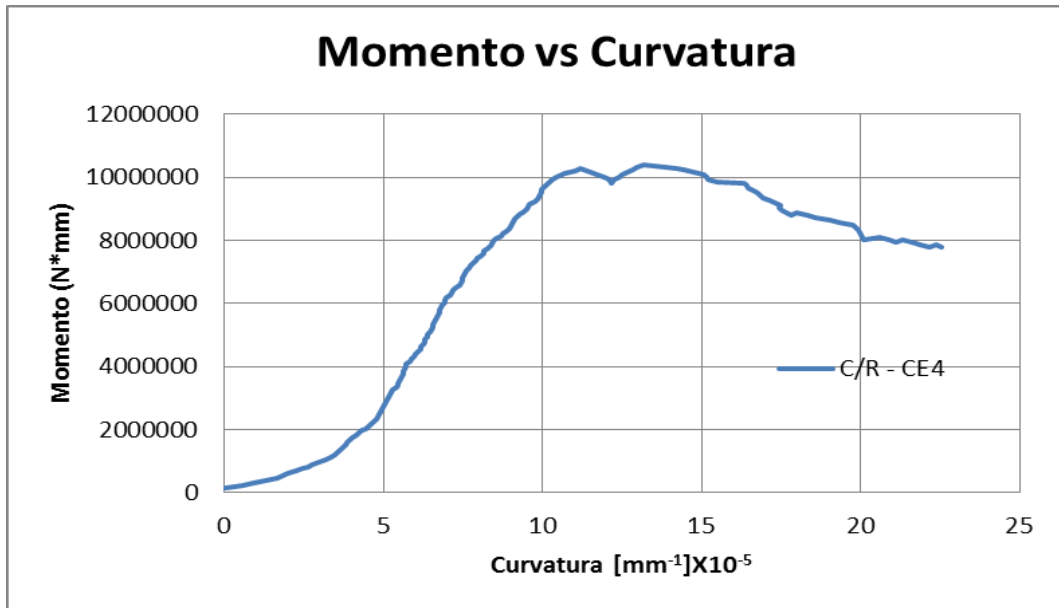
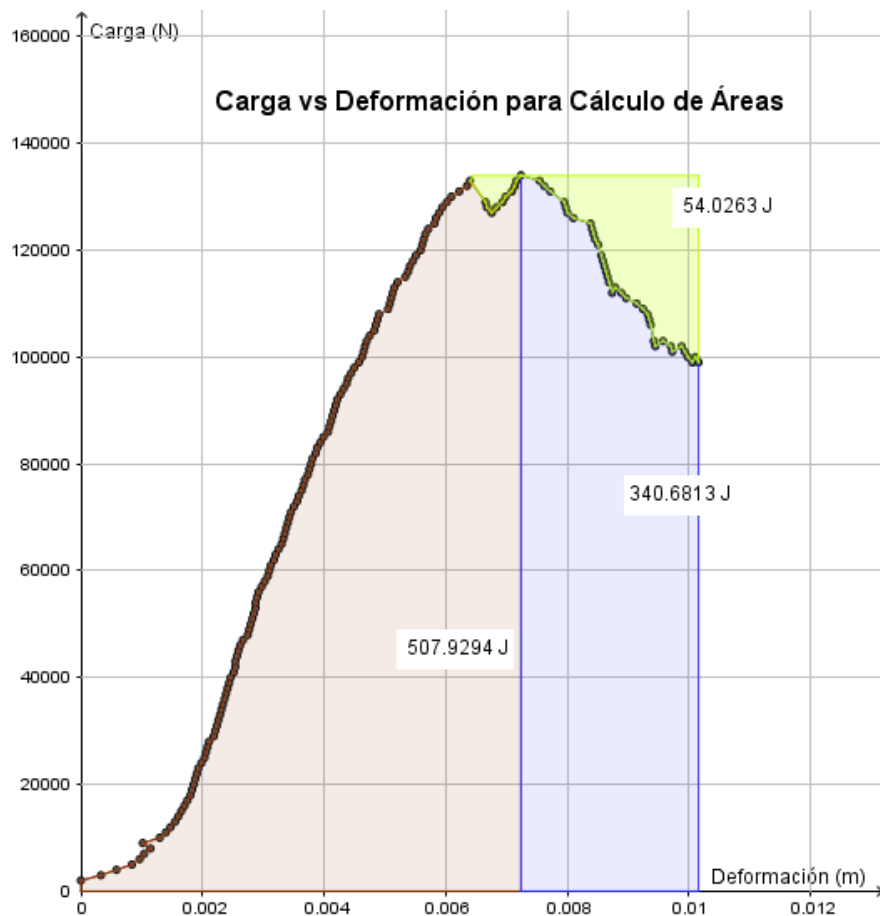


Figura 204. Diagrama Carga vs. Pandeo C/R-CE4



*Figura 205. Momento vs Curvatura C/R-CE4*



*Figura 206. Diagrama Carga vs. Deformación para cálculo de áreas C/R-CE4*

### 3.6.8.5 Resumen de columnas con refuerzo sometidas a cargas excéntricas

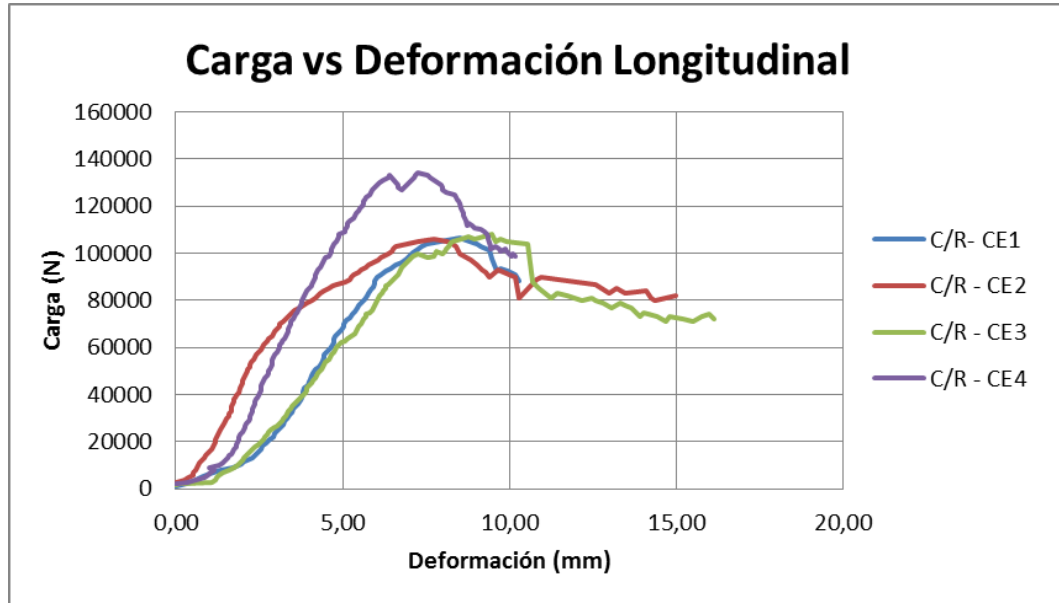


Figura 207. Diagrama Carga vs. Deformación Longitudinal Resumen: C/R-CE

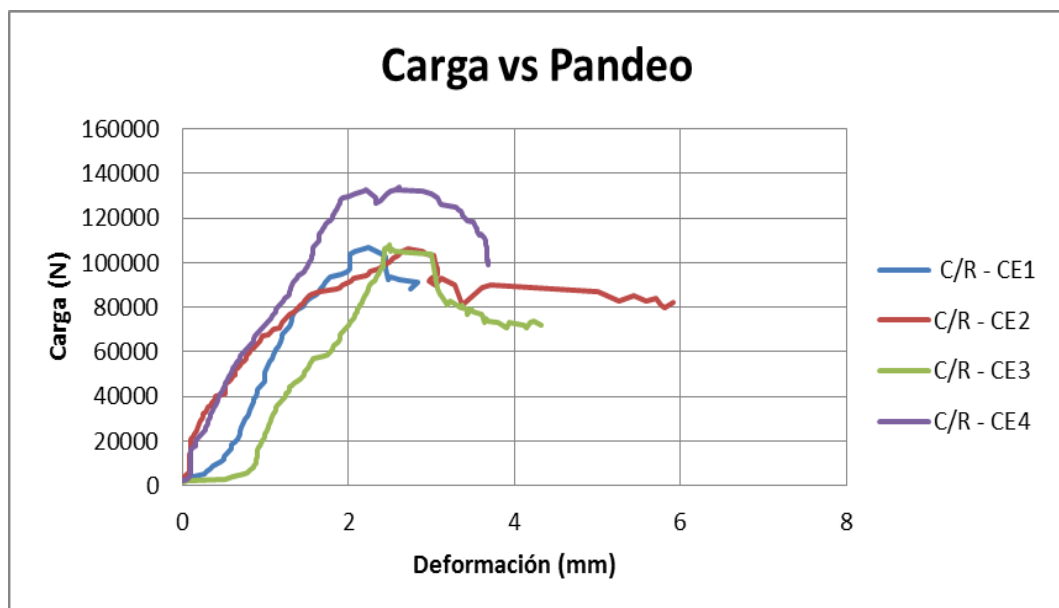


Figura 208. Diagrama Carga vs. Pandeo Resumen: C/R-CE

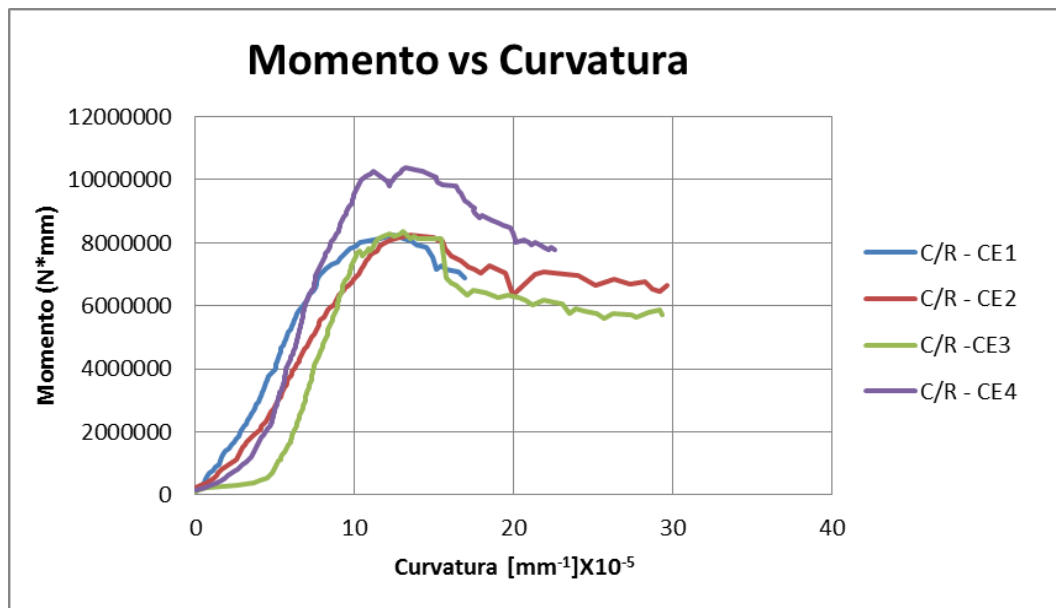


Figura 209. Momento vs Curvatura Resumen: C/R-CE

Tabla 32. Resultados de columnas con reforzamiento sometidas a cargas excéntricas

Tipo	Columna	Carga Máxima (N)	Deformación Compresión (mm)	Deformación Pandeo (mm)	Momento 1er. Orden (N*mm)	Momento 2do. Orden (N*mm)	Curvatura (mm <sup>-1</sup> )*10 <sup>-5</sup>
Con reforzamiento	CE1	106600	8,519	2,741	7995000	8234355,4	12,454
	CE2	106000	7,747	5,918	7950000	8238086,8	13,539
	CE3	108000	9,470	4,318	8100000	8368833,6	13,059
	CE4	134000	7,239	3,683	10050000	10400570,8	13,191
<b>Media</b>		113650,00	8,24	4,33	8523750,00	8810461,64	13,06
<b>Desviación Estándar</b>		13592,52	0,97	1,34	1019439,18	1061915,54	0,45
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		11,96	11,79	30,90	11,96	12,05	3,47

**Tabla 33.** Resumen de índices de ductilidad y energía de columnas con reforzamiento sometidas a cargas excéntricas

Tipo	Columna	A total (N-m)	A post (N-m)	A peak (N-m)	A pr (N-m)	A ep (N-m)	Ductilidad de Energía (J/J)	Reserva de Energía de Deformación (J/J)	Energía Absorbida (J)	Índice de Tenacidad a Compresión (J/J)
Con refuerzo	CE1	625,03	177,37	447,65	23,41	648,44	0,964	0,396	625,028	1,396
	CE2	1173,88	647,70	526,18	122,66	1296,54	0,905	1,231	1173,883	2,231
	CE3	1077,08	546,28	530,80	180,36	1257,43	0,857	1,029	1077,079	2,029
	CE4	848,61	340,68	507,93	54,03	902,64	0,940	0,671	848,611	1,671
<b>Media</b>							0,92	0,83	931,15	1,83
<b>Desviación Estándar</b>							0,05	0,37	245,45	0,37
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>							5,09	44,66	26,36	20,28

$$Ductilidad\ de\ Energía = \frac{A_{tot}}{A_{ep}}$$

$$Reserva\ de\ Energía = \frac{A_{post}}{A_{peak}}$$

$$Energía\ Absorbida = A_{total}$$

$$Índice\ de\ Tenacidad\ a\ la\ Compresión = \frac{A_{tot}}{A_{peak}}$$

### 3.6.8.6 Comparación de Columnas sin Reforzamiento y Con Reforzamiento.

#### 3.6.8.6.1 Columnas Concéntricas

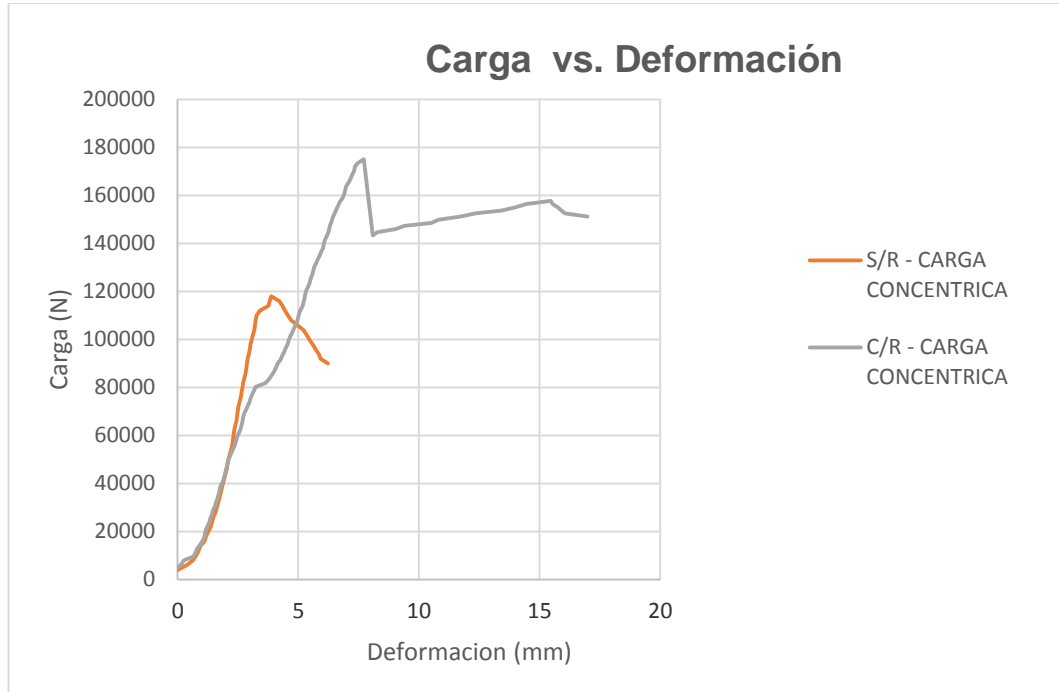


Figura 210. Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Columnas Concéntricas S/R y C/R

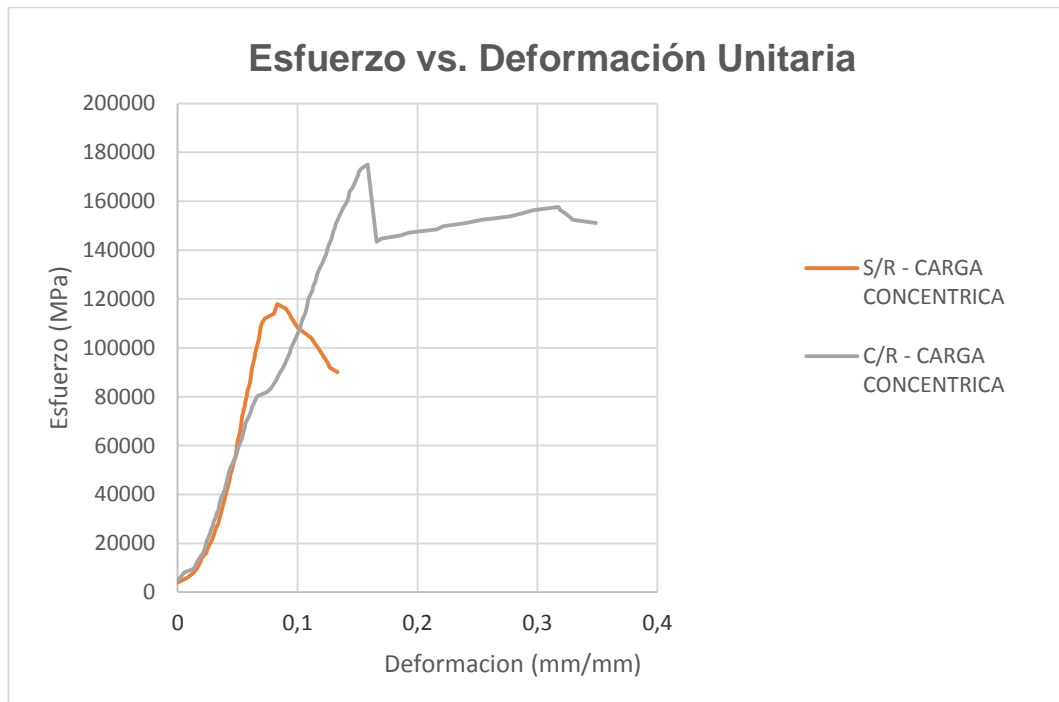
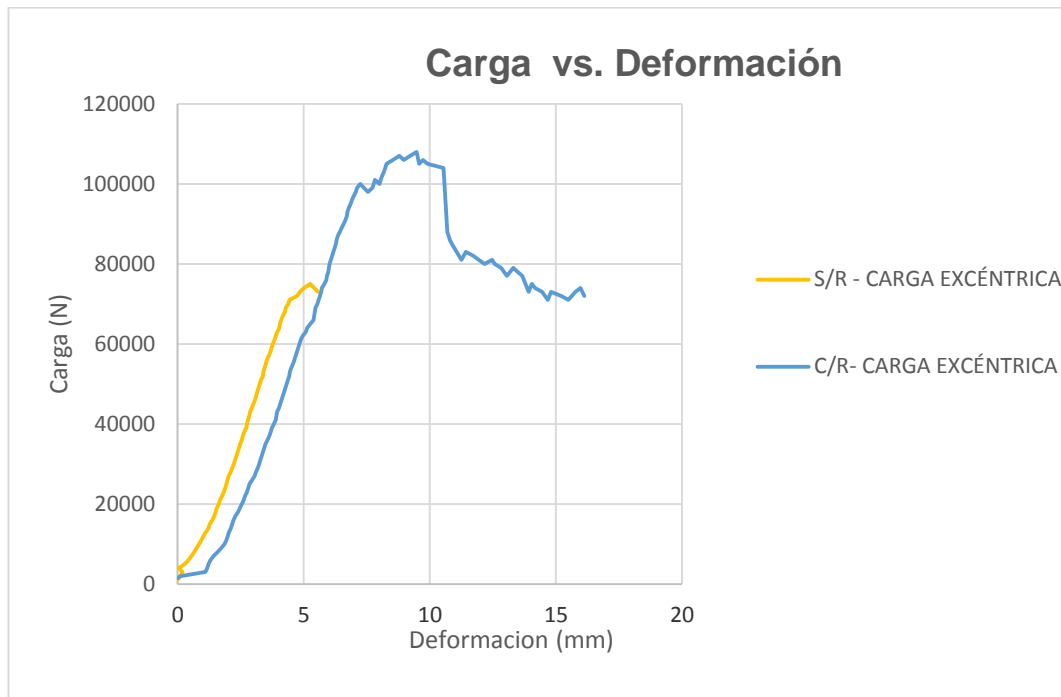
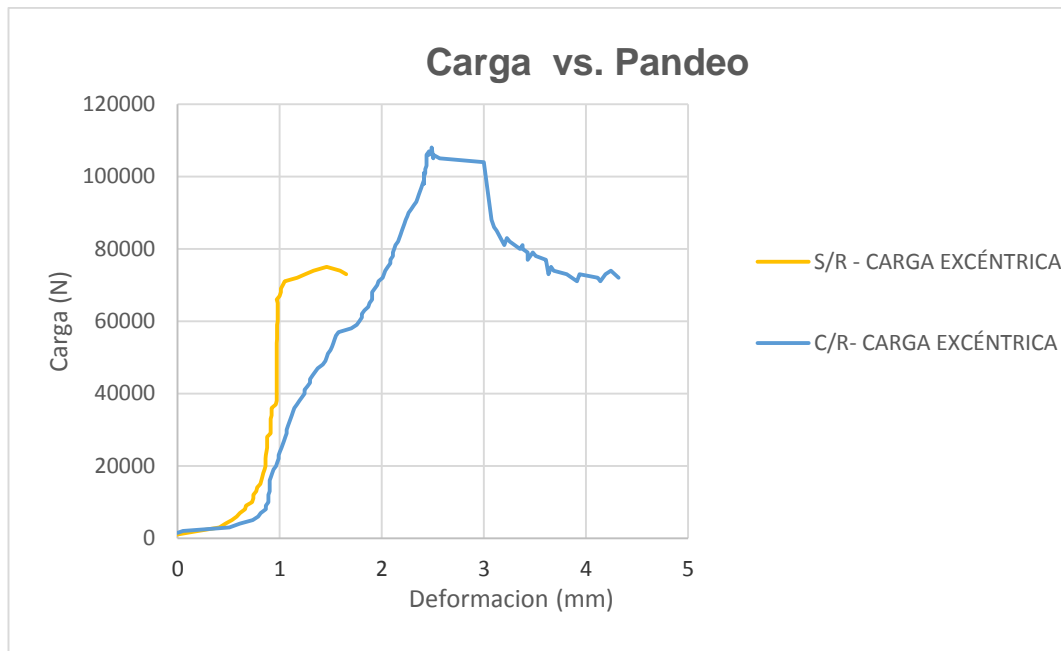


Figura 211. Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Columnas Concéntricas S/R y C/R

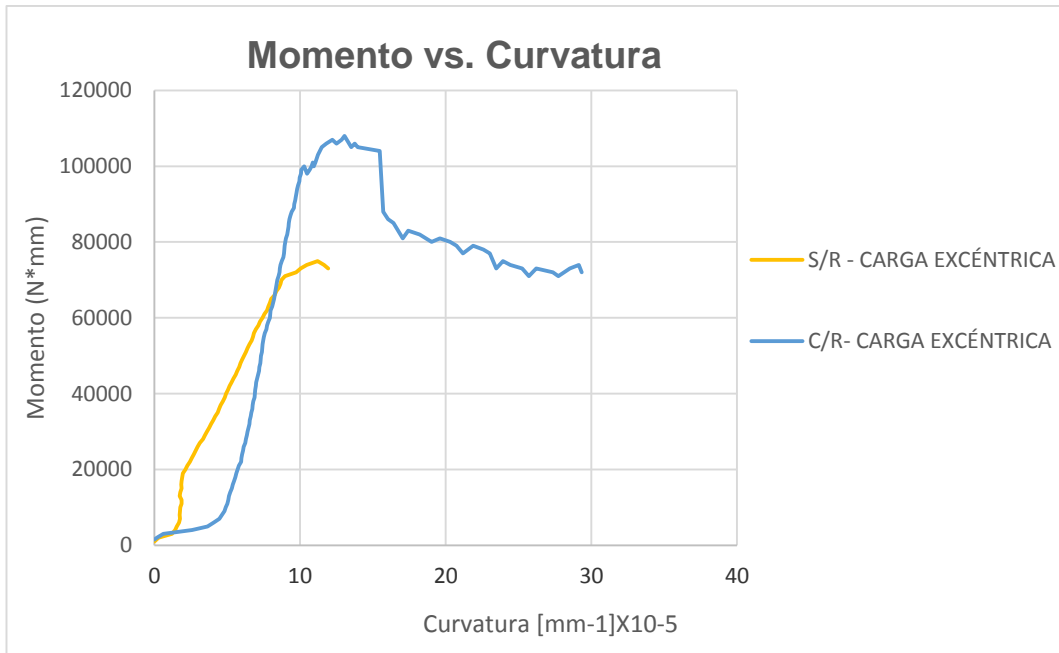
### 3.6.8.6.2 Columnas Excéntricas



**Figura 212.** Comparación Diagrama Carga vs Deformación de Columnas Excéntricas S/R y C/R



**Figura 213.** Comparación Diagrama Carga vs Pandeo de Columnas Excéntricas S/R y C/R



**Figura 214.** Comparación Diagrama Momento vs Curvatura de Columnas Excéntricas S/R y C/R

## CAPITULO IV

### 4 DISCUSIÓN

- Se realizó la caracterización del ladrillo donde obtuvimos resultados que en comparación con la guía para el análisis de estructuras en mampostería de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural que nuestro ladrillo es un 9.04% más resistente a compresión, 2.56 MPa más resistente a flexión, 7.92% más absorbente y 22.59 % más denso, esto se puede dar por la docilidad de los materiales de elaboración del ladrillo al no existir mayor diferencia podemos decir que los ensayos se realizaron correctamente.
- El mortero 1:4, muestra un mortero fluido y con un tiempo abierto bastante amplio, que permite elaborar sin complicación los especímenes, pilas, columnas y muestras a corte.
- Las particularidades del material compuesto FRCM se encuentran relacionadas con las propiedades mecánicas de la matriz cementicia y el reforzamiento con fibras. Para la caracterización de la fibra se realizó un análisis de los dos tipos de presentación que tiene el tejido; en rollos y sacos de cabuya. El tejido de sacos de cabuya sin resina es un 57,87% más resistente que el del rollo, el tejido de sacos de cabuya con resina es un 46,46 % más resistente que el del rollo, el tejido de rollo con resina es un 37,84% más resistente que uno sin resina, el tejido de sacos de cabuya supera en un 20,99 % a un tejido de saco sin resina; por estas razones el material que se utilizará para el refuerzo de las columnas será el tejido que viene en presentación de sacos.
- La matriz cementicia del material compuesto se realizó con una dosificación 1:1.10, pues este es resistente un 47,47 MPa a compresión, es un material fluido y nos da un tiempo abierto bastante amplio, que permite realizar el trabajo de reparación sin inconvenientes.

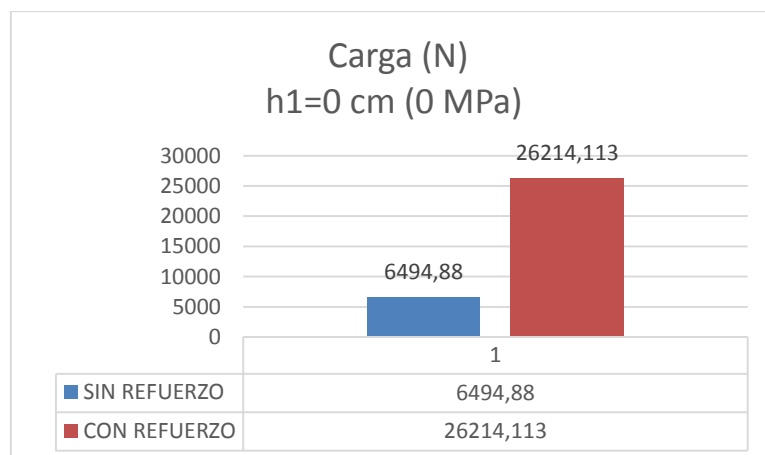
- El ensayo de probetas de material compuesto, permitió establecer la cantidad de layers de fibra óptimos que se usaran en el sistema de refuerzo de los modelos de concreto armado ya que, el ensayo de tracción muestra la curva esfuerzo vs. deformación donde a partir de la rotura de la matriz, los tejidos empiezan a trabajar superando el esfuerzo generado por el mortero, es decir existe una trasferencia de esfuerzos; pero al comparar la resistencia a tracción el material compuesto con 3 layers es un 5,168 MPa más resistente que el material compuesto con 1 layer, entre más número de tejidos más probabilidades tiene el material compuesto de que exista falla por delaminación.
- La combinación de material compuesto que presentó las mejores propiedades mecánicas a tracción fue la correspondiente a la configuración de la fibra del saco de cabuya en 3 layers, ya que esta permitió al compuesto superar en aproximadamente el 66,45 % al de 1 layer

### Corte

- La carga y el esfuerzo que se observa en las probetas de corte sin el sistema de refuerzo FRCM es relativamente baja, si la relacionamos con las probetas en las que se aplica el sistema FRCM.

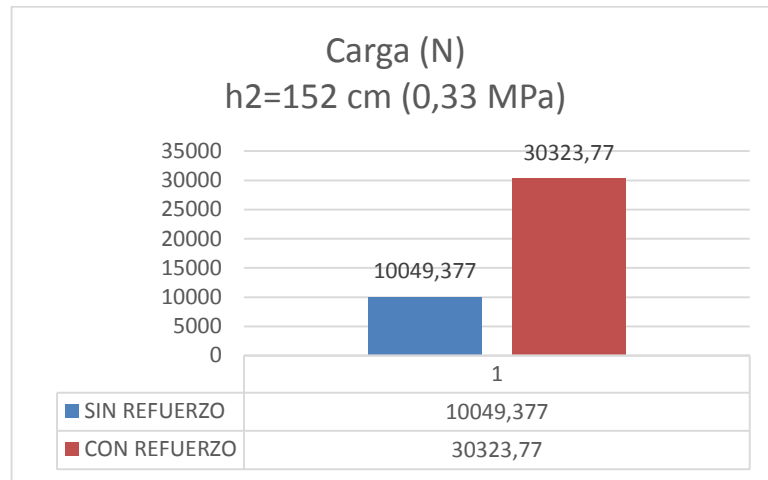
Probetas sometidas al ensayo de corte con reforzamiento:

- $h_1=0$  cm (pre-compresión= 0 MPa) soportan un 75,22 % más que las probetas sin reforzamiento.



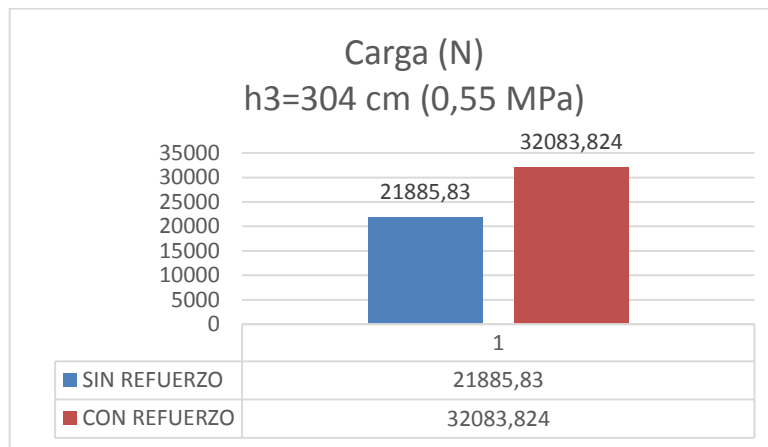
**Figura 215.** Comparación probeta Carga  $h_1=0$ cm (pre-compresión lateral=0MPa) S/R y C/R

- h2=152 cm (pre-compresión= 0,33 MPa) soportan un 66,86 % más que las probetas sin reforzamiento.



**Figura 216.** Comparación probeta Carga h2=152cm (pre-compresión lateral=0,33MPa) S/R y C/R

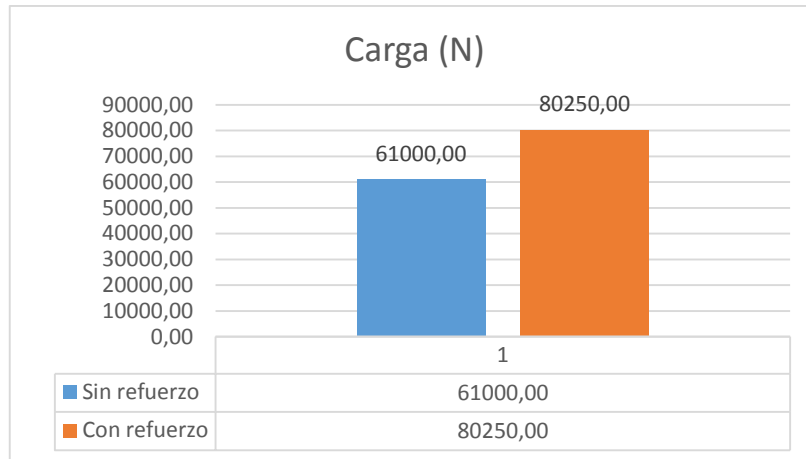
- h3=304 cm (pre-compresión= 0,55 MPa) soportan un 31,58 % más que las probetas sin reforzamiento.



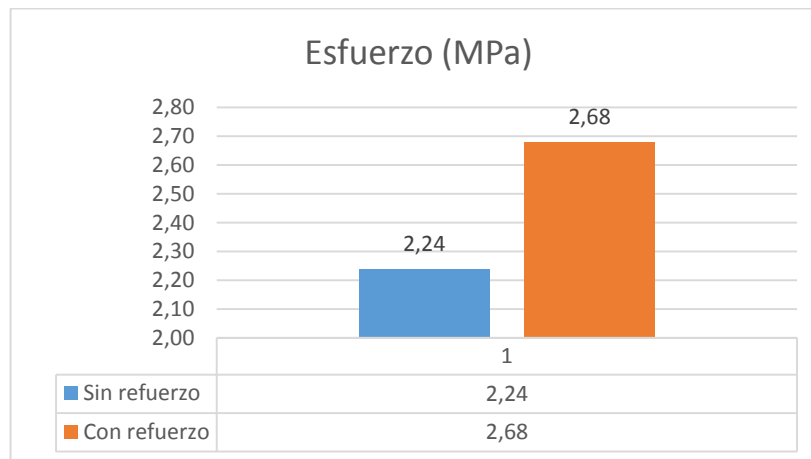
**Figura 217.** Comparación probeta Carga h3=304cm (pre-compresión lateral=0,55MPa) S/R y C/R

## Pilas

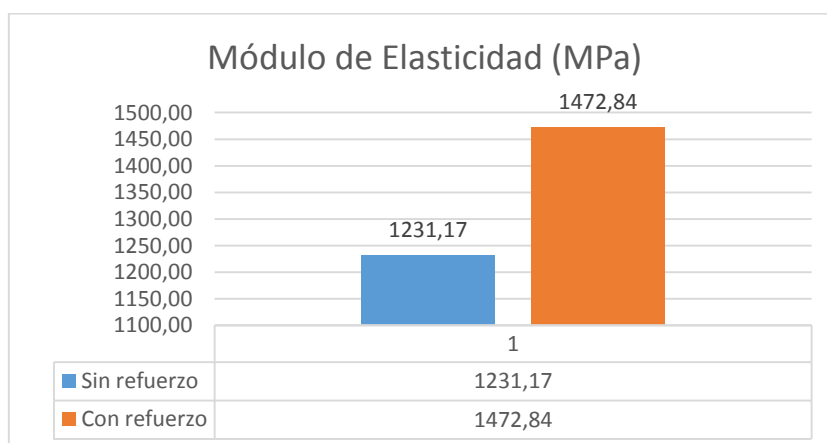
- La carga, esfuerzo y el módulo de elasticidad que se observa en las pilas sin el sistema de reforzamiento FRCM es relativamente baja, si la relacionamos con las pilas en las que se aplica el sistema FRCM



**Figura 218.** Comparación Carga de Pilas S/R y C/R



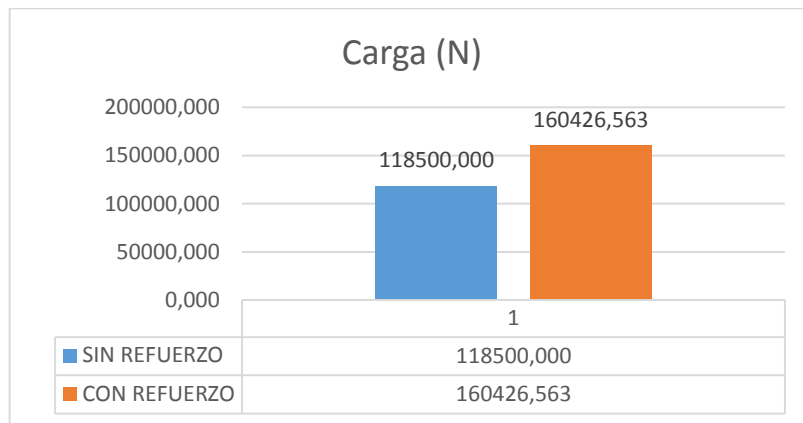
**Figura 219.** Comparación Esfuerzo de Pilas S/R y C/R



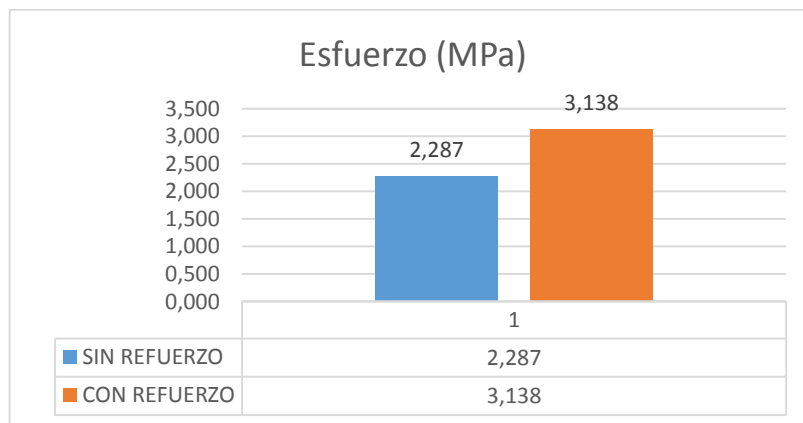
**Figura 220.** Comparación Módulo de Elasticidad Esfuerzo de Pilas S/R y C/R

## Columnas sometidas a carga axial concéntrica.

- La carga y esfuerzo que se observan en las columnas sin el sistema de refuerzo FRCM es relativamente baja si la relacionamos con las columnas en las que se aplica el sistema FRCM. Las columnas con reforzamiento soportan un 26,13 % más que las columnas sin reforzamiento.

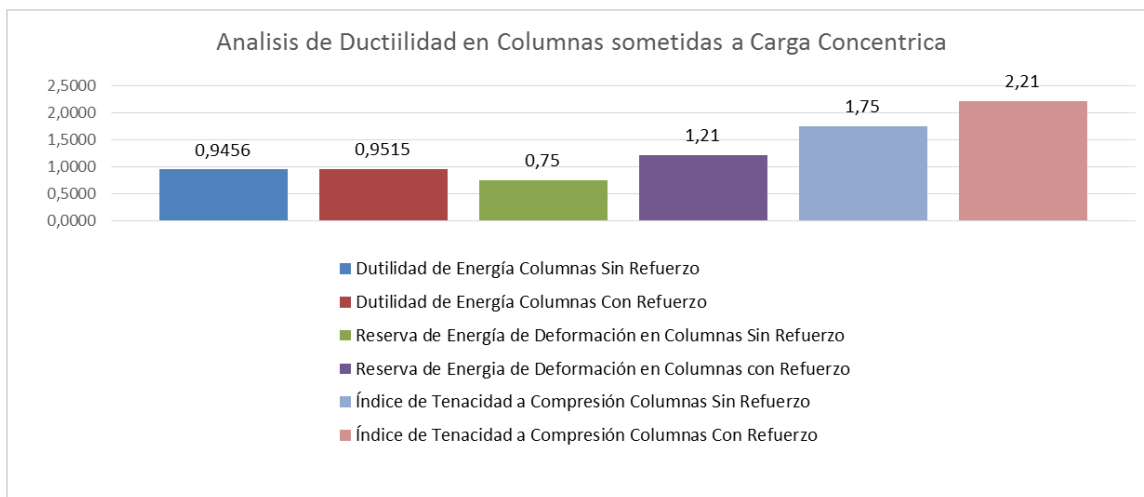


**Figura 221.** Comparación Carga de Columnas Concéntricas S/R y C/R



**Figura 222.** Comparación Esfuerzo de Columnas Concéntricas S/R y C/R

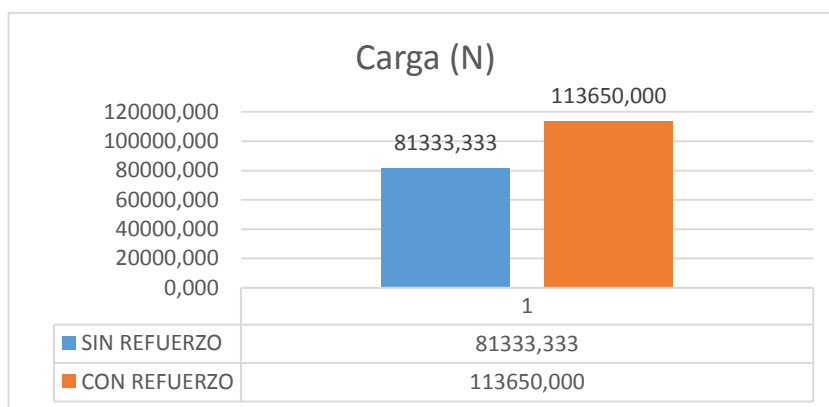
- En el análisis de columnas sometidas a carga concéntrica se observa que tanto en la ductilidad de energía, reserva de energía e índice de tenacidad las columnas que cuentan con el refuerzo FRCM a base de sisal poseen valores mayores.



**Figura 223.** Análisis de Ductilidad en Columnas sometidas a Carga Concéntrica

### **Columnas sometidas a carga excéntrica**

- La carga que se observa en las columnas sin el sistema de refuerzo FRCM es relativamente baja si la relacionamos con las columnas en las que se aplica el sistema FRCM. Las columnas con reforzamiento soportan un 28,44 % más que las columnas sin reforzamiento.



**Figura 224.** Comparación Carga de Columnas Concéntricas S/R y C/R

- En el análisis de columnas sometidas a carga excéntrica se observa reserva de energía e índice de tenacidad las columnas que cuentan con el refuerzo FRCM a base de sisal posee valores mayores; pero que la ductilidad de energía que se observa en las columnas sin el sistema de refuerzo FRCM

es relativamente alta si la relacionamos con las columnas en las que se aplica el sistema FRCM.

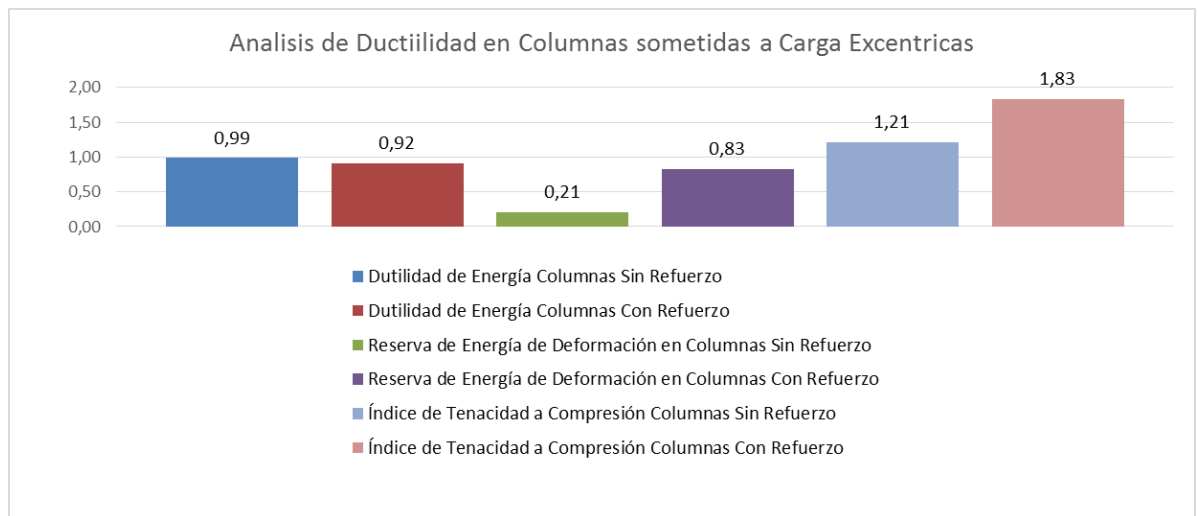


Figura 225. Análisis de Ductilidad en Columnas sometidas a Carga Excéntrica

### Análisis estructural en ETABS

- Uno de los primeros chequeos que se realiza en el análisis estructural son la derivas, para estructuras de mampostería la deriva máxima es del 1%, en nuestra estructura podemos encontrar derivas de 19.94 % en x, y 18.696% en y.

$$\Delta = \text{desplazamiento} * R * \alpha * 100$$

Donde:

R= factor de reducción respuesta (5)

$\alpha$ = coeficiente para el cálculo de periodo (0.75)

DISPLACEMENTS				
File				
STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
CUMB	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
STORY2	0.146342	-0.007546	0.019990	0.000741
STORY1	0.106362	-0.006065	0.053181	0.003033

Figura 226. Cálculo de Derivas eje x

$$\Delta = 0.053181 * 5 * 0.75 * 100$$

$$\Delta = 19.94\%$$

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
CUMB	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
STORY2	-0.003906	0.138585	0.000450	0.019437
STORY1	-0.003006	0.099711	0.001503	0.049856

Figura 227. Cálculo de Derivas eje y

$$\Delta = 0.049856 * 5 * 0.75 * 100$$

$$\Delta = 18.69\%$$

- Al realizar el análisis estructural de la vivienda la columna más cargada resiste 78033.78 N, mientras que en los ensayos de columnas trabadas: 118500 N sin reforzamiento y 160426.56 N con reforzamiento FRCM a base de fibras de sisal.

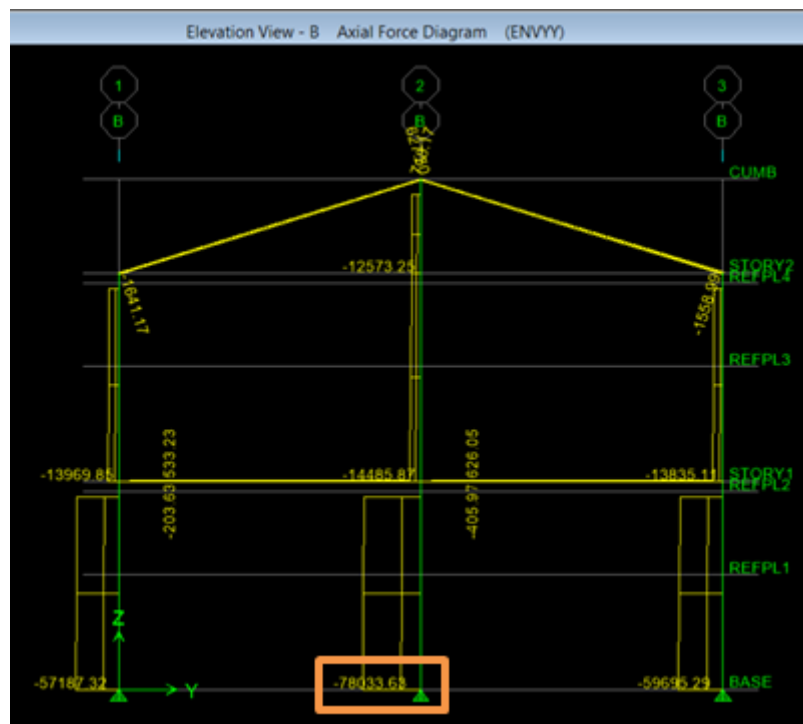


Figura 228. Carga Axial Máxima ETABS

**Tabla 34. Carga Axial Máxima resultados de laboratorio S/R**

Tipo	Muestra	Carga(N)
Sin refuerzo	Co1	109000
	Co2	118000
	Co3	122000
	Co4	125000
<b>Media</b>		<b>118500.000</b>
<b>Desviación Estándar</b>		<b>6952.218</b>
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		<b>5.867</b>

**Tabla 35. Carga Axial Máxima resultados de laboratorio C/R**

Tipo	Muestra	Carga(N)
Con Refuerzo	Co1	154061.62
	Co2	157644.63
	Co3	166000.00
	Co4	164000.00
<b>Media</b>		<b>160426.56</b>
<b>Desviación Estándar</b>		<b>5540.28</b>
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		<b>3.45</b>

- Los momentos que se obtuvieron al realizar los ensayos son 6'156805 N\*mm en columnas trabadas sin reforzamiento y 8'810461.64 en columnas con reforzamiento FRCM a base de fibras de sisal; podemos ver al realizar el analisis en ETABS que las columnas B2, B3, A3 y C2 superan la resistencia obtenida de los ensayos de columnas trabadas sin reforzamiento.

**Tabla 36. Momento Máximo columna excéntrica S/R**

Tipo	Muestra	Carga Máxima (N)	Deformación Compresión (mm)	Deformación Pandeo (mm)	Momento 1er. Orden (N*mm)	Momento 2do. Orden (N*mm)	Curvatura (mm <sup>-1</sup> )*10 <sup>-5</sup>
Sin refuerzo	CE2	72000	6.05	0.73	5400000	5418720	10.999
	CE3	97000	5.80	0.94	7275000	7317195	10.752
	CE4	75000	5.26	1.65	5625000	5724500	11.197
<b>Media</b>		<b>81333.33</b>	<b>5.70</b>	<b>1.11</b>	<b>6100000.00</b>	<b>6156805.00</b>	<b>0.98</b>
<b>Desviación Estándar</b>		<b>13650.40</b>	<b>0.40</b>	<b>0.48</b>	<b>1023779.76</b>	<b>1017255.11</b>	<b>0.22</b>
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		<b>16.78</b>	<b>7.08</b>	<b>43.56</b>	<b>16.78</b>	<b>16.52</b>	<b>2.03</b>

Tabla 37. Momento Máximo columna excéntrica S/R

Tipo	Columna	Carga Máxima (N)	Deformación Compresión (mm)	Deformación Pandeo (mm)	Momento 1er. Orden (N*mm)	Momento 2do. Orden (N*mm)	Curvatura (mm <sup>-1</sup> )*10 <sup>-5</sup>
Con refuerzo	CE1	106600	8.519	2.741	7995000	8234355.4	12.454
	CE2	106000	7.747	5.918	7950000	8238086.8	13.539
	CE3	108000	9.470	4.318	8100000	8368833.6	13.059
	CE4	134000	7.239	3.683	10050000	10400570.8	13.191
<b>Media</b>		113650.00	8.24	4.33	8523750.00	8810461.64	13.06
<b>Desviación Estándar</b>		13592.52	0.97	1.34	1019439.18	1061915.54	0.45
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		11.96	11.79	30.90	11.96	12.05	3.47

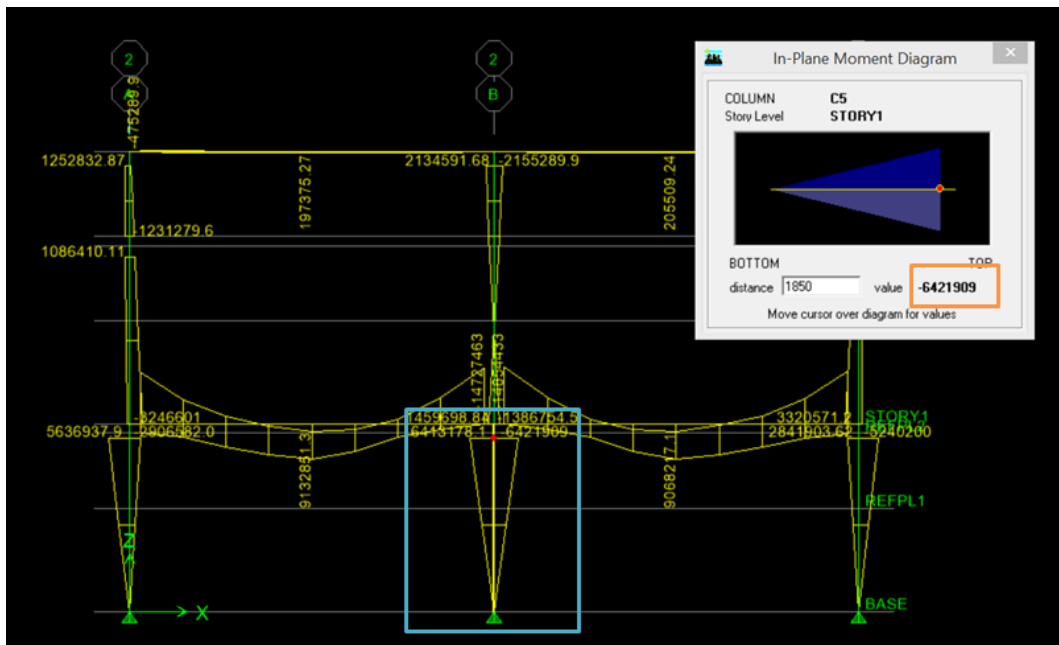


Figura 229. Momento columnas B-2 ETABS

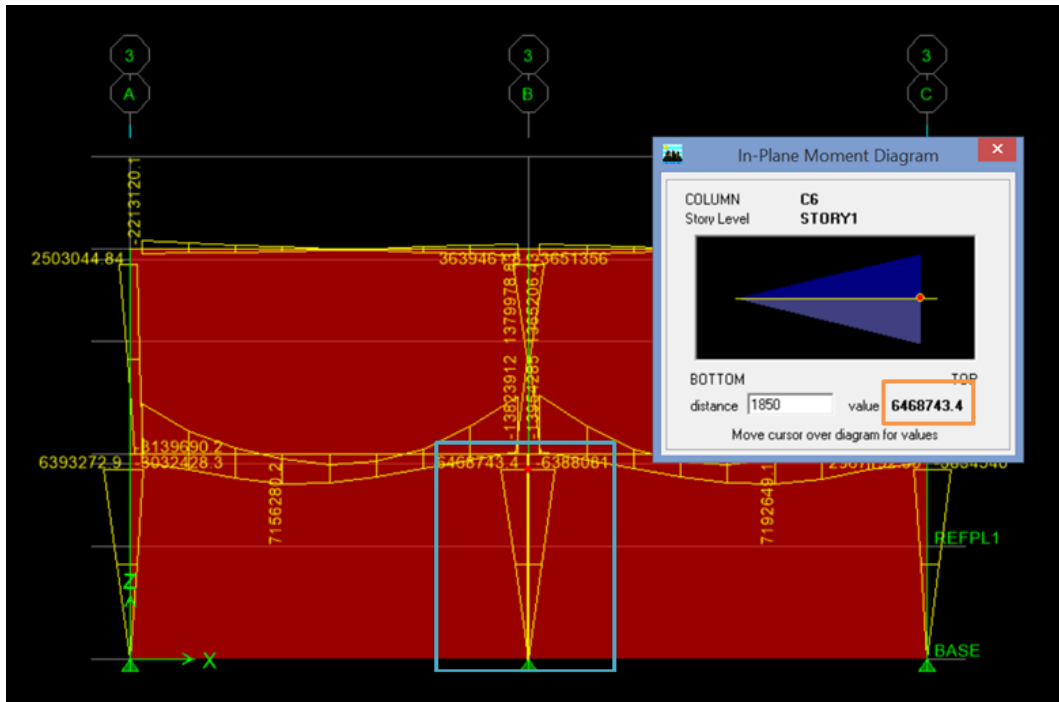


Figura 230. Momento columnas B-3 ETABS

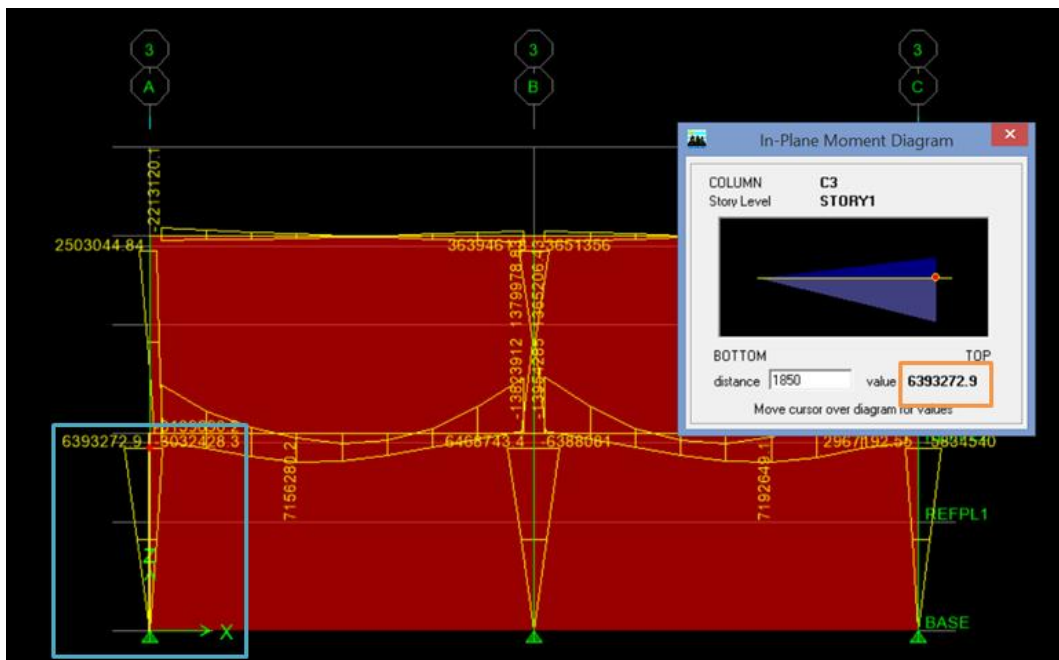


Figura 231. Momento columnas A-3 ETABS

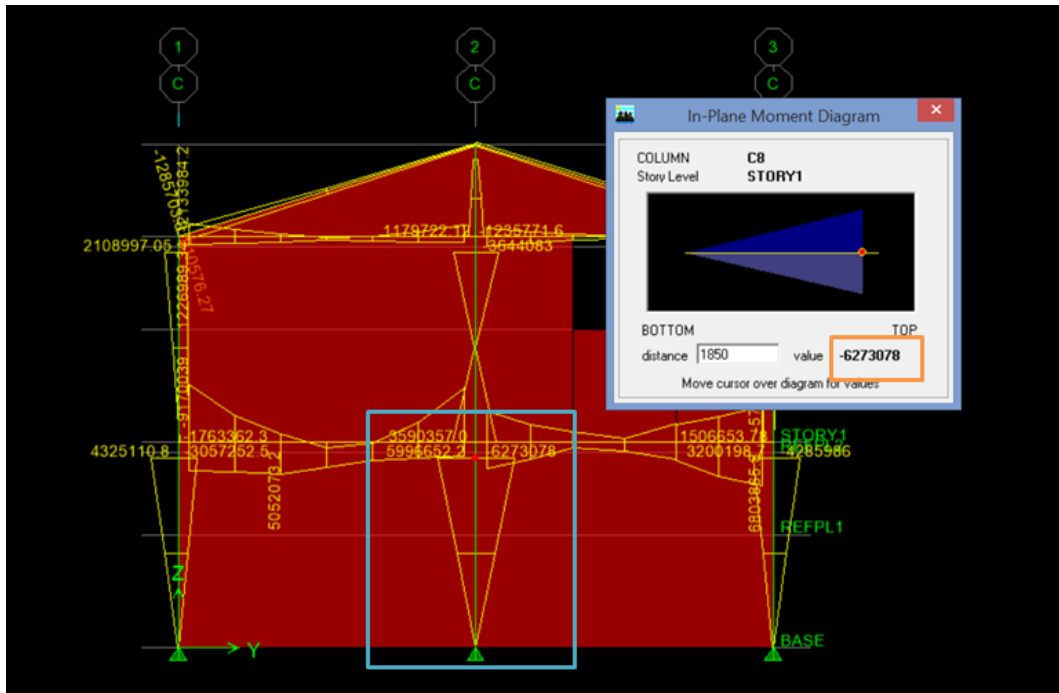


Figura 232. Momento columnas C-2 ETABS

## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las características del ladrillo son: resistencia a compresión 10.994 MPa, módulo de rotura de 3.564 MPa, porcentaje de absorción 22.807 % y densidad de 1.679 g/cm<sup>3</sup>.
- Después de la caracterización del mortero 1:4, se concluyó que posee características necesarias para simular un mortero de baja calidad como el usado en las construcciones informales de mampostería.
- Al realizar la caracterización de la cabuya en sus diferentes presentaciones, el tejido que proviene de los sacos es más resistente que el tejido de rollos.
- El sistema de refuerzo FRCM, estudiado en esta investigación (matriz cementicia mortero 1:10 y tejido de cabuya), posee características mecánicas adecuadas para realizar el reforzamiento de columnas. No obstante se debe tener en cuenta el problema de adherencia entre la matriz y el tejido.
- Las probetas ensayadas a corte con el sistema FRCM de las diferentes pre-compresiones aplicadas poseen mejores resultados en cuanto a Resistencia a corte en comparación a las probetas a las cuales no se les aplicó el refuerzo; h1=0 cm (0 MPa) un 75,22 %, h2=152 cm (0,33 MPa) un 66,86 %, h3=304 cm (0,55 MPa) soportan un 31,58 % más que las probetas sin reforzamiento.
- Una vez terminado el ensayo de corte se observó que en las probetas sin refuerzo el mortero de los ladrillos falló haciendo que estos se separen;

mientras que en las probetas con FRCM el tejido del refuerzo se desprendía levemente pero las muestras seguían unidas.

- Las pilas con reforzamiento FRCM tienen mejores características, un 23,99 % en Resistencia Compresión, un 16,42 % en Esfuerzo y un 16,41 % en módulo de elasticidad, en comparación a las pilas sin reforzamiento FRCM.
- Las columnas con reforzamiento FRCM sometidas a carga axial pura y excéntrica tienen un 26,13% y 28,44% respectivamente más en Resistencia a la Compresión en comparación a las columnas sin reforzamiento FRCM.
- En columnas sometidas a carga axial concéntrica y excéntrica, se observa que las columnas a las cuales se les aplicó el sistema de reforzamiento FRCM poseen una reserva de energía mayor a las columnas sin reforzamiento.
- La reserva de energía se definen como la capacidad que tiene un material para almacenar energía, en forma de deformación plástica, antes de romperse; mientras más grande el área plástica mayor es esta.
- Las columnas excéntricas sin reforzamiento poseen un comportamiento elástico perfectamente plástico, ya que su ductilidad es de 0,99 J/J
- Los índices de ductilidad en columnas demuestran un carácter frágil de las mismas, sin embargo si analizamos la capacidad de absorber la energía se observa una gran resistencia a su rotura principalmente en columnas que se les aplicaron reforzamiento sometidas a carga axial.
- 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, pero se requiere estudios que permitan generar una prolongación de la vida útil de la fibra.

- El número de mallas necesarias para el material compuesto depende del servicio que preste la estructura a reparar, por ejemplo, para elementos no estructurales sería suficiente 1 layer como se aplicó en las pilas; pero para elementos estructurales donde se requiera recuperar resistencia y ductilidad, como en las columnas, el comportamiento dúctil y la capacidad de absorber energía debe ser cuidadosamente estudiado.
- El reforzamiento con FRCM tanto en columnas como en pilas, hace que las muestras se comporten de tal manera que eviten que estas exploten al momento que se produce la falla, haciendo que la colocación de refuerzo en viviendas existentes sean de gran ayuda; proporcionando una mayor seguridad a sus habitantes en caso de un fenómeno natural.
- Una vez realizado el análisis de la estructura se obtiene una deriva del 19,94 %, pese a la aplicación del refuerzo no se llega a cumplir con la deriva máxima establecida en NEC\_SE\_DS del 1% para mampostería, pero se llega a disminuir la capacidad de deformación y controlar el desmoronamiento del elemento.
- La columna más cargada obtenida en la modelación tiene una carga última de 78033,78 N, comparada con nuestros resultados obtenidos de ensayos la columna de la misma dimensión podría resistir un 34,15% más. Es decir que en cuanto a la aplicación de carga la vivienda analizada no necesita reforzamiento, esto se debe a que este tipo de construcciones tienen la ventaja de ser livianas, por ello las columnas no tendrán problemas al distribuir cargas últimas.
- El beneficio de la aplicación del refuerzo FRCM se refleja en la

obtención de los momentos del análisis estructural ya que las columnas B2,B3,A3,C2 sobrepasan el momento obtenido experimentalmente 6156805 N\*mm. El reforzamiento aporta un 30,12% más.

## 5.2 Recomendaciones

- Al trabajar con fibras naturales para el refuerzo de una matriz cementicia, se debe elegir el material que tenga adecuadas propiedades físicas y mecánicas, además de una adecuada separación entre hilos transversalmente y longitudinalmente, de manera que haya una conveniente penetración de la matriz cementicia para una mejor adherencia entre los layers.
- Se recomienda que al utilizar fibras naturales en una matriz de cementicia se realice 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 para la caracterización del material compuesto y probetas de ensayo a corte, adquiriendo con ello nuevas propiedades de resistencia.
- Para el reforzamiento en columnas y pilas no se utilizó un tratamiento de fibra de poliéster por la dificultad de aplicar el reforzamiento de cabuya debido a la irregularidad de las columnas de ladrillo trabado, pese a que si se encontró mejoramiento recomendamos que para reforzar columnas en una vivienda se aplique un tipo de tratamiento previo en la cabuya que permita más flexibilidad y no cause dificultad al momento de la aplicación del reforzamiento con material compuesto FRCM.
- La matriz cementicia en un sistema compuesto FRCM debe poseer una alta resistencia a la compresión, además de tener un grado de fluidez para ello se debe utilizar plastificante ayudando al mortero a adquirir el flujo adecuado, permitiendo un manejo de mezcla adecuado al momento de la aplicación del material compuesto.

- Para poder controlar las derivas de piso se recomienda la colocación de diagonales de madera en las paredes de mampostería, a más de utilizar el material compuesto para reforzar las columnas.
  
- Nuestra investigación se basa únicamente en el reforzamiento de columnas por lo que es necesario un estudio complementario tanto en la cimentación como en otros elementos estructurales como vigas y losas.

## **CAPITULO VI**

### **6 PROPUESTA**

#### **6.1 Título de la propuesta**

Uso de materiales compuestos (FRCM) a base de fibras naturales de cabuya para mejorar el comportamiento mecánico de una estructura de mampostería construida con columnas de ladrillo.

#### **6.2 Introducción**

Existen construcciones realizadas únicamente con ladrillo, incluso en elementos estructurales (columnas); podemos tomar como ejemplo ciertas construcciones en la provincia de Chimborazo, cantón Chambo, las mismas necesitan reforzar sus elementos estructurales en caso de cualquier percance sea natural o no.

El presente estudio propone un reforzamiento a elementos estructurales (columnas de ladrillo trabado), con un material fácil, accesible y económico, para viviendas hasta de dos pisos que se encuentran en servicio, mas no para proyectos futuros.

Después de comparar los resultados de las columnas de ladrillo trabado sin refuerzo con columnas de ladrillo trabado reforzado con material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya, determinar que este tipo de refuerzo aporta mejoras en el comportamiento mecánico del elemento.

Las fibras de cabuya (sisal) se fabrican y comercializan ampliamente en el país, al usar estos tejidos en la construcción, se impulsa el sector productivo de fibras naturales y se generan nuevas oportunidades de trabajo; a más de ofrecer un sistema de reforzamiento estructural sostenible y económico.

Al comprobar su factibilidad para el reforzamiento de edificaciones construidos con columnas de ladrillo trabado las personas que habitan en este tipo de construcciones podrán mejorar la respuesta mecánica usando un material fácilmente producible.

### **6.3 Objetivos**

#### **6.3.1 Objetivo General**

- Utilizar materiales compuestos (FRCM) a base de fibras naturales de cabuya para mejorar el comportamiento mecánico de una estructura de mampostería construida con columnas de ladrillo

#### **6.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar pruebas de laboratorio en los materiales constituyentes del material compuesto y de las columnas para caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Preparar columnas de ladrillo trabado para estudiar su comportamiento frente a cargas de compresión y momento.
- Reforzar columnas de ladrillo trabado usando materiales compuestos FRCM para estudiar su comportamiento mecánico frente a cargas de compresión y momentos.
- Modelar una estructura considerando las propiedades de los elementos, utilizando el programa ETABS, para analizar el comportamiento de la misma.
- Analizar los resultados alcanzados en la investigación para determinar conclusiones que permitan formular un juicio crítico al respecto.

### **6.4 Fundamentación Científico –Técnica**

#### **6.4.1 Estructura de mampostería**

Una estructura es el conjunto de elementos, favorablemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas con la finalidad es resistir y transmitir las cargas.

Las estructuras que vamos a analizar son básicamente de ladrillo, los elementos estructurales que componen esta son columnas de ladrillo trabado, vigas de madera y se caracterizan por no tener losa.

#### **6.4.1.1 Ladrillo**

Los ladrillos son piezas de arcilla cocida, generalmente con forma de prisma rectangular, que se usa en la construcción de muros, paredes, pilares, etc.

##### **Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo**

Entre las propiedades físicas que se estudian se encuentran:

- **La tasa inicial de absorción:** Mide la cantidad de agua que absorbe el ladrillo en un minuto.
- **La absorción de agua:** Cuando se coloca el mortero de pega o de relleno de las unidades, succiona parte del agua del mortero, que afecta su adherencia y la consistencia del mortero. Una adherencia deficiente afecta la resistencia de la mampostería, la durabilidad y penetración de agua

Entre las propiedades mecánicas que se estudian se encuentran,

- **La resistencia a la compresión:** se usa como control de calidad en la elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), para conocer la calidad de los materiales y su materia prima utilizados en la fabricación de ladrillo y para encontrar la resistencia a la compresión de la mampostería.
- **El módulo de rotura** (ensayo de flexión) es una propiedad importante como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la

mampostería cuando se solicitan esfuerzos de compresión y flexión, casos muy comunes en la mampostería (García , Guerrero , & Monroy, 2012).

#### **6.4.1.2 Mortero**

La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero. El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo (AFAM, 2012).

#### **Componentes del mortero**

- **Aglutinantes:** Los aglutinantes utilizados en la preparación del mortero pueden ser: yeso, cal, cal hidráulica, cemento
  
- **Agregados:** Los agregados se clasifican como finos o gruesos. Las arenas se utilizan como agregados finos, mientras que la grava o rocas trituradas representan agregados gruesos.

#### **6.4.1.3 Madera**

La madera es un material Anisotrópico, y más propiamente Ortotrópico lo cual obliga a tener presente la orientación de las solicitaciones con relación al material: paralela y perpendicular a la fibra.

##### **6.4.1.3.1 Criterios generales de diseño con madera**

**Características físicas:** en los diseños de madera estructural se deben tener en cuenta las limitaciones impuestas por el origen orgánico del material: variabilidad natural y defectos, higroscopicidad y su influencia en la estabilidad dimensional, combustibilidad y deterioro por hongos, insectos y agentes atmosféricos, baja densidad y poco peso de las piezas.

**Características mecánicas:** los diseñadores deben tener en cuenta en sus diseños las características propias del material en cuanto a la resistencia y rigidez, lo que necesariamente impone restricciones de luz, excepto en vigas laminadas, carga y esfuerzos admisibles, que los hace diferentes de los diseñadores en otros materiales como el hormigón y el acero.

**Limitaciones estructurales:** la dimensión limitada de las piezas de madera conducen al diseño de estructuras en las cuales la dificultad, inherente a las maderas de ejecutar uniones totalmente rígidas, no comprometa su estabilidad (NEC-11, 2011).

**Madera Estructural:** La madera estructural es aquella que en uso, a más de soportar su propio peso, estará sujeta a esfuerzos diversos. Por tal razón deberá tener una densidad básica de  $0,4\text{gr/cm}^3$

Existen tres grupos para madera estructural “A”, “B” y “C” que corresponden a las densidades: Alta, Media y Baja según se indica:

“A” densidad básica comprendida ente 0,71 a 0,9

“B” densidad básica comprendida ente 0,56 a 0,70

“C” densidad básica comprendida ente 0,40 a 0,55

De numerosas investigaciones se tiene establecido que hay una estrecha relación entre la densidad (densidad básica) y la resistencia a los diferentes esfuerzos del material (NEC-11, 2011).

**Densidad de la madera:** es la relación que existe entre la masa y el volumen de una de una pieza de madera, a un determinado contenido de humedad.

**Módulo de Elasticidad:** los valores del módulo de elasticidad para los tres grupos estructurales, serán los que usarán para el dimensionamiento de elementos en flexión, y para elementos en compresión y tracción paralelos a las fibras.

Se incluyen don valores para E el valor mínimo y el valor promedio; el valor minimo será valido para el cálculo para elementos individuales tales como vigas o columnas, el valor promedio es adecuado para el diseño de elementos en los que

exista una acción en conjunto, por ejemplo las viguetas para entablados y pies derechos en tabiques y/o entramados.

**Tabla 38. Esfuerzos Admisibles**

Grupo	Flexión		Tracción		Compresión		Compresión		Corte Paralelo	
	fm		ft		fc		fc <sub>t</sub>		fv	
	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>
A	21	(210)	14.5	(145)	14.5	(145)	4.0	(40)	1.5	(15)
B	15	(150)	10.5	(105)	11.0	(110)	2.8	(28)	1.2	(12)
C	10	(100)	7.5	(75)	8.0	(80)	1.5	(15)	0.8	(8)

(\*) Estos esfuerzos son para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

*Fuente: INEN, Estructuras de Madera*

**Tabla 39. Módulo de Elasticidad**

Grupo	E min		E promedio	
	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>	M Pa	Kg/cm <sup>2</sup>
A	9500	95,000	13000	130,000
B	7500	75,000	10000	100,000
C	5500	55,000	9000	90,000

(\*) Estos esfuerzos son para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

*Fuente: INEN, Estructuras de Madera*

**Relación de Poisson:** Todo elemento solicitado a carga axial experimenta una deformación no solo en el sentido de la sollicitación (deformación primaria  $x \epsilon$ ), sino también según el eje perpendicular (deformación secundaria o inducida  $y \epsilon, z \epsilon$ ), o sea, toda tracción longitudinal con alargamiento implica una contracción transversal (disminución de la sección del elemento estirado). El coeficiente de Poisson es la relación de la deformación perpendicular.

*Tabla 40. Relación de Poisson Madera*

<b>Orientación de la muestra</b>	<b>Baja Densidad</b>	<b>Alta Densidad</b>
Longitudinal	0,4	0,43
Transversal	0,25	0,35
Tangencial	0,2	0,18

*Fuente: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de madeira*

**Módulo de Corte:** El módulo de corte mide la resistencia de un material a la deformación de corte. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Dónde:

E= módulo de elasticidad

$\nu$ = relación de Poisson

#### **6.4.1.4 Columnas**

La columna es un elemento estructural encargado de transmitir cargas hacia la cimentación, generalmente son realizadas de concreto reforzado u otro material resistente a fuerzas axiales y momentos.

En la provincia de Chimborazo específicamente en zonas rurales se realizan columnas de ladrillo trabado, las mismas que son resistentes a la compresión pero tienen una escasa o nula resistencia a la tracción o flexión generando así inseguridad a sus ocupantes.



*Figura 233. Columna de Ladrillo Trabado. Archexpo (s.f). Recuperado de: <http://www.archiexpo.es/>*

#### **6.4.1.5 Reforzamiento de columnas con materiales compuestos**

El FRCM se aplica como refuerzo a columnas con deficiencias en la ductilidad a flexión y/o con insuficiente capacidad a cortante. En estos casos el FRCM induce tensiones de confinamiento que restringen la dilatación del concreto para aumentar la capacidad de carga y de deformación del elemento, además de generar un mecanismo que incremente la resistencia a cortante. El incremento del uso del encamisado de las columnas con FRCM en lugar del encamisado con acero se debe a que su instalación es más rápida, es liviano, es adaptable a cualquier geometría que tenga la columna; además su alta resistencia a la corrosión reduce el mantenimiento e incrementa la durabilidad del concreto.

El comportamiento de las columnas reforzadas con FRCM, depende de múltiples factores entre ellos pueden enumerarse: la configuración de la columna (geometría y armado), la configuración del encamisado (espesor, ángulo de la fibra, número de capas y tipo de encamisado), las propiedades mecánicas de los materiales (concreto y FRCM), y el estado de daño del concreto.

Es importante considerar los siguientes aspectos del confinamiento lateral dado por el FRCM. El encamisado por su esbeltez, no aumenta la rigidez lateral de la columna; el confinamiento sólo mitiga los fallos locales prematuros. Los FRCM son susceptibles a la rotura en los puntos localizados donde hay demanda de deformación; por ello, el encamisado con FRCM no evita el pandeo

longitudinal, pero disminuye la probabilidad de que suceda. El encamisado reduce la fisuración por corte en la zona donde se forman las rótulas plásticas, conduciendo a que las fisuras ocurran por flexión cerca a la base.

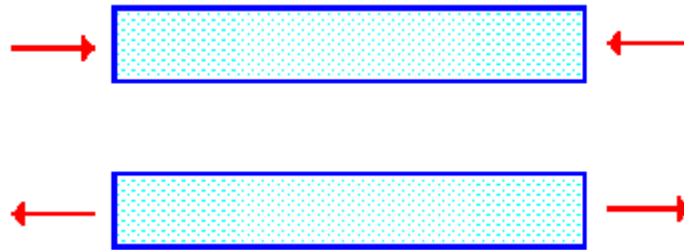
Los ensayos sobre columnas reforzadas con diferentes tipos de FRCM han mostrado que la forma de la sección transversal de las columnas incide en el grado de confinamiento producido por el refuerzo, y que la forma óptima es la sección circular, mientras que con una sección rectangular, el confinamiento tiende a ser bajo. Recientemente se ha estudiado el comportamiento de columnas huecas reparadas y rehabilitadas con FRCM, en las cuales también hay un incremento de ductilidad y resistencia, sin embargo, aún no se ha evaluado la eficiencia del confinamiento para este tipo de secciones.

Se estableció experimentalmente que la resistencia y el módulo de elasticidad del concreto confinado junto con el espesor del encamisado de FRCM, son parámetros importantes en el comportamiento de los elementos sometidos a cargas axiales, donde el fallo del concreto confinado depende de la rotura del FRCM. También se investiga el comportamiento en columnas rectangulares reforzadas con FRCM bajo cargas excéntricas. Sus resultados experimentales y numéricos muestran que se puede incrementar la resistencia y la ductilidad de las columnas, no obstante advierten que la eficiencia del refuerzo depende de la rigidez del FRCM. De acuerdo con los estudios realizados, se ha concluido que el número de capas de FRCM utilizado para confinar la base de las columnas, mejora apreciablemente la ductilidad del sistema, mientras que el nivel de confinamiento no aumenta en la misma proporción, además que el incremento de la resistencia fue pequeño (10%-15%) (Molina, Oller, Barbat, & Martinez, 2009).

El reforzamiento de las columnas se realizó con una matriz cementicia de 1:1.10 de cemento y arena; y un reforzamiento de 3 layers de fibra de cabuya.

#### **6.4.1.6 Columnas frente a cargas axiales**

En términos generales, la manera más eficiente que tienen los elementos estructurales de resistir las solicitaciones se produce cuando tales solicitaciones tienen una orientación coincidente con el eje longitudinal de los elementos.

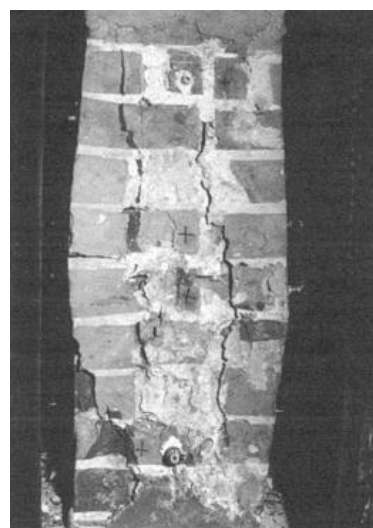


*Figura 234. Elementos sometidos a compresión. Recuperado de: <http://publiespe.espe.edu.ec/>*

En este caso los elementos resisten a las solicitaciones mediante esfuerzos axiales (paralelos a las acciones) que pueden ser de tracción o compresión, dependiendo de las acciones externas.

Las columnas de ladrillo trabado, es una compleja estructura cuya resistencia a la compresión depende de la interacción entre los ladrillos y componentes del mortero.

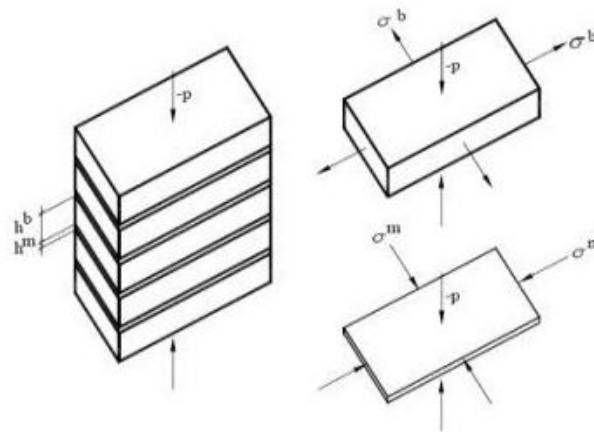
Las pruebas revelan que las fisuras radiales en los bloques anticipan la rotura frágil de forma uniaxial mampostería comprimido, que se caracteriza por la expulsión de fragmentos de ladrillo. Como puede verse en la figura 235



*Figura 235. Falla a compresión de un pilar de ladrillo. Como (2012)*

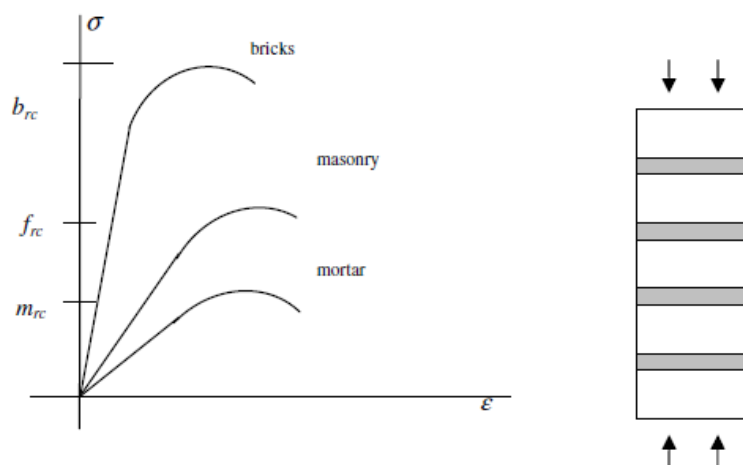
Cuando el ladrillo se encuentra sometido a un esfuerzo de compresión axial, el mortero tiende a expandirse lateralmente, siendo la adherencia entre dicho ladrillo y el mortero la que presenta impedimento a este movimiento.

De este modo, en la combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes entre ladrillo y mortero se originan tensiones distintas en ambos elementos. Como puede verse en el gráfico, mientras que las piezas rígidas de ladrillo se encuentran sometidas a una tracción bidireccional unida a la compresión axial.



**Figura 236.** Combinación de la carga vertical con los esfuerzos cortantes. Como (2012)

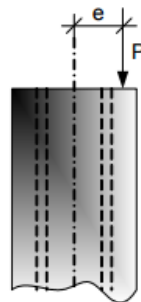
Al aplicar cargas de compresión axial podemos ver los diagramas de  $\sigma$ - $\epsilon$  de una columna de ladrillo y sus componentes (ladrillo y mortero).



**Figura 237.** Diagrama esfuerzo deformación del ladrillo, mortero y mampostería bajo carga axial. Como (2012)

### 6.4.1.7 Columnas frente a cargas excéntricas

Una columna es un elemento sometido a compresión, el cual es lo suficientemente delgado respecto a su longitud para que bajo la acción de una carga gradualmente creciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menor que la necesaria para romperlo por aplastamiento. En esto se diferencia de un elemento corto sometido a compresión, el cual, aunque este cargado excéntricamente, experimenta una flexión lateral despreciable. Aunque no existe un límite perfectamente definido entre elemento corto y columna, se suele considerar que un elemento a compresión es una columna si su longitud es igual o mayor a diez veces la dimensión menor de la sección transversal. Las cargas que puede soportar una columna pueden ser concéntricas, cuando se aplican sobre su centroide, o excéntricas, cuando se aplican a cierta distancia de su eje centroidal

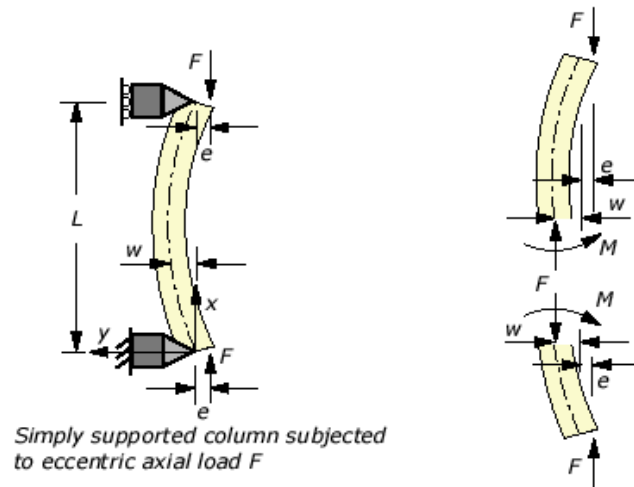


*Figura 238. Modelo de Carga Excéntrica en columnas. Portales Edu. (2013)*

Cuando se incrementa la longitud de una columna, disminuye su capacidad de soportar carga. Cuando la excentricidad es pequeña y la columna es corta, la flexión lateral es despreciable, comparada con el efecto de la compresión; por el contrario al aumentar la longitud, una pequeña excentricidad puede producir un gran esfuerzo de flexión.

En el caso de una columna de ideales bajo una carga axial, la columna se mantiene recta hasta que se alcanza la carga crítica. Sin embargo, la carga no se aplica siempre en el centroide de la sección transversal, como se supone en la teoría de pandeo de Euler. En la gráfica se observa una columna de longitud  $L$

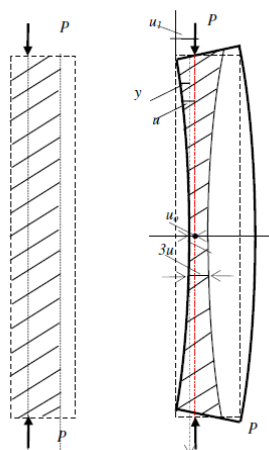
sujeta a una fuerza axial  $F$ . En un extremo de la columna, la fuerza  $F$  se aplica una distancia  $e$  desde el eje de la columna central. (Nash, 2007).



**Figura 239.** Modelo de Flexión de columnas que soportan carga axial  $F$ . Portales Edu. (2013).

Las columnas cargadas axialmente rara vez ocurren en la práctica, debido a que casi siempre hay cierta flexión, como lo evidencia la torcedura inicial ligera de las columnas, la manera en que se aplican las cargas mediante vigas y losas, y los momentos introducidos por la construcción es continua. La combinación de una carga axial  $P_u$  y momento Flexionante  $M_u$  equivale a una carga  $P_u$  aplicada en la excentricidad  $e = M_u/P_u$

La carga axial  $P$  se aplica en sus secciones finales con excentricidad  $e$  incluidos en el intervalo de  $t/2 > e \geq t/6$ , donde  $t$  es la anchura de sección.

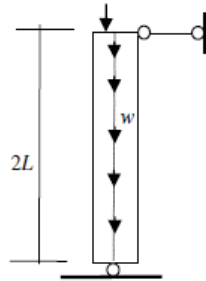


**Figura 240.** Efecto de estrechamiento de la zona resistente debido a las deformaciones de flexión.

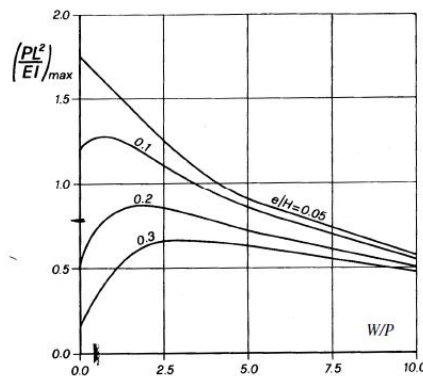
Como (2012)

En la figura 240 La distancia de la carga axial P desde el borde de la sección se indica con u, mientras que U1 y Uo son las mismas distancias, pero hasta el final y la sección media del muelle, respectivamente. Tenemos así  $u_1 = t / 2 - e$ . esta fuerte condición de la excentricidad de carga corresponde a las posiciones de la carga punto de P en secciones extremas incluyen entre los bordes de la sección y su núcleo. La carga axial excéntrica reduce todas las secciones resistentes del pilar.

Las ordenadas representan los valores adimensionales de la carga máxima que puede sostener con la relación asumida  $W / P$  y la relación de excentricidad  $e / H$ , donde H indica la altura de la sección. La inspección de los diagramas en la figura 239 revela que la adición de peso W, si es relevante con respecto a P, en presencia de grandes excentricidades, aumenta la carga P que el pilar puede sostener. En este caso, podemos decir que el peso W tiene un efecto estabilizador. Por el contrario, en presencia de pequeñas excentricidades, el efecto del peso tiene, por regla general, un efecto desestabilizador (Como, 2012).



**Figura 241.** Pilar de carga tanto por una fuerza excéntrica en su cabeza y su propio peso distribuido a lo largo de su longitud. Como (2012)



**Figura 242.** Estabilizar o desestabilizar efectos del peso W de la magnitud de la carga de la cabeza P que un muelle puede sostener (Da La Mendola, papaya 1993). Como (2012)

#### **6.4.1.8 Análisis Estructural**

Después de analizar cómo actúan las columnas a cargas concéntricas y excéntricas se realizó un análisis sísmico, usando el programa ETABS.

### **6.5 Descripción de la propuesta**

Al desarrollar esta propuesta se pretende obtener la información necesaria para analizar las construcciones existentes que se encuentran por lo general en las zonas rurales de la Provincia de Chimborazo (Chambo); las mismas que se encuentran conformadas únicamente en mampostería de ladrillo y madera.

Se realizaron ensayos de pilas y columnas sin refuerzo y con refuerzo FRCM a base de sisal (cabuya) para analizar la contribución que el reforzamiento aporta a los elementos estructurales de acuerdo a sus propiedades mecánicas.

Para la evaluación de nuestra propuesta se analizó una vivienda con columnas de ladrillo trabado.

#### **6.5.1 Descripción de la vivienda**

**Propietario:** Sr. Alfredo Paca.

**Ubicación:** Barrio San Sebastián Cantón Chambo-Provincia de Chimborazo.

**Año de Construcción:** 1981

**Tipo de edificación:** construcción de mampostería.



*Figura 243. Vivienda analizada*

#### **Planta baja N+0.00**

El Nivel +0.00 cuenta con un área de 48 m<sup>2</sup>, se distribuye: comedor, sala, cocina y bodega.

#### **Planta Alta N+2.00**

El Nivel+ 2.00 cuenta con un área de 48 m<sup>2</sup>, el cual tiene dos habitaciones, un baño.

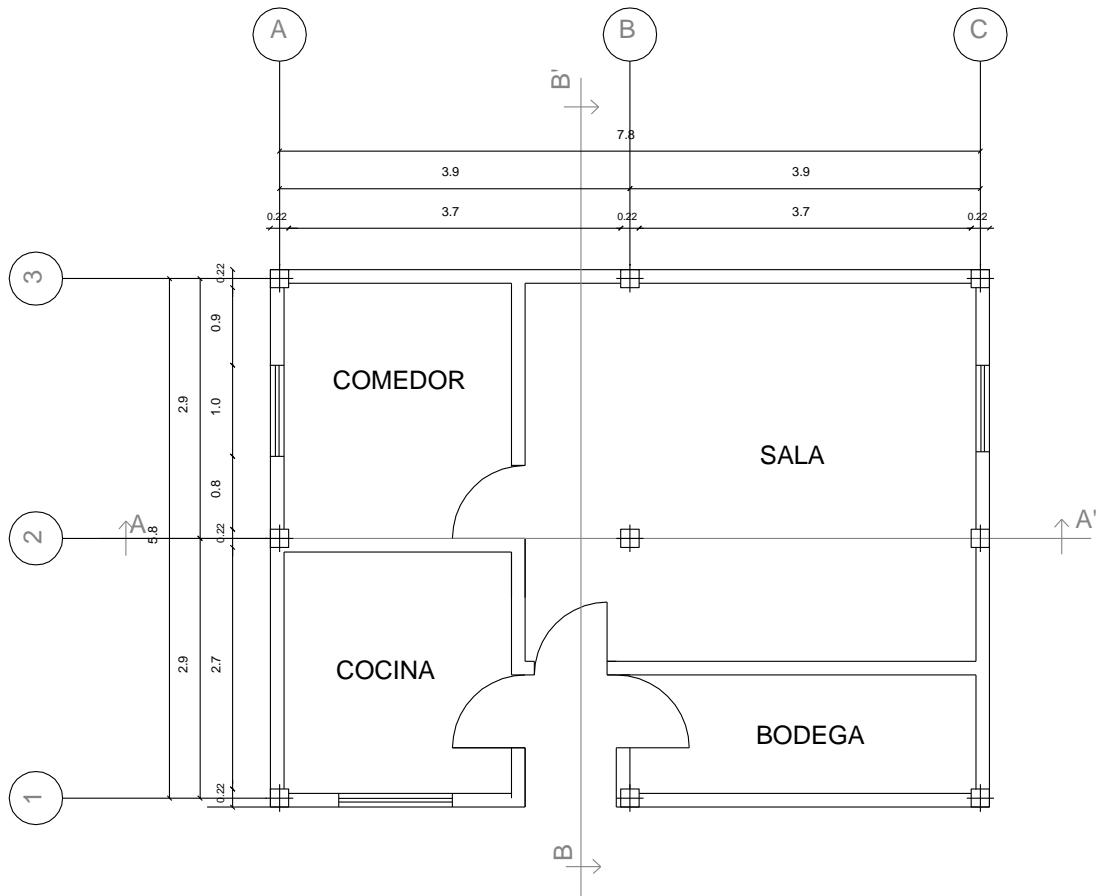
#### **Planta de Cubierta N+4.00**

Cuenta con una cubierta de zinc con una caída del 30%.

### **6.5.1.1 Planos Arquitectónicos**

A continuación ya presenta la distribución arquitectónica de cada una de las plantas del proyecto adoptada para el estudio, donde se esquematiza la ubicación de elementos en planta, corte y fachada.

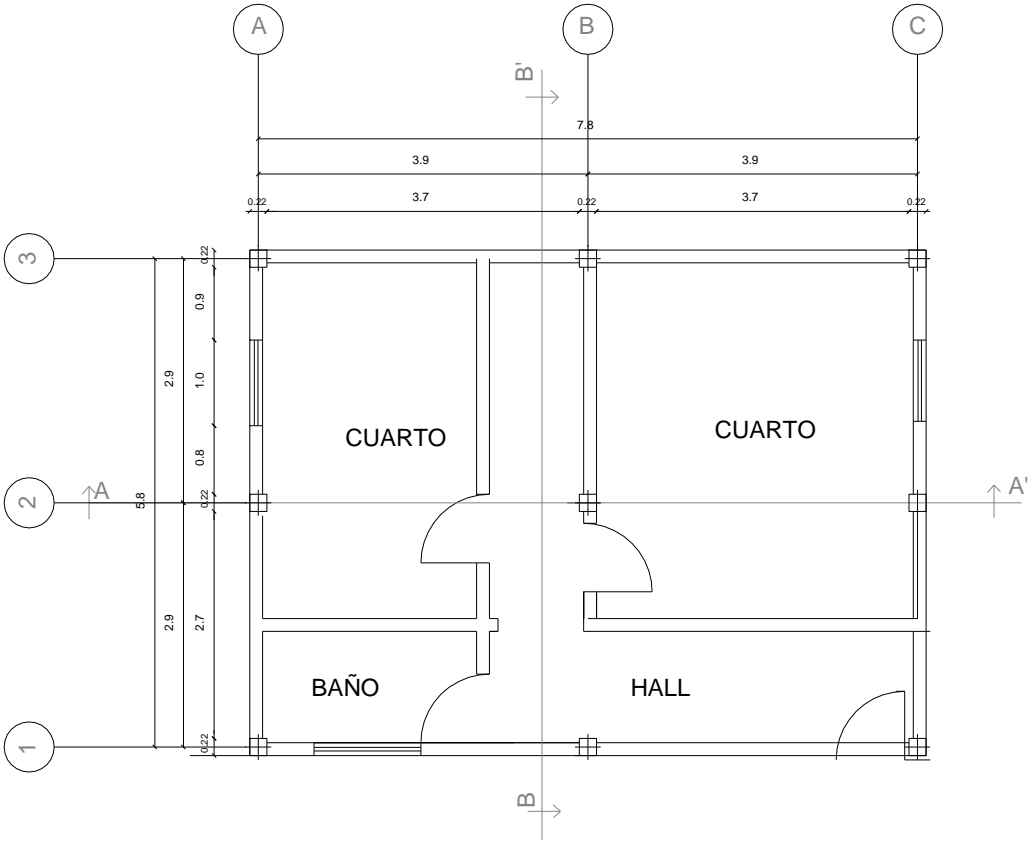
**PLANTA BAJA N+0,00**



PLANTA BAJA N+0.00

*Figura 244. Planta baja N+00*

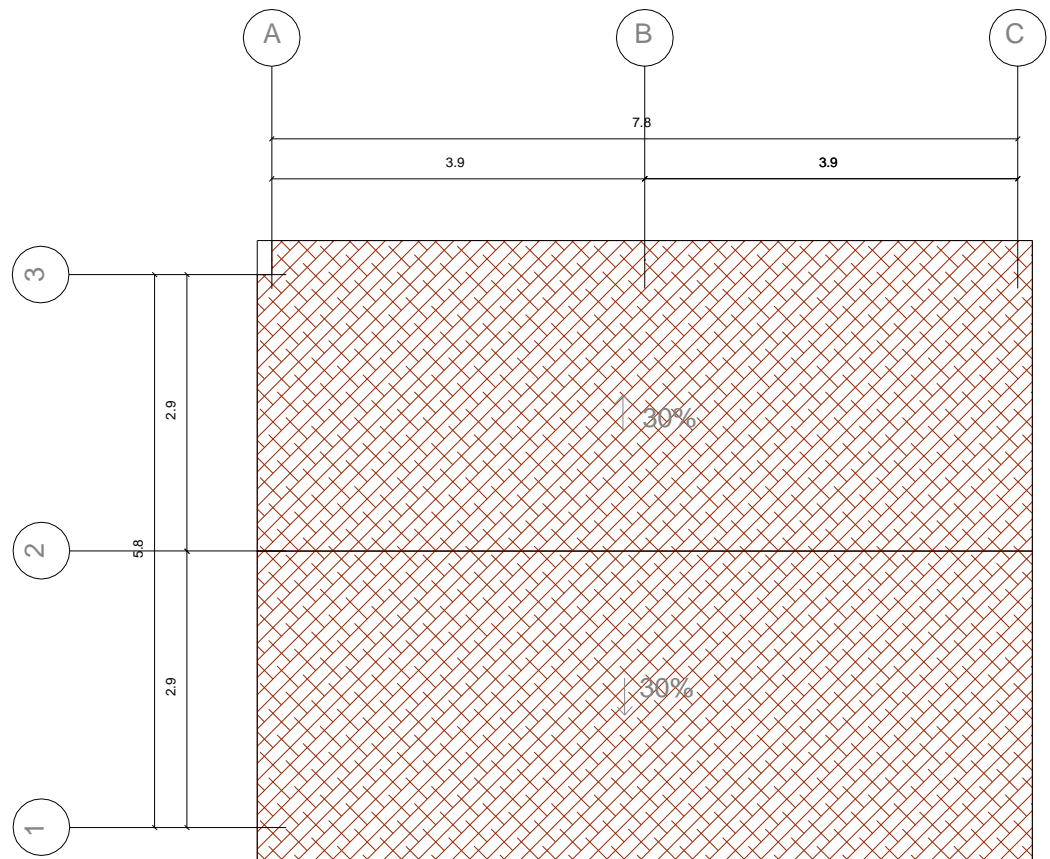
**PLATA ALTA N+2,00**



**PLANTA ALTA +2.00**

*Figura 245. Planta Alta N+2.00*

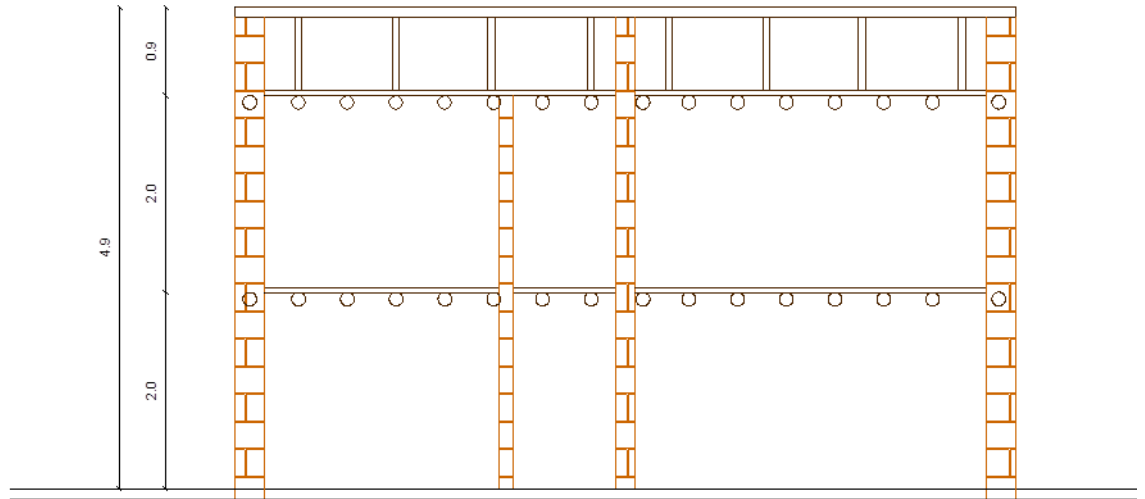
## PLANTA DE CUBIERTAS N+4,90



PLANTA DE CUBIERTA +4.90

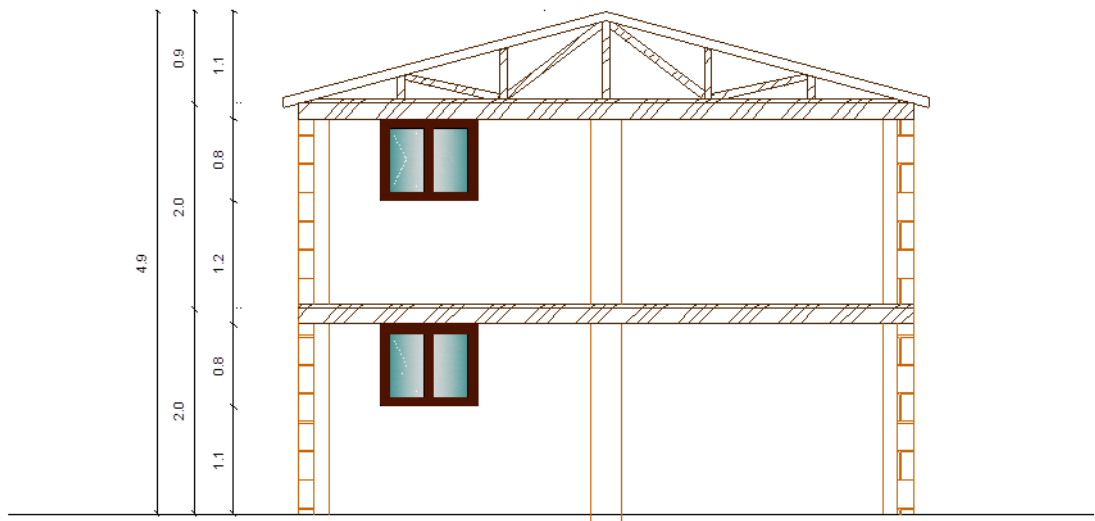
*Figura 246. Planta de Cubiertas N+4.90*

## CORTE ARQUITECTÓNICO EN ELEVACIÓN



CORTE A - A°

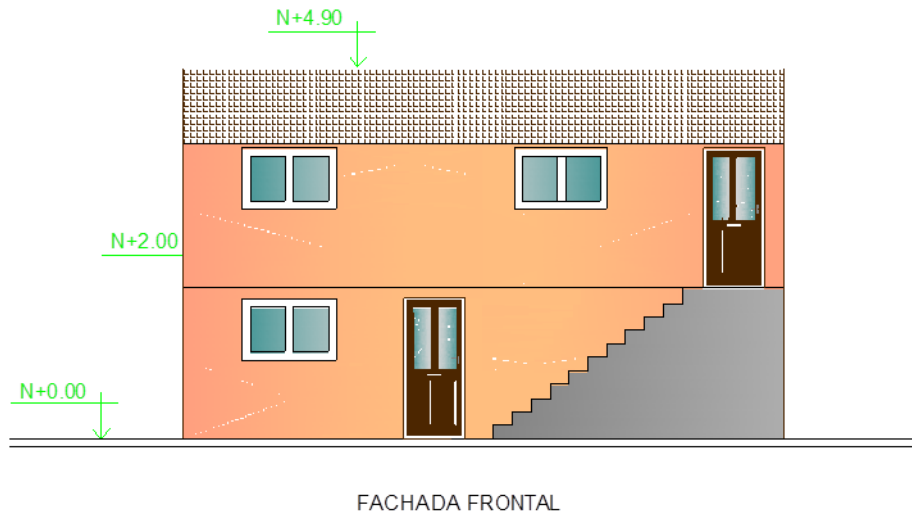
*Figura 247. Corte Arquitectónico en elevación A-A'*



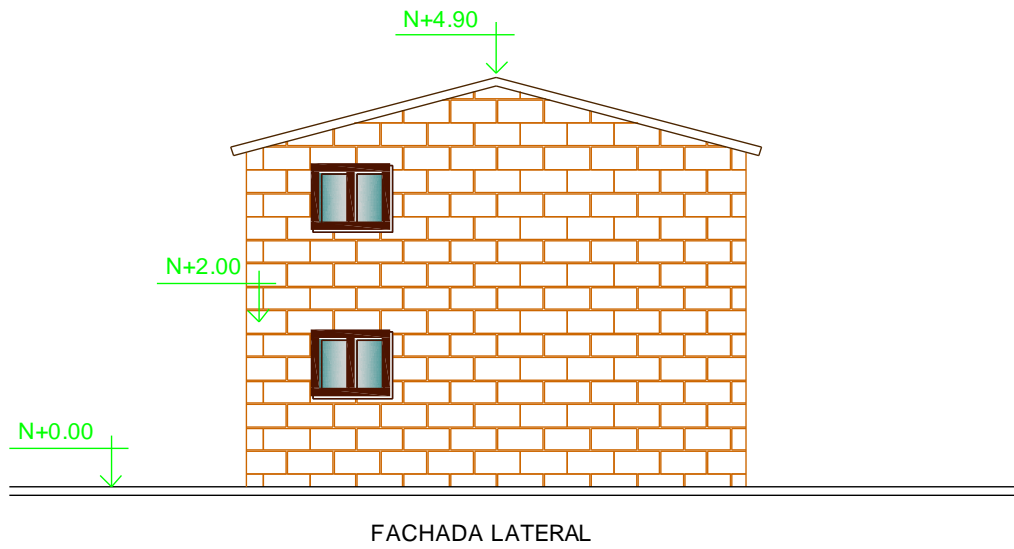
CORTE B - B'

*Figura 248. Corte Arquitectónico en elevación B-B'*

## FACHADAS



*Figura 249. Fachada Frontal*



*Figura 250. Fachada Lateral*

### 6.5.1.2 Detalles de la edificación

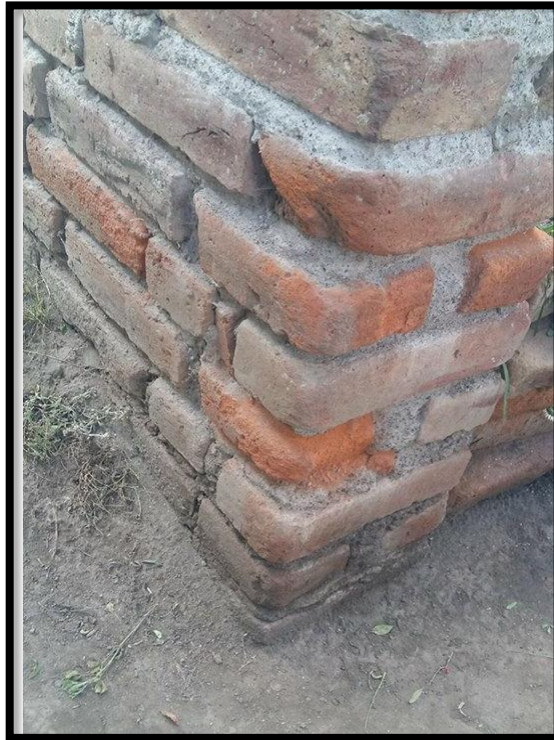


*Figura 251. Vista lateral*



*Figura 252. Vista Posterior*

- Las columnas se encuentran simplemente apoyadas sobre un mejoramiento realizado al suelo con piedra.



*Figura 253. Detalle cimentación*

- Las columnas son de ladrillo trabado de 22x22cm.



*Figura 254. Detalle Columna*



*Figura 255. Detalle conexión columna-viga*

- Las vigas son de madera de eucalipto de 15cm de diámetro.



*Figura 256. Detalle vigas*

- La vivienda no posee losa pero el entablado cumple la función de esta.



*Figura 257. Detalle entablado*

## 6.5.2 ANÁLISIS SISMO-RESISTENTE DE LA VIVIENDA UBICADA EN EL CANTÓN CHAMBO PROVINCIA DE CIMBORAZO

### Análisis estructural sismo-resistente.

El análisis estructural cumple con las especificaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 NEC-SE-DS Peligro Sísmico-Diseño Sismo Resistente. También se ha considerado de manera especial el NEC-11 relacionado con Cargas Materiales y Estructuras de Madera.

#### 6.5.2.1 Cargas adoptadas.

Se plantea una estructura de mampostería que tenga resistencia y rigidez adecuada.

- **Carga Muerta (D):**

Son aquellas cargas que actúan durante toda la vida de la estructura. Incluyen todos aquellos elementos de la estructura como vigas, pisos, techos, columnas, cubiertas y los elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes.

Se subdivide en el **Peso Propio, (PP)**, esto es, el peso de cada elemento estructural, (vigas, columnas, losa de compresión), que son determinados por el programa en base de las secciones transversales de dichos elementos.

**N+2.00**

$$\text{Peso Entablado} = B * L * e * \text{Densidad de la Madera}$$

$$\text{Peso Entablado} = 1 * 1 * 0.01 * 0.9 = 0.01 T/m^2$$

$$\text{Peso Viga} = \# \text{ de vigas} * \frac{\pi * \phi \text{ viga}^2}{4} * \text{Densidad de la Madera}$$

$$\text{Peso Viga} = 2 * \frac{\pi * 0.15^2}{4} * 0.9 = 0.03 T/m^2$$

$$\text{Peso Mampostería} = \frac{L * B * e * \text{Densidad de la Mampostería}}{\text{área}}$$

$$\text{Peso Mampostería} = (3.4 * 2.9 * 0.085 * 0.9) / (3.9 * 2.9) = 0.12 T/m^2$$

$$\text{CM: } 0,166 T/m^2$$

### Planta de cubiertas N+4.00

$$\text{Peso Entablado} = B * L * e * \text{Densidad de la Madera}$$

$$\text{Peso Entablado} = 1 * 1 * 0.01 * 0.9 = 0.009 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Peso Viga} = \# \text{ de vigas} * \frac{\pi * \phi \text{ viga}^2}{4} * \text{Densidad de la Madera}$$

$$\text{Peso Viga} = 2 * \frac{\pi * 0.15^2}{4} * 0.9 = 0.032 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Peso Zinc} = 0.01957 \text{ T/m}^2$$

$$\text{CM: } 0,06 \text{ T/m}^2$$

- **Carga Viva (L):**

Se considera, según el uso del edificio, como carga distribuida sobre las vigas, se debe pensar que la edificación en cualquier instante puede verse afectada por alguna actividad física que puede ser ejecutada en un mismo tiempo por todos los ocupantes produciendo impactos en la estructura por lo que se toma como 0,2T/m<sup>2</sup> correspondiente a residencias (viviendas), y 0,07 T/m<sup>2</sup> de cubierta.

### N+2.00

$$\text{CV: } 0,2 \text{ T/m}^2$$

### Planta de cubiertas N+4.00

$$\text{CV: } 0,07 \text{ T/m}^2$$

- **Carga sísmica (E):**

Son cargas inciertas tanto en magnitud, distribución e inclusive en el momento en el que puede actuar, por hallarse en la zona central del país en una zona de riesgo sísmico se somete la estructura a estas acciones; para Chambo Zona 4.

### Combinación de cargas

De acuerdo a la disposición establecida en la NEC-2011, capítulo 1 numeral 1.1.6 combinaciones de carga pág. 14, en la que dice las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño

iguale o exceda los efectos de las cargas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,2D + L + Ex
4. 1,2D + L - Ex
5. 1,2D + L + Ey
6. 1,2D + L - Ey
7. 0,9D + Ex
8. 0,9D + Ey
9. 0,9D - Ex
10. 0,9D - Ey

#### **6.5.2.2 Diseño basado en fuerzas (DBF)**

El DBF es obligatorio para todo tipo de estructuras.

##### **6.5.2.2.1 Determinación del Cortante Basal de Diseño V.**

Se obtuvo la cortante Basal de la vivienda mediante la siguiente fórmula estipulada en la NEC\_SE\_DS

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E} * W$$

Dónde:

Sa (Ta) = Espectro de diseño en aceleración; véase en la sección [3.3.2]

$\phi_P$  y  $\phi_E$  = Coeficientes de configuración en planta y elevación; véase en la sección [5.3]

I = Coeficiente de importancia; se determina en la sección [4.1]

R = Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección [6.3.4]

V = Cortante basal total de diseño

W = Carga sísmica reactiva; véase en la sección [6.1.7]

Ta = Período de vibración; véase en la sección [6.3.3]

### Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 258, consistente con:

- Factor de zona sísmica  $Z$ ,
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo  $F_a$ ,  $F_d$ ,  $F_s$ .

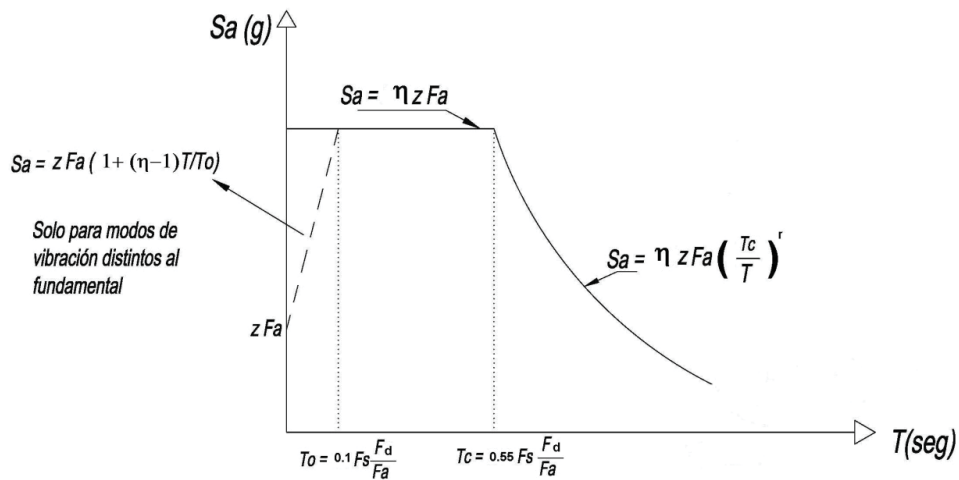


Figura 258. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Fuente: NEC\_SE\_DS

Tabla 41. Cálculo Espectro Elástico

ESPECTRO ELÁSTICO				
PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR	UNIDADES	REFERENCIA
Factor de importancia	I	1	s.u	Tabla 6, Sec. 4.1 Pg. 39
Factor de reducción respuesta	R	5	s.u	Tabla 15 y 16, Sec. 6.3.4 Pg. 64-65
Zonificación Sísmica	V			Tabla1, Sec.3.1.1
Región del Ecuador	Chambo			Sec.3.1.1
Factor de aceleración de la zona sísmica	Z	0,4	s.u	Tabla 1, Sección 3.1.1 Pg. 27
Razón entre aceleración espectral $S_a$ ( $T=0.1s$ ) y PGA para el periodo de retorno seleccionado	$\eta$	2,48	s.u	Sec.3.1.1 Pg.34
Coefficiente $C_t$	$C_t$	0,055	s.u	Sec.6.3.3 Pg.62

Altura Total del Elemento	hn	4,9	m	Planos
Coficiente para el cálculo de Periodo	$\alpha$	0,75	s.u	Sec.6.3.3 Pg.62
Periodo Fundamental Método 1	T1	0,5	s	Sec.6.3.3 Pg.62
Periodo Fundamental Método 2	T2	0,5	s	Sec.6.3.3
Periodo Natural Vibración X	Tax	0,96	s	Modelo
Periodo Natural Vibración y	Tay	0,96	s	Modelo
Tipo de Suelo		D		Tabla 2, Sec. 3.2.1 pg.29
Factor de sitio Fa	Fa	1,2	s.u	Tabla 3, Sec. 3.2.2 pg.31
Factor de sitio Fd	Fd	1,19	s.u	Tabla 4, Sec. 3.2.2 pg.31
Factor de comportamiento. Inelástico suelo	Fs	1,28	s.u	Tabla 5, Sec. 3.2.2 pg.32
Factor asociado al periodo de retorno	r	1	s.u	Sec.3.1.1 Pg.34
Factor de irregularidad en planta	$\phi_p$	1	s.u	Tabla 13, Sec. 5.2.3 pg.50
Factor de irregularidad en elevación	$\phi_e$	1	s.u	Tabla 14, Sec. 5.2.3 pg.51
Aceleración de la gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	
Periodo Limite en T=To	To	0,13	seg.	Sec.3.1.1 Pg.33
Periodo Limite en T=Tc	Tc	0,7	seg.	Sec.3.1.1 Pg.33
Periodo Límite en T=TL	TL	2,86	seg.	Sec.3.1.1 Pg.34
Aceleración en T=0	Sa	0,48	g	Sec.3.1.1 Pg.33
Aceleración en T=To	Sao	1,19	g	Sec.3.1.1 Pg.33
Factor de Reducción de espectro	f	0,2	s.u	Porcentaje de reducción del espectro

*Tabla 42. Espectro de Diseño por el Método Dinámico*

<b>MÉTODO DINÁMICO</b>				
<b>ESPECTRO DE DISEÑO</b>				
	<b>ELÁSTICO</b>		<b>INELÁSTICO</b>	
<b>T(SEG)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Sa (g)</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>
0,00	0,48	4,71	0,10	0,94
<b>0,13</b>	1,19	11,68	0,24	2,34
0,20	1,19	11,68	0,24	2,34
0,30	1,19	11,68	0,24	2,34
0,40	1,19	11,68	0,24	2,34
0,50	1,19	11,68	0,24	2,34
0,60	1,19	11,68	0,24	2,34
<b>0,70</b>	1,19	11,68	0,24	2,34
0,80	1,04	10,19	0,21	2,04
0,90	0,92	9,06	0,18	1,81
0,96	0,87	8,49	0,17	1,70
1,00	0,83	8,15	0,17	1,63
1,10	0,76	7,41	0,15	1,48
1,20	0,69	6,79	0,14	1,36
1,30	0,64	6,27	0,13	1,25
1,40	0,59	5,82	0,12	1,16
1,50	0,55	5,44	0,11	1,09
1,60	0,52	5,10	0,10	1,02
1,70	0,49	4,80	0,10	0,96
1,80	0,46	4,53	0,09	0,91
1,90	0,44	4,29	0,09	0,86
2,00	0,42	4,08	0,08	0,82
2,10	0,40	3,88	0,08	0,78
2,20	0,38	3,71	0,08	0,74
2,30	0,36	3,54	0,07	0,71
2,40	0,35	3,40	0,07	0,68
2,50	0,33	3,26	0,07	0,65
2,60	0,32	3,14	0,06	0,63
2,70	0,31	3,02	0,06	0,60
2,80	0,30	2,91	0,06	0,58
<b>2,86</b>	0,29	2,85	0,06	0,57

Periodo Límite en  $T_O=0,13s$

Periodo Límite en  $T_C=0,70s$

Periodo Límite en  $T_L=2,86s$

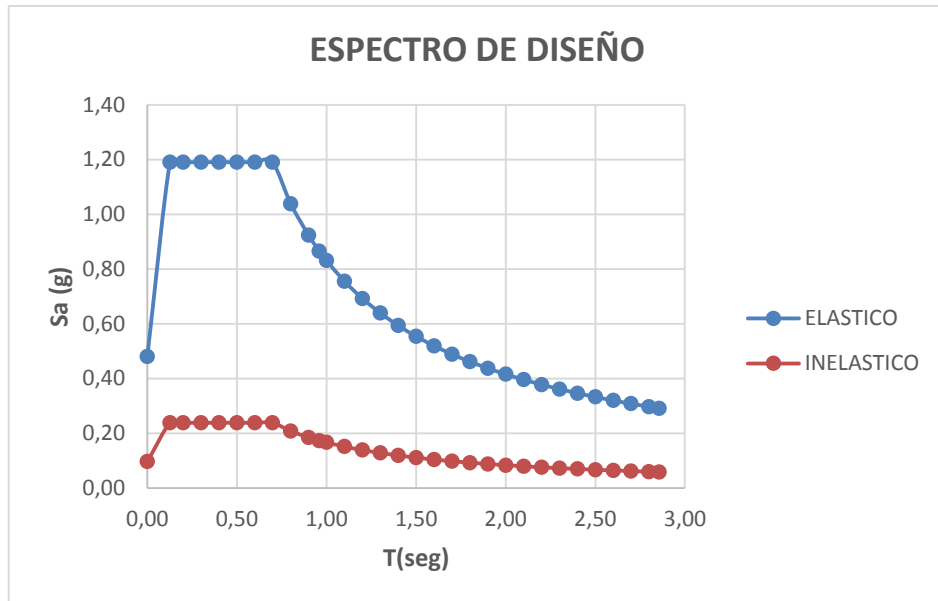


Figura 259. Espectro de diseño calculado

$$V = \frac{1 * 0,87}{5 * 1 * 1} * W$$

$$V = 0,173 * W$$

#### 6.5.2.2.2 Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso $\Delta M$ )

Se hará un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivadas inelásticas máximas de cada piso de la estructura.

Los valores máximos se han establecido considerando las secciones agrietadas

##### **Inercia de las secciones agrietadas**

Para el caso de estructuras de mampostería, en el cálculo de la rigidez y de las derivadas máximas se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas de los elementos estructurales, de similar forma a la descrita para el procedimiento de cálculo estático de fuerzas sísmicas.

El valor de la inercia agrietada será de:

- 0.5  $I_g$  (columnas) NEC\_SE\_DS sec.6.1.6 pág. 55
- 0.5  $I_g$  (vigas) NEC ESTRUCTURAS DE MADERA sec.4.3.6 pág. 56

##### **Límites permisibles de las derivadas de los pisos**

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecido para estructuras de mampostería  $\Delta M_{\text{máx.}}=0,01$  (NEC\_SE\_DS sec.4.2.2 pág. 40) en la cual se expresa como un porcentaje de la altura de piso.

### 6.5.2.3 Definición de propiedades de los materiales.

Para realizar el análisis estructural en el programa ETABS se necesita conocer las propiedades del material que compone la estructura como: Densidad, Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Corte. En el caso de la mampostería estos datos se obtuvieron de los ensayos descritos a lo largo de nuestra investigación; mientras que los datos de la madera que componen las vigas y el entablado de la construcción escogida para el análisis se obtuvo de distintas fuentes; todo esto descrito a continuación .

#### 6.5.2.3.1 Mampostería

Una vez concluidos los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados, los mismos que se ingresaron en ETABS para el análisis estructural.

- **Densidad:**

*Tabla 43. Densidad mampostería*

Muestra N°	Peso muestra (g)	Peso agua (g)	Peso agua + ladrillo (g)	Peso agua + agua' (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	3668	8248,000	11915,000	10511,000	2263,000	1,621
2	3991,5	8248,000	12236,000	10581,000	2333,000	1,711
3	4047,7	8248,000	12293,000	10506,000	2258,000	1,793
4	3692,7	8248,000	11938,000	10512,000	2264,000	1,631
5	3592	8248,000	11837,000	10437,000	2189,000	1,641
<b>Media (g/cm<sup>3</sup>)</b>						1,679
<b>Desviación Estándar (g/cm<sup>3</sup>)</b>						0,073
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>						4,320

$$Densidad = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen}}$$

$$Densidad=1,679 \text{ g/cm}^3$$

- **Módulo de Elasticidad:**

$$E=550f_m^*$$

$f_m^*$ = esfuerzo máximo

**Sin Refuerzo**

**Tabla 44.** Módulo de Elasticidad mampostería S/R

Tipo	Muestra	Carga Máxima(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por compresión (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Sin refuerzo	PL1	62000,000	2,270	5,334	1248,341
	PL2	61000,000	2,278	5,588	1252,801
	PL3	60000,000	2,194	5,613	1206,736
	PL4	61000,000	2,212	4,976	1216,792
<b>Media</b>		61000,000	2,238	5,378	<b>1231,167</b>
<b>Desviación Estándar</b>		816,497	0,042	0,296	22,851
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		1,339	1,856	5,506	1,856

$$E= 550*2,238$$

$$E=1230,9 \text{ MPa}$$

**Con Refuerzo**

**Tabla 45.** Módulo de Elasticidad mampostería C/R

Tipo	Muestra	Carga(N)	Esfuerzo (MPa)	Deformación por compresión (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Con refuerzo	PL1	77000	2,819	7,540	1343,805
	PL2	83000	3,099	6,870	1443,478
	PL3	83000	2,501	6,141	1279,159
	PL4	78000	2,292	3,900	1173,587
<b>Media</b>		80250,000	2,678	6,113	<b>1472,838</b>
<b>Desviación Estándar</b>		3201,562	0,355	1,582	195,064
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		3,989	13,244	25,879	13,244

$$E= 550*2,678$$

$$E=1472,9 \text{ MPa}$$

- **Relación de Poisson**

Utilizamos la siguiente relación según el libro SHEAR MODULUS AND STIFFNESS OF BRICKWORK MASONRY: AN EXPERIMENTAL PERSPECTIVE

$$\nu=0,25$$

- **Módulo de Corte**

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

En ausencia de un valor más preciso se puede suponer que el módulo de corte o cizallamiento es el 40% del módulo elástico E según el Eurocódigo 1995. (Hemant, Durgesh, & Sudhir, 2007)

$$G=0,4E$$

*Sin Refuerzo*

$$G=0,4*1230,9$$

$$G=492,36 \text{ MPa}$$

*Con Refuerzo*

$$G=0,4*1472,9$$

$$G=589,16 \text{ MPa}$$

### 6.5.2.3.2 Madera

Al analizar la información bibliográfica sobre la madera se determinó que el eucalipto utilizado en el análisis de la estructura es Tipo A (densidad alta).

- **Densidad**

“A” densidad básica comprendida ente 0,71 a 0,9

$$Densidad= 0,9$$

- **Módulo de Elasticidad**

*Tabla 46. Módulo de Elasticidad Madera*

Densidad	MPa	T/m2
Alta	13000	<b>1326530,61</b>
Baja	9000	918367,347

- **Relación de Poisson**

*Tabla 47. Relación de Poisson madera*

Orientación de la muestra	Baja Densidad	Alta Densidad
Longitudinal	0,4	<b>0,43</b>
Transversal	0,25	<b>0,35</b>
Tangencial	0,2	<b>0,18</b>

- **Módulo de Corte**

*Tabla 48. Módulo de Corte Madera*

Orientación de la muestra	Módulo de corte para baja densidad (T/m2)	Módulo de corte para alta densidad (T/m2)
Longitudinal	655976,676	<b>927643,785</b>
Transversal	734693,878	<b>982615,268</b>
Tangencial	765306,122	<b>1124178,48</b>

### 6.5.3 Modelación

En la actualidad para el análisis estructural existen varios programas que ayudan y simplifican este proceso; para el presente estudio se utilizó el software ETABS v9.7.4, al ser este programa útil para el cálculo de estructuras de hormigón armado se decidió utilizar el mismo adaptándolo para estructuras de mampostería.

Para realizar el análisis se tomaron las siguientes consideraciones:

### 6.5.3.1 Propiedades de los materiales

#### **MAMPOSTERÍA:** (material isotrópico)

- Masa por unidad de volumen:  $0,1713 \text{ T/m}^3$
- Peso por unidad de volumen:  $1,679 \text{ T/m}^3$
- Módulo de elasticidad:  $125629,328 \text{ T/m}^2$
- Relación de Poisson:  $\nu=0,25$
- Módulo de corte:  $50251,731 \text{ T/m}^2$
- Inercia agrietada para columnas:  $0,5 I_g$

#### **MADERA:** (material anisotrópico)

- Masa por unidad de volumen:  $0,0918 \text{ T/m}^3$
- Peso por unidad de volumen:  $0,9 \text{ T/m}^3$
- Módulo de elasticidad:  $1326530,61 \text{ T/m}^2$
- Relación de Poisson:  
Longitudinal:  $\nu= 0,43$   
Transversal:  $\nu=0,35$   
Tangencial:  $\nu=0,18$
- Módulo de corte:  
Longitudinal:  $927643,78 \text{ T/m}^2$   
Transversal:  $982616,26 \text{ T/m}^2$   
Tangencial:  $1124178,46 \text{ T/m}^2$
- Inercia agrietada para vigas:  $0,5 I_g$

### 6.5.3.2 Definición de secciones

#### COLUMNAS

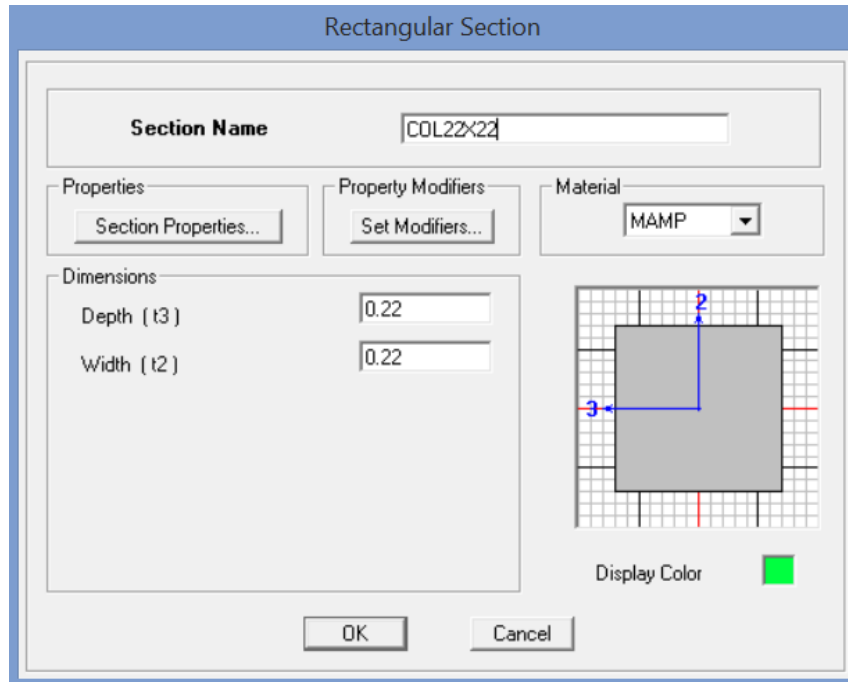


Figura 260. Definición columna

#### VIGAS

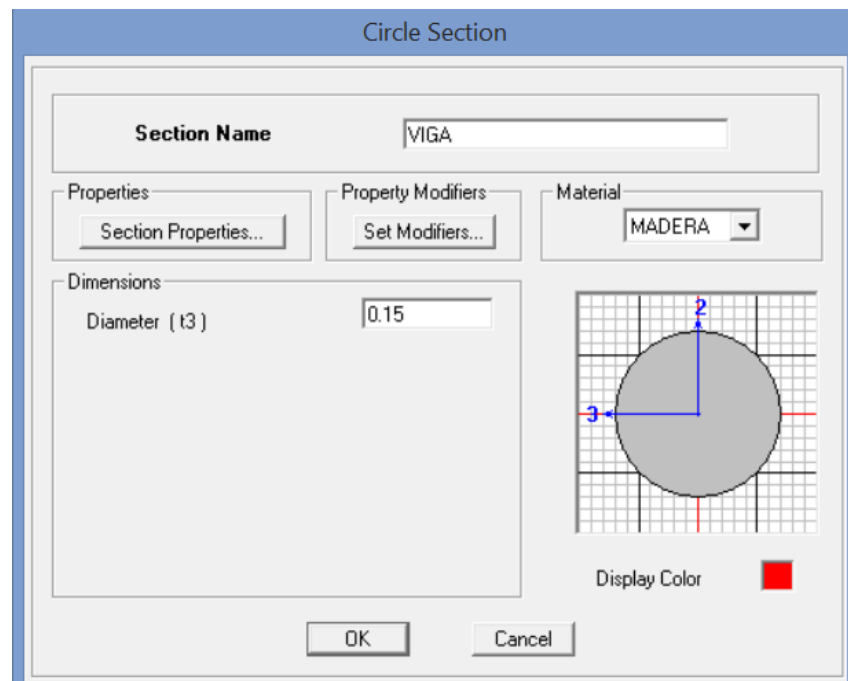


Figura 261. Definición viga

## ENTABLADO

The screenshot shows the 'Wall/Slab Section' dialog box with the following settings:

- Section Name:** ENTABLADO
- Material:** PISO
- Thickness:**
  - Membrane: 0.01
  - Bending: 0.01
- Type:** Membrane (selected), Shell, Plate, Thick Plate (unchecked)
- Load Distribution:** Use Special One-Way Load Distribution (unchecked)
- Buttons:** Set Modifiers..., Display Color (red square), OK, Cancel

*Figura 262. Definición entablado*

## PARED

The screenshot shows the 'Wall/Slab Section' dialog box with the following settings:

- Section Name:** PARED
- Material:** MAMPAREC
- Thickness:**
  - Membrane: 0.085
  - Bending: 0.085
- Type:** Shell (selected), Membrane, Plate, Thick Plate (unchecked)
- Load Distribution:** Use Special One-Way Load Distribution (unchecked)
- Buttons:** Set Modifiers..., Display Color (magenta square), OK, Cancel

*Figura 263. Definición pared*

### 6.5.3.3 Definición de Cargas

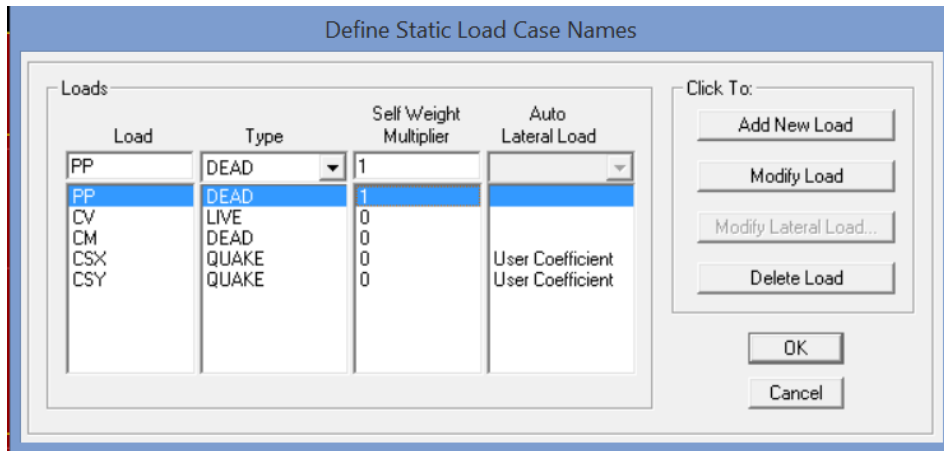


Figura 264. Definición cargas

#### CSX

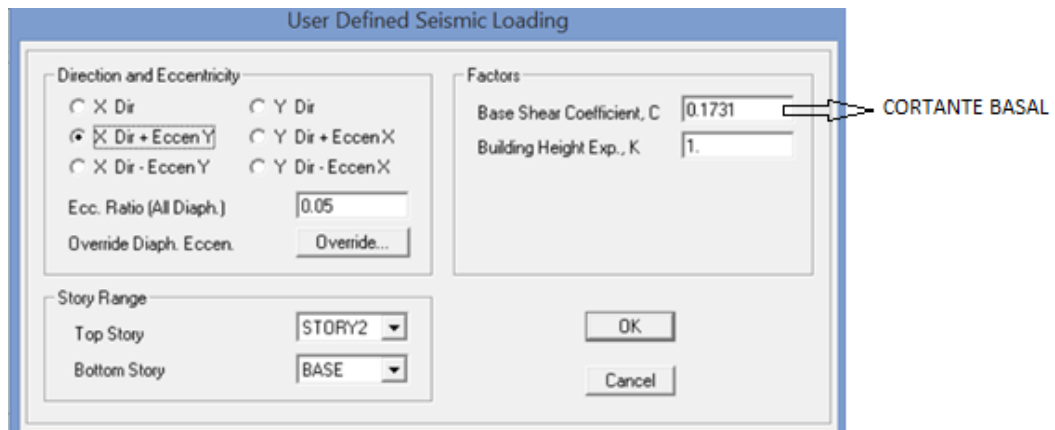


Figura 265. Definición Carga sísmica en X

#### CSY

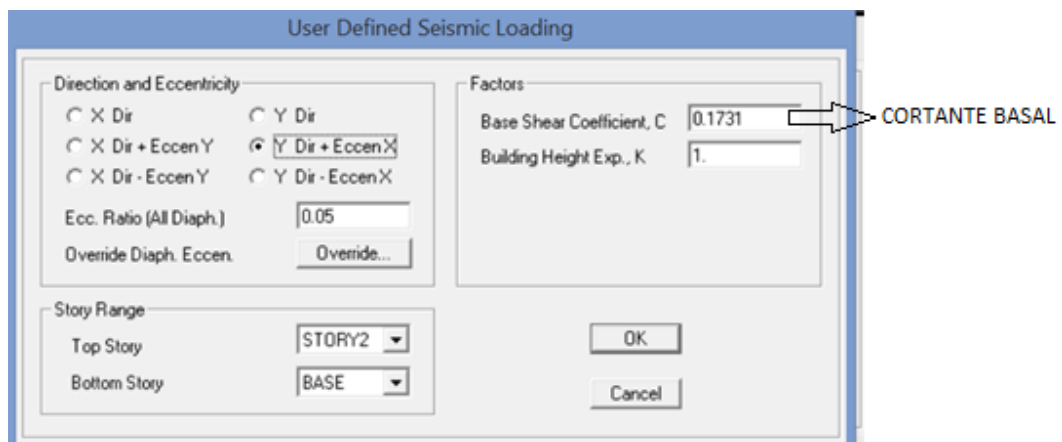
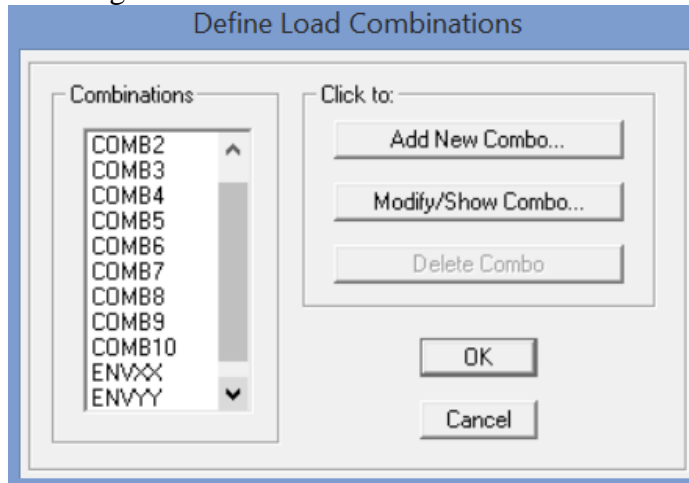


Figura 266. Definición Carga sísmica en Y

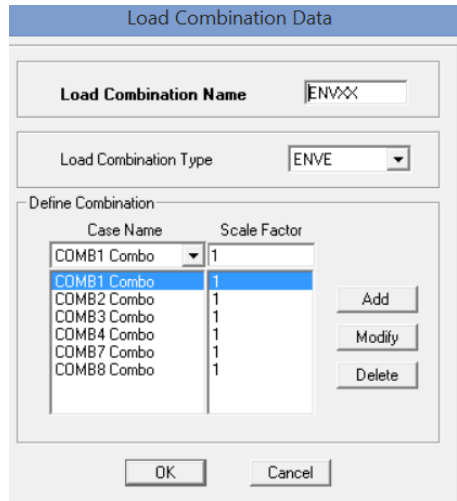
### 6.5.3.4 Combinación de cargas

Combinaciones de carga mencionadas en el literal 6.5.2.1



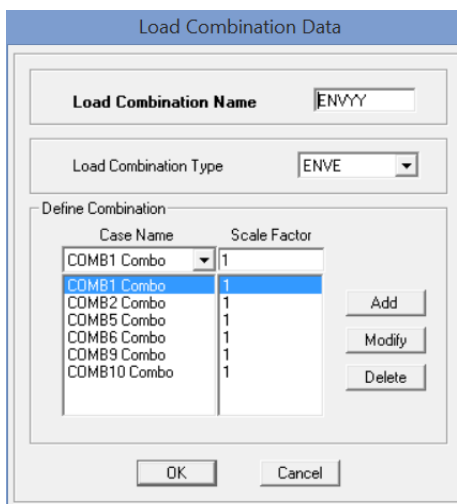
*Figura 267. Combinaciones de carga*

**ENVXX**



*Figura 268. Combinación Envoltente en XX*

**ENVYY**



*Figura 269. Combinación Envoltente en YY*

### 6.5.3.5 Cargas adoptadas

PLANTA ALTA N +2.00

CV= 0,2 T/m<sup>2</sup>

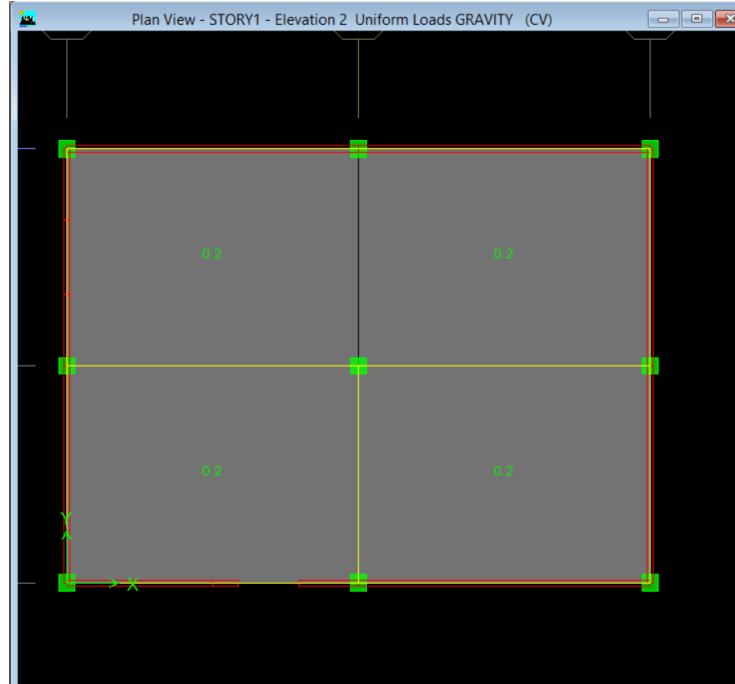


Figura 270. Carga viva planta alta N+2.00

CM=0,166 T/m<sup>2</sup>

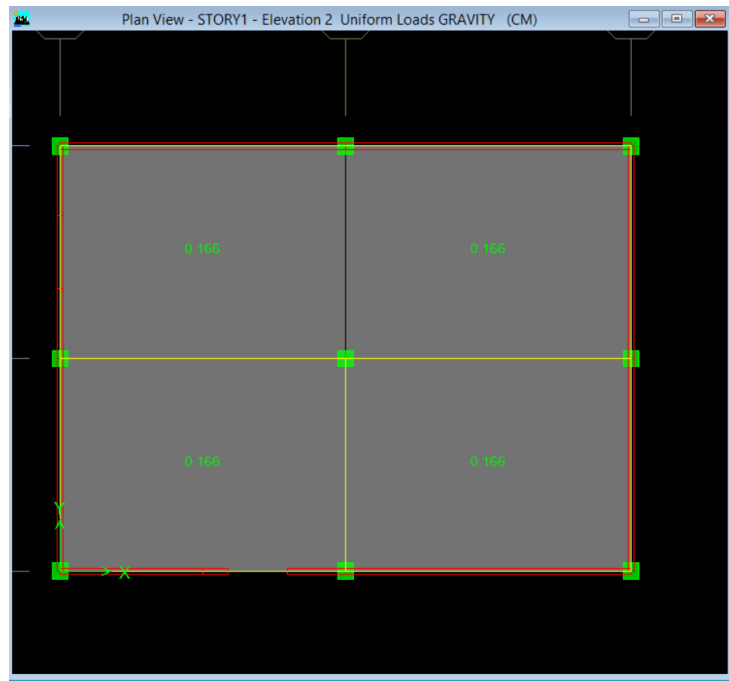


Figura 271. Carga muerta planta alta N+2.00

## PLANTA DE CUBIERTA N+ 4.90

$$CV = 0,07 \text{ T/m}^2$$

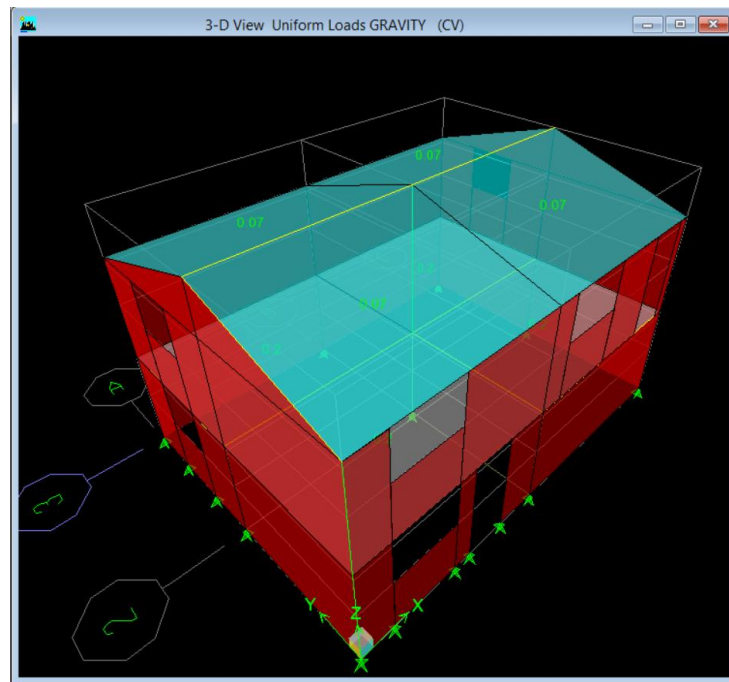


Figura 272. Carga viva cubierta N+4.90

$$CM = 0,06 \text{ T/m}^2$$

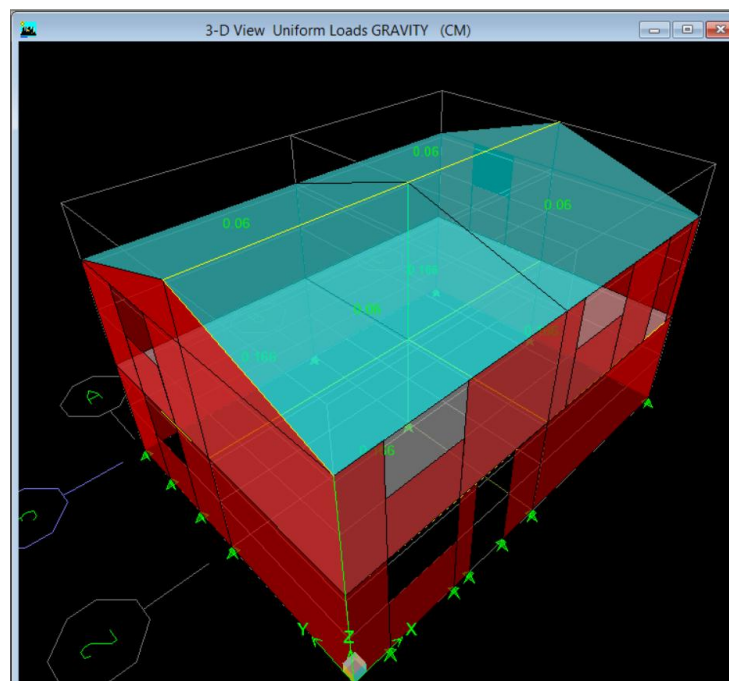


Figura 273. Carga muerta cubierta N+4.90

### 6.5.3.6 Distribución de Cargas

#### PÓRTICO 1

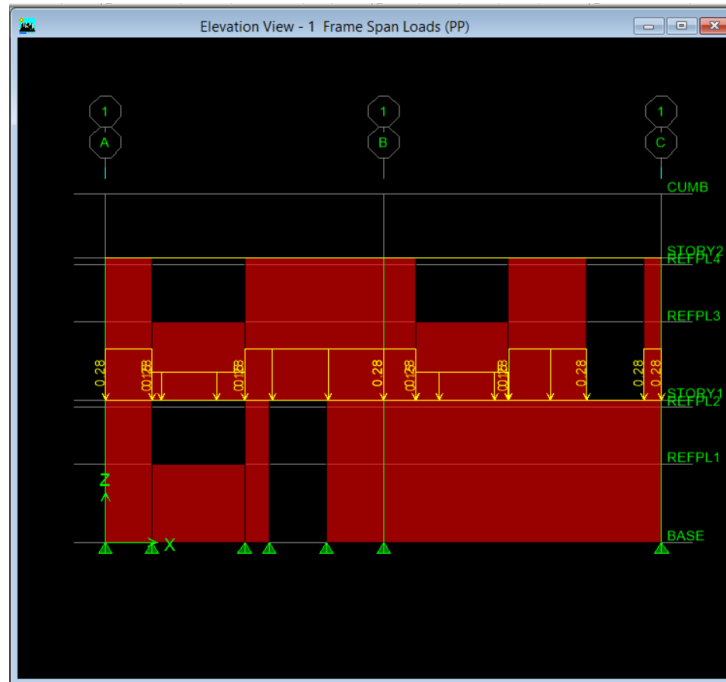


Figura 274. Distribución de cargas portico 1

#### PÓRTICO 3

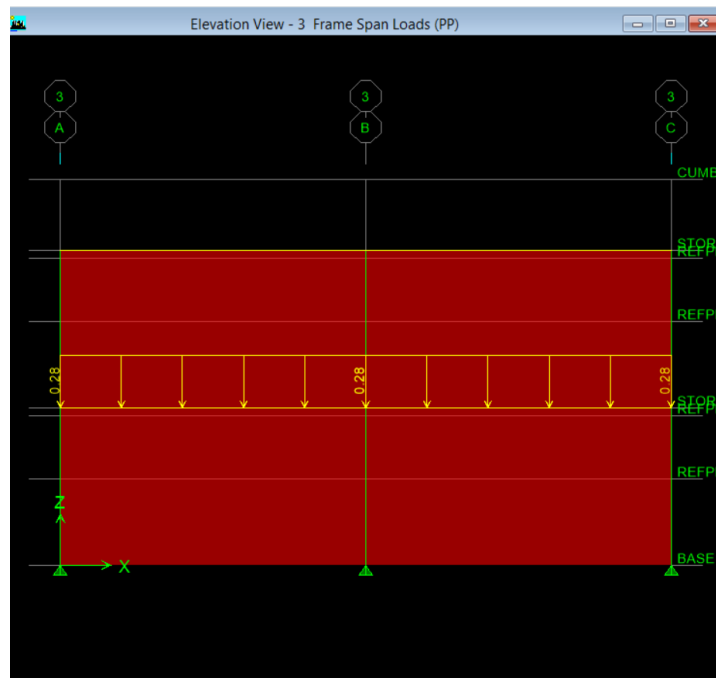


Figura 275. Distribución de cargas portico 3

## PÓRTICO A

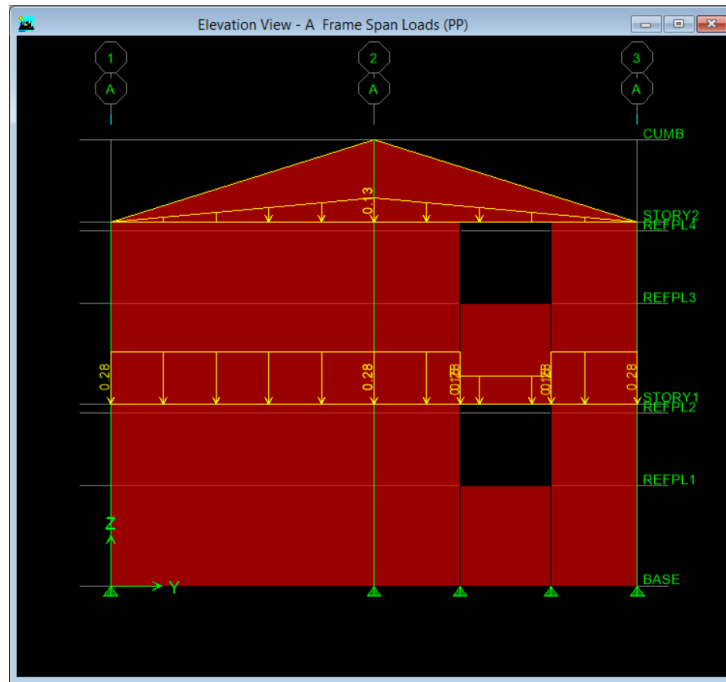


Figura 276. Distribución de cargas portico A

## PÓRTICO C

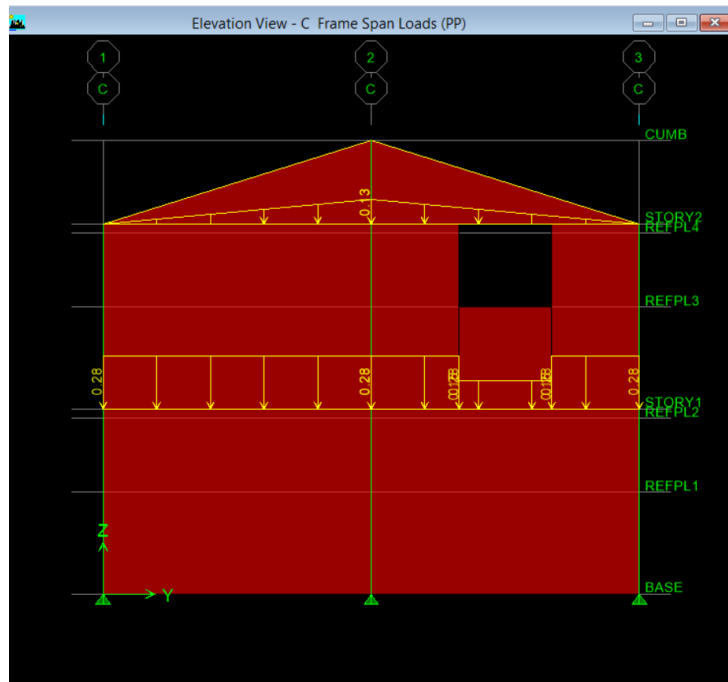
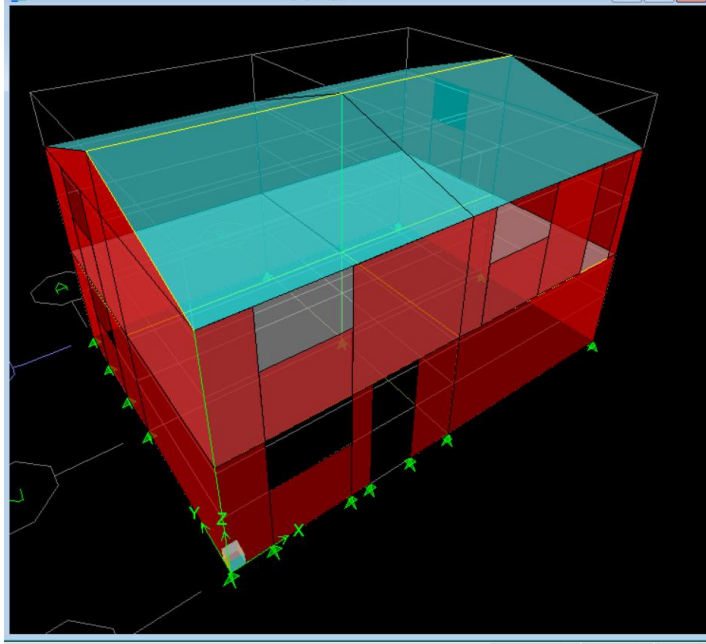


Figura 277. Distribución de cargas portico C

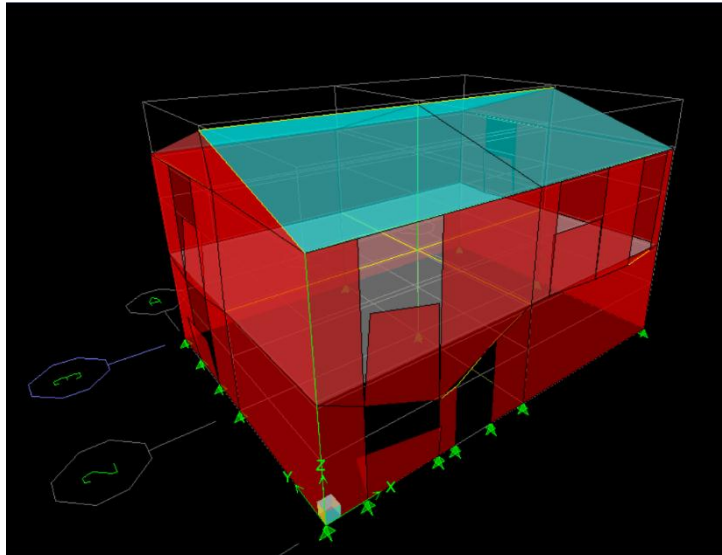
### 6.5.3.7 Modelación de la estructura

Una vez ingresados todos los datos obtenemos la siguiente estructura en 3D:



*Figura 278. Estructura en ETABS antes de la modelación*

Procedemos a modelar la estructura:



*Figura 279. Estructura en ETABS deformada bajo el estado de carga Peso Propio*

### 6.5.3.8 Derivas

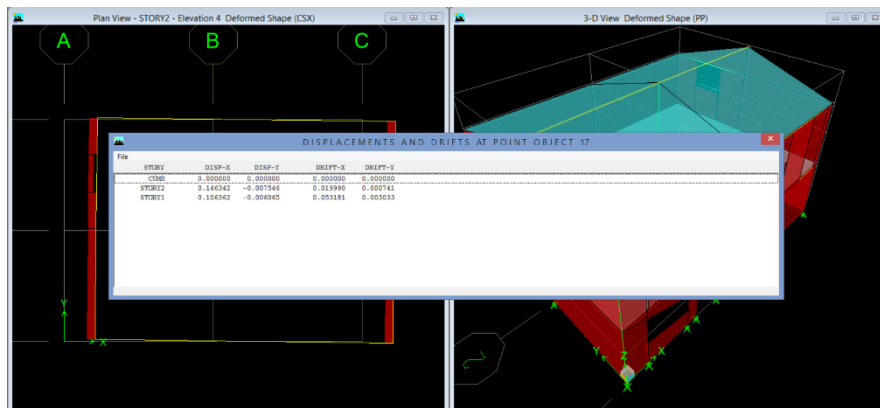
$$\Delta = \text{desplazamiento} * R * \alpha * 100$$

Dónde:

R= factor de reducción respuesta (5)

$\alpha$ = coeficiente para el cálculo de periodo (0.75)

**CSX**

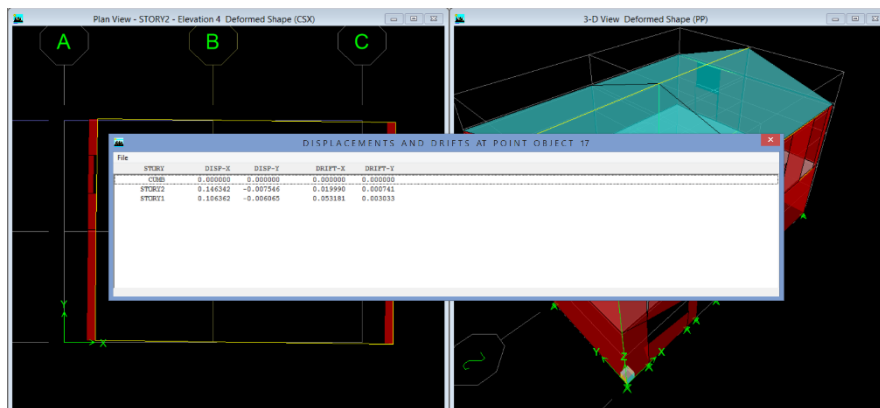


*Figura 280. Deriva de piso en CSX*

Piso 1= 19,94 %

Piso 2= 7,49 %

**CSY**



*Figura 281. Deriva de piso en CSY*

Piso 1= 18,69 %

Piso 2= 7,29 %

### 6.5.3.9 Momentos

#### PÓRTICO 1

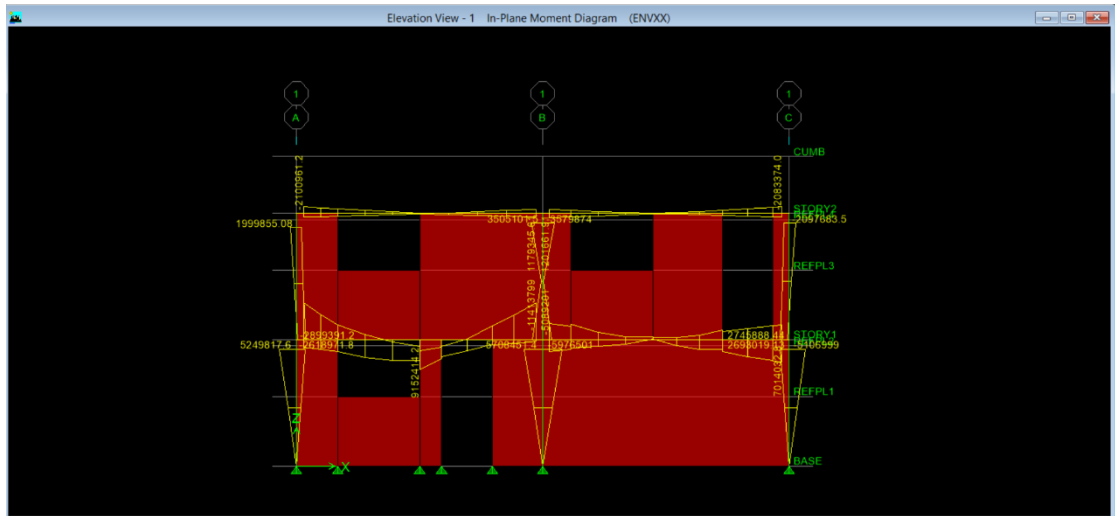


Figura 282. Momentos pórtico 1

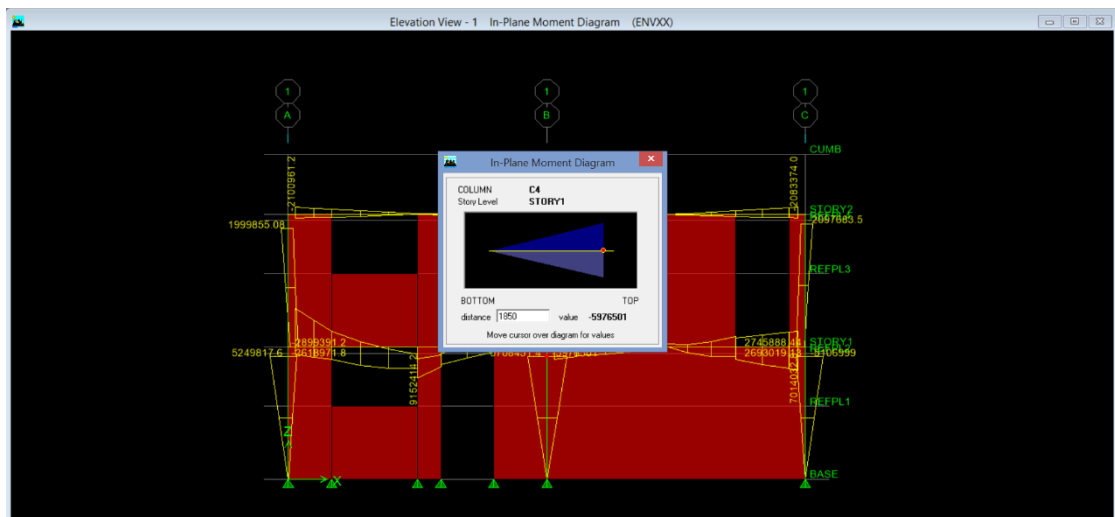


Figura 283. Momento mayor pórtico 1

#### PÓRTICO 2

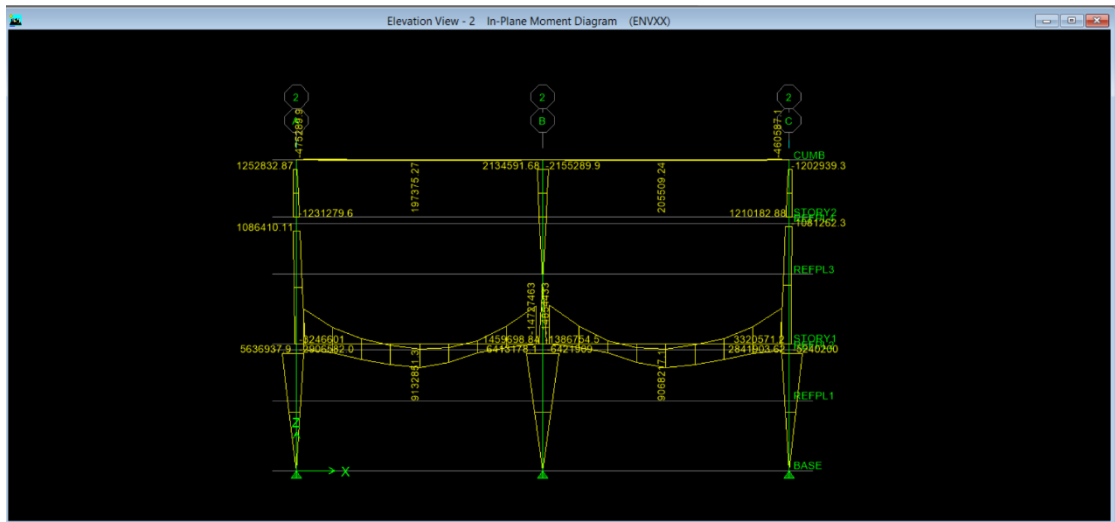


Figura 284. Momentos pórtico 2

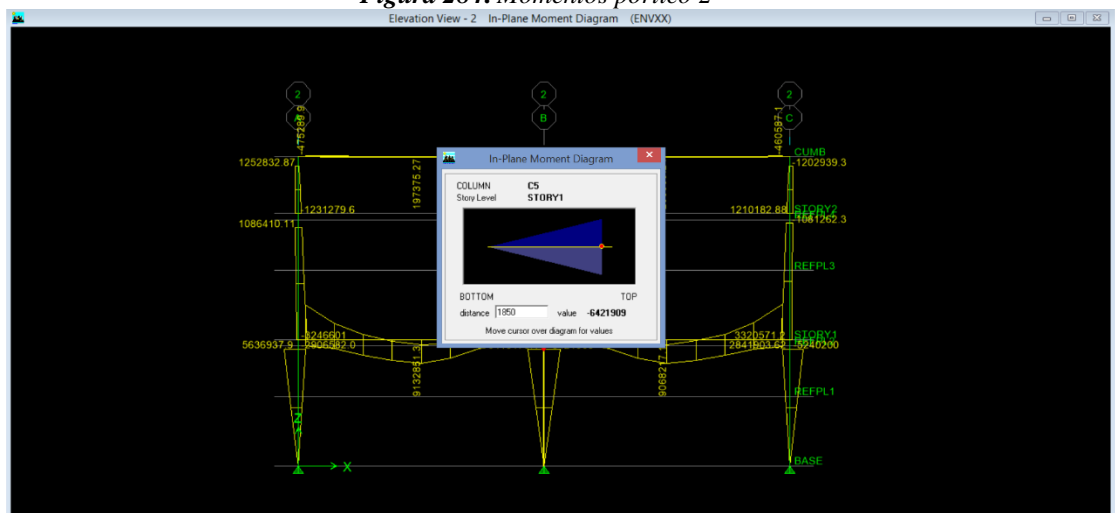


Figura 285. Momento mayor pórtico 2

### PÓRTICO 3

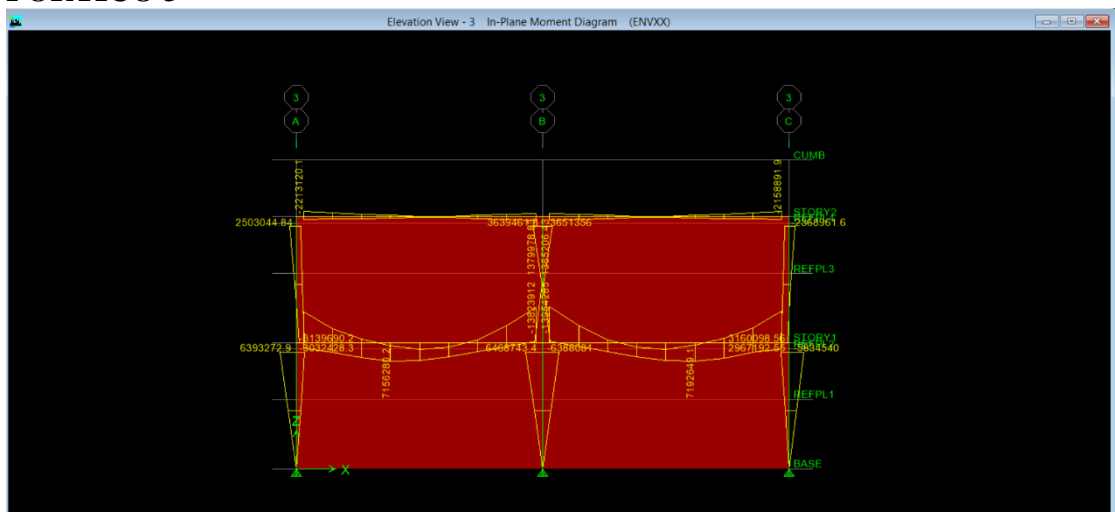


Figura 286. Momentos pórtico 3

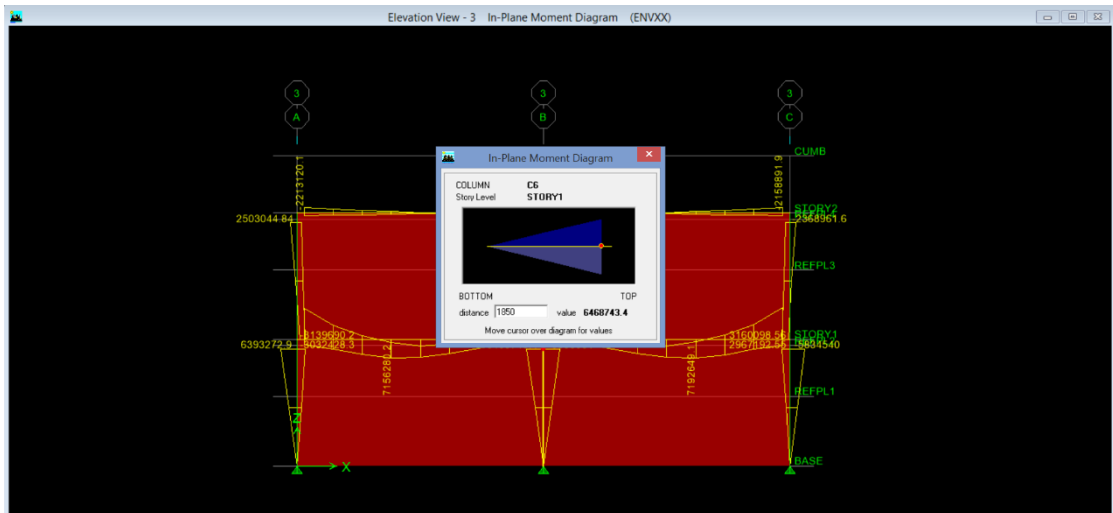


Figura 287. Momento mayor pórtico 3

## PÓRTICO A

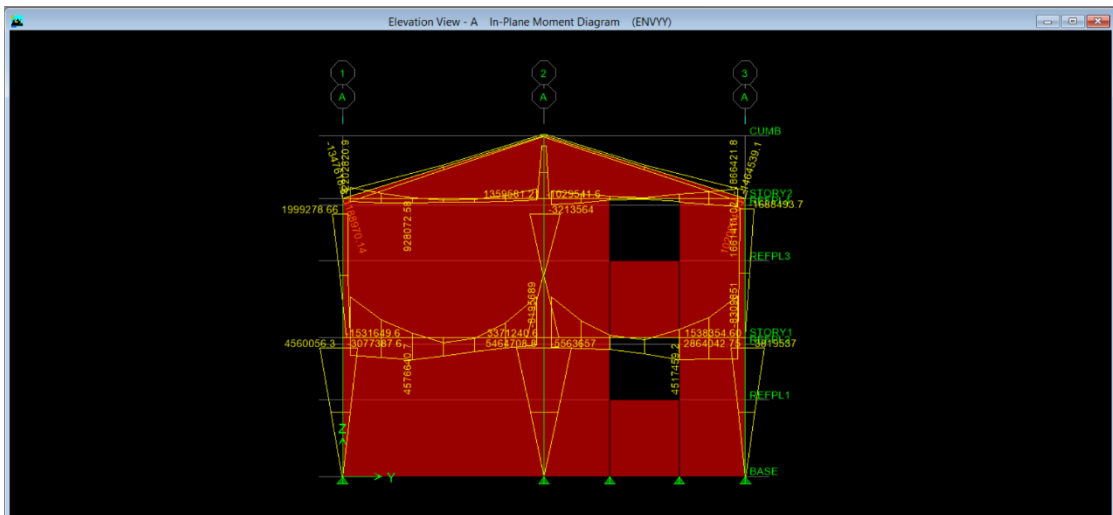


Figura 288. Momentos pórtico A

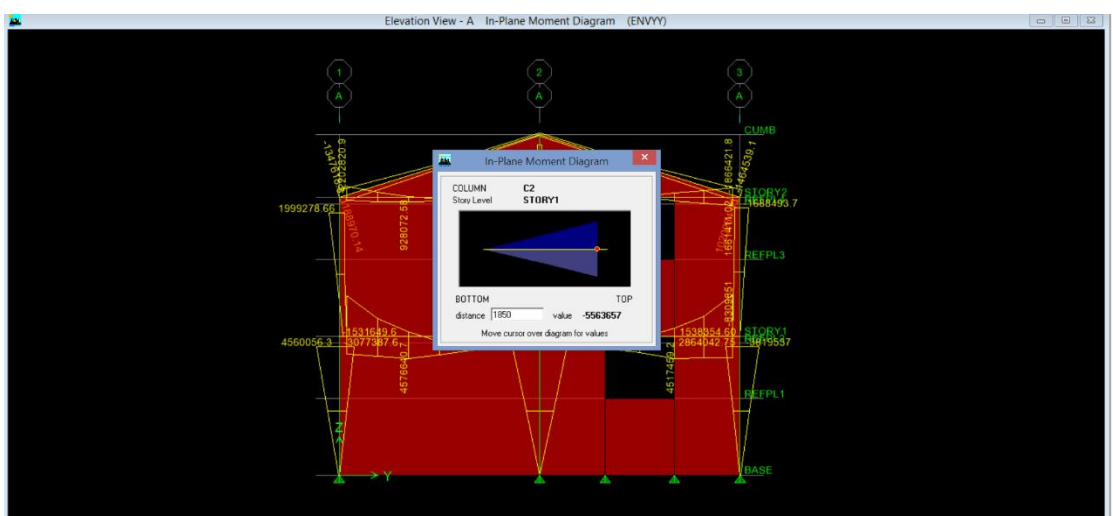


Figura 289. Momento mayor pórtico A

## PÓRTICO B

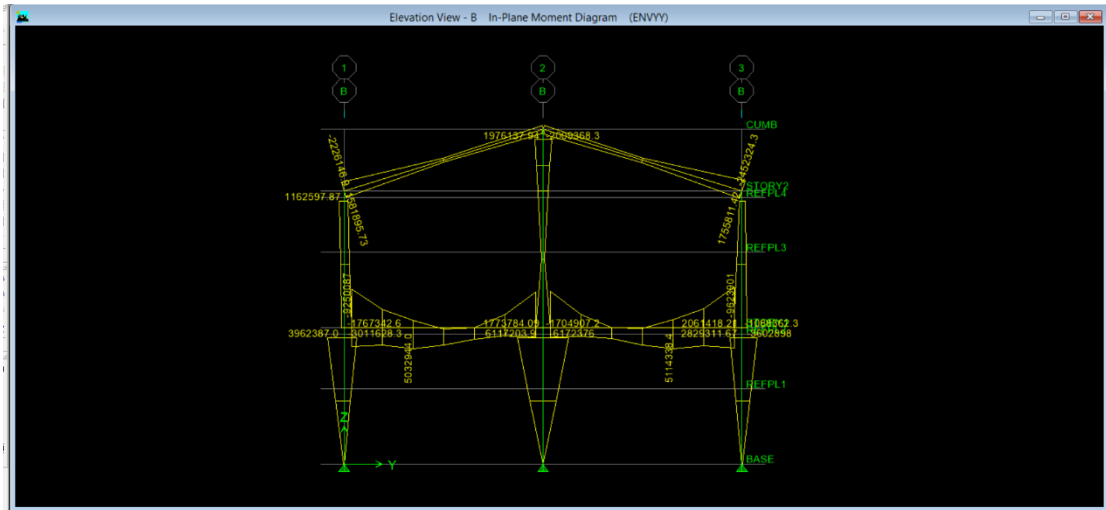


Figura 290. Momentos pórtico B

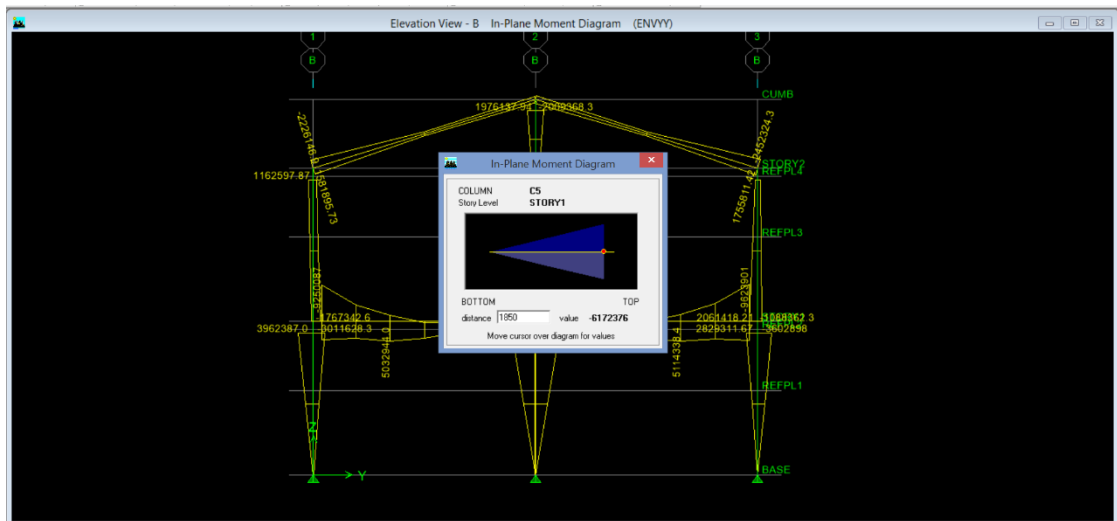


Figura 291. Momento mayor pórtico B

## PÓRTICO C

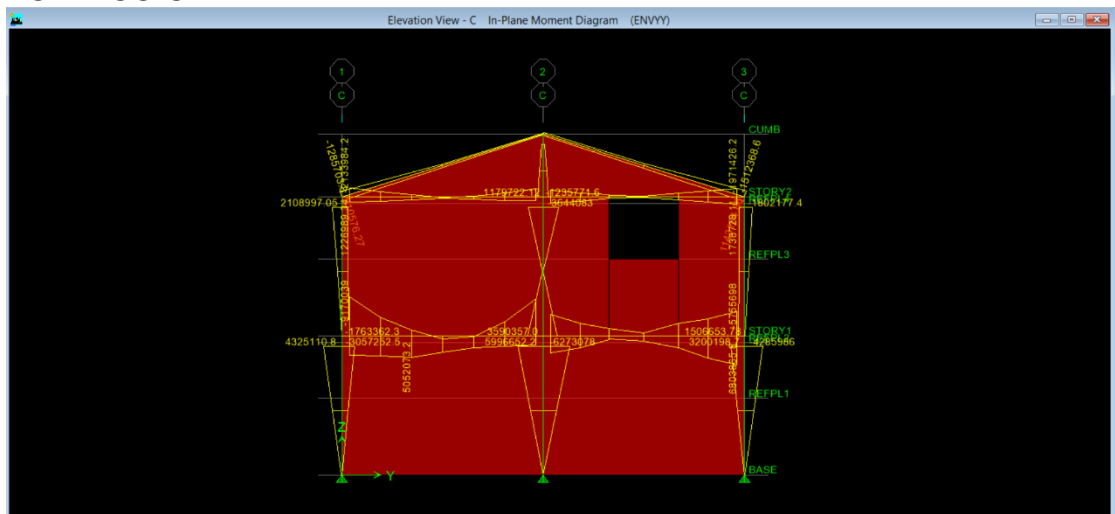


Figura 292. Momentos pórtico C

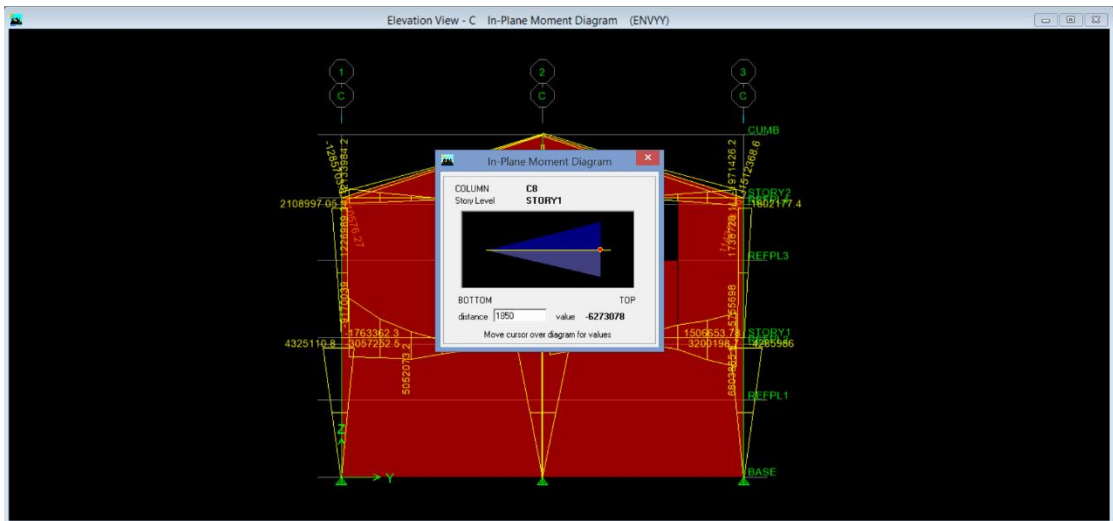


Figura 293. Momento mayor pórtico C

### 6.5.3.10 Cargas Axiales

#### PÓRTICO 1

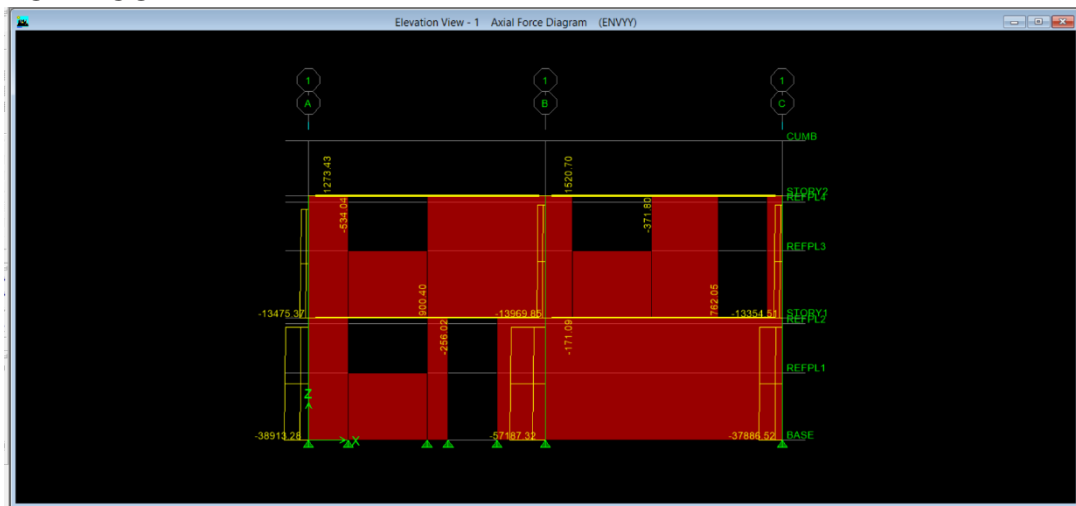


Figura 294. Cargas Axiales pórtico 1

#### PÓRTICO 2

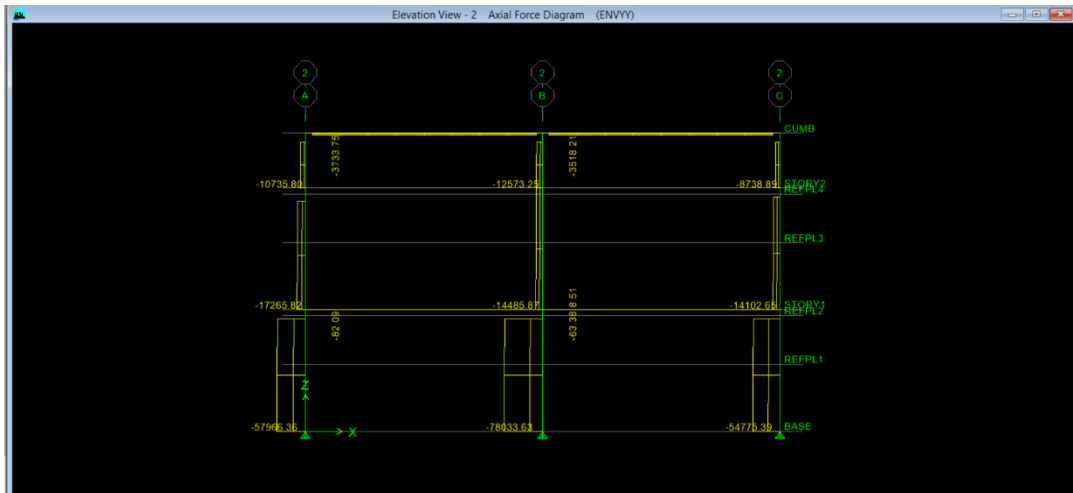


Figura 295. Cargas Axiales pórtico 2

### PÓRTICO 3

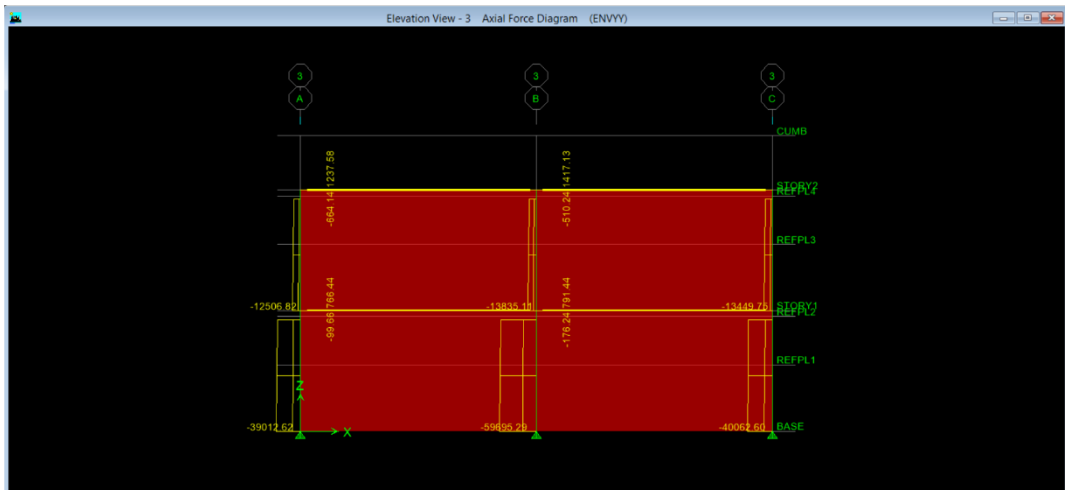


Figura 296. Cargas Axiales pórtico 3

### PÓRTICO A

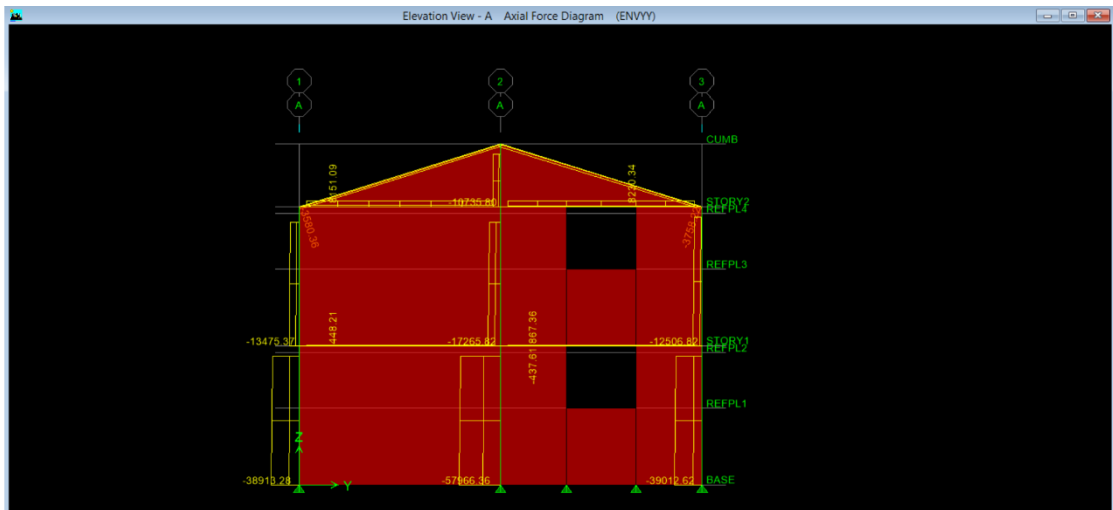


Figura 297. Cargas Axiales pórtico A

### PÓRTICO B

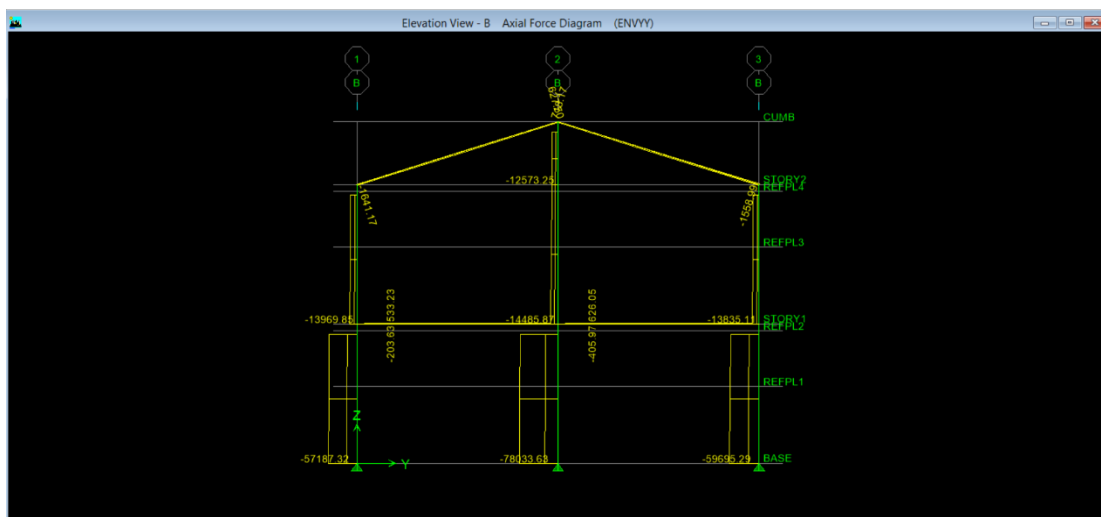


Figura 298. Cargas Axiales pórtico B

## PÓRTICO C

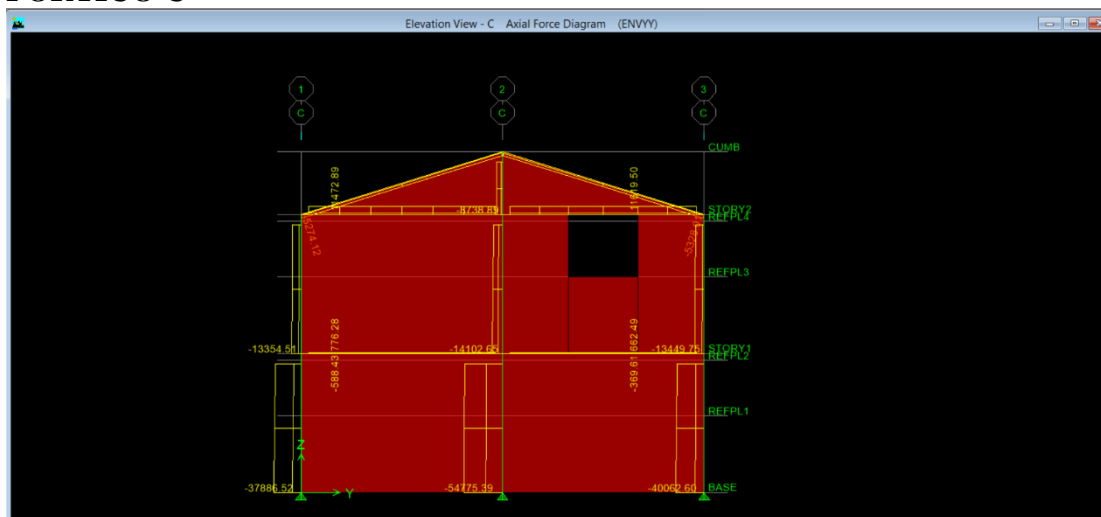


Figura 299. Cargas Axiales pórtico C

### 6.5.4 Análisis de resultados modelación

Una vez realizada la modelación de la vivienda existente con columnas de ladrillo situada en el Cantón Chambo Provincia de Chimborazo se comparan los resultados obtenidos por el programa con los resultados alcanzados en los ensayos previos.

Los resultados obtenidos en ETABS son los siguientes:

- Derivas

Se obtuvieron derivas de 19.94% respecto al eje x , y de 18.69% respecto al eje y.

- **Cargas Axiales**

*Tabla 49. Cargas Axiales Etabs*

<b>Pórtico</b>	<b>Columna</b>	<b>Carga Máxima</b>
1	B-1	57187.32 N
2	B-2	78033.63 N
3	B-3	59695.29 N
A	A-2	57966.36 N
B	B-2	68033.63 N
C	C-2	54775.39 N

- **Momento Máximo**

*Tabla 50. Momento Máximo Etabs*

<b>Pórtico</b>	<b>Columna</b>	<b>Momento Máximo</b>
1	B-1	5'976501 N*mm
2	B-2	6'421909 N*mm
3	B-3	6'468743.4 N*mm
3	A-3	6'393272.9 N*mm
A	A-2	5'563657 N*mm
B	B-2	6'172376 N*mm
C	C-2	6'2273078 N*mm

Los resultados obtenidos en el análisis experimental son:

- **Cargas Axiales y Momentos Máximos**

*Tabla 51. Cargas y Momentos Máximos análisis práctico*

<b>Tipo Columna</b>	<b>Carga Máxima</b>	<b>Momento Máximo</b>
Con refuerzo	164426.56 N	8'810461.54 N*mm
Sin refuerzo	118500.00 N	6'1566805.00 N*mm

Como se puede observar la columna más cargada de la vivienda en el análisis realizado en ETABS es la columna B-2 que resiste un valor de 78033.63 N; demostrando que este tipo de construcciones con columnas de ladrillo trabado no tiene problemas con respecto a fuerzas axiales, las columnas sin reforzamiento obtenidas en el análisis práctico resisten 118500.00 N.

En el análisis estructural de estas viviendas se observa que el inconveniente principal se refleja en la resistencia de los momentos ya que algunas de las

columnas de esta estructura tales como B-2, B-3, A-3, C-2, sobrepasan el valor máximo de nuestro análisis experimental  $6'1566805.00 \text{ N*mm}$ .

### 6.5.5 Análisis de costo

A continuación se presenta el análisis de precio de reforzamiento con material compuesto FRCM a base de fibras de sisal y FRP, usando 3 capas de tejido.

*Tabla 52. Análisis de Precios Unitarios FRCM por m<sup>2</sup>*

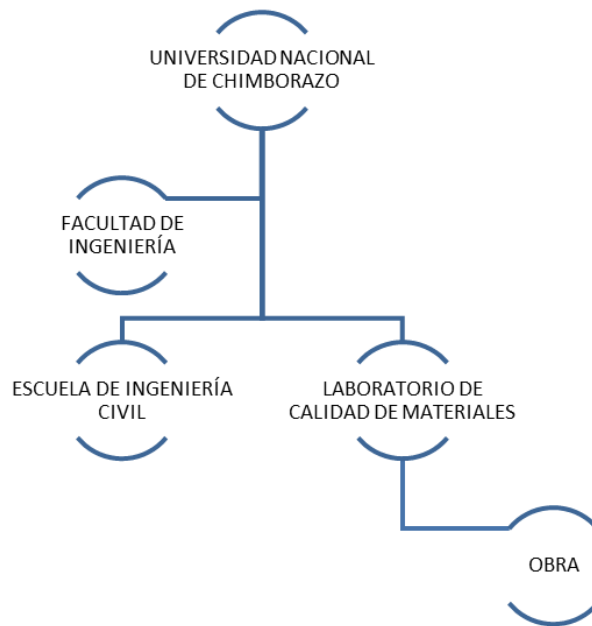
Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Cemento Chimborazo	Kg	16.8	0.16	2.62
Agregado fino	Kg	18	0.04	0.72
Agua	Kg	7.68	0.5	3.84
Plastificante	Kg	0.16	2.30	0.37
Tejido de cabuya	u	3	3	9
Resina poliéster	Kg	0.8	8.67	6.93
			<b>Total:</b>	23.48

*Tabla 53. Análisis de Precios Unitarios FRP por m<sup>2</sup>*

Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Tejido de fibra de Carbono	m2	3	88.33	264.99
Epóxico Sikadur 300	Kg	3	3.71	11.13
			<b>Total:</b>	276.12

*Fuente: Estrella,2016*

## 6.6 Diseño Organizacional.



## 6.7 Monitoreo y Evaluación de la propuesta

En sectores rurales del país, en la provincia de Chimborazo específicamente en el barrio San Sebastián del Cantón Chambo existen varias construcciones realizadas básicamente de ladrillo las que son constituidas por columnas de ladrillo trabado, vigas de madera y se caracterizan por no tener losa. Al no ser construcciones seguras se ha visto la necesidad de implementar un reforzamiento que mejore el comportamiento de las columnas de ladrillo trabado frente a cargas fuera de su eje longitudinal.

Los problemas que presentan este tipo de construcciones ya existentes, pueden ser enfrentados con el uso de un reforzamiento, la utilización de materiales compuestos a base de fibras a avanzado a una gran velocidad debido a la búsqueda de un sistema que mejore el comportamiento de elementos estructurales, de acuerdo a las exigencias actuales de la industria de la construcción y a la variedad de fibras aparecidas en estos años que podrían reemplazar a las de acero, este es el caso de las fibras de cabuya que representa un sistema de reforzamiento fácil, económico y factible en cuanto a términos de construcción se refiere.

Al comparar los resultados de los ensayos de las columnas de ladrillo trabado sin refuerzo con columnas de ladrillo trabado reforzado con material compuesto FRCM a base de fibras de cabuya, determinamos que este tipo de refuerzo aporta mejoras en el comportamiento mecánico del elemento.

Para complementar este análisis práctico se hizo un análisis estructural de una vivienda que tiene este tipo de elementos, en ETABS, mostrándonos mejora en cuanto a capacidad de carga, momento y deformación.

Al comprobar su factibilidad para el reforzamiento de edificaciones construidos con columnas de ladrillo trabado las personas que habitan en este tipo de construcciones podrán mejorar la respuesta mecánica usando un material fácilmente producible. Ya que los resultados de esta investigación son satisfactorios, la aplicación de este método resulta más económico que otros métodos tradicionales, debido a que la cabuya es de fácil obtención y de bajo costo. Sin embargo se recomienda que por ningún motivo se debe incrementar cargas gravitacionales; es decir no se debe cambiar el uso de la construcción (aumento cargas vivas o muertas) y menos aún pisos adicionales.

## CAPITULO VII

### 7 BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2002). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440. 2R-02)*. Michigan, USA.
- ACI. (2013). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures (ACI 549. 4R-13)*. Michigan USA.
- AFAM. (2012). *Costrumatica*. Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas\\_de\\_los\\_Morteros](http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros)
- Allbiz. (s.f). *Recuperado de: http://www.br.all.biz/ar/gir-mtf-bgg1068844*
- ALVARADO, P., & RODRIGUEZ, P. (2003). *Uso De Fibras Naturales De Lechuguilla Para El Refuerzo De Concreto*.
- Aplicación Sistema FRP. (s.f). *Recuperado de: http://mdai.aq.upm.es/wp-content/uploads/2014/05/Intervenciu00F3n%20y%20Consolidaci00F3n%20Estructural.pdf*
- Apuntes ingeniero civil (s.f). *Recuperado de: http://apuntesingenierocivil.blogspot.com*
- Archexpo (s.f). *Recuperado de: http://www.archiexpo.es/*
- Archiproducts. (s.f.). *Archiproducts*. Obtenido de <http://www.archiproducts.com/es>
- Arqhys (s.f). *Recuperado de: http://www.arqhys.com/construccion/yeso-tipos.html*
- ASTM-C138. (2009). *Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto*. American Society for Testing Materials.

- ASTM-C231. (2003). *Contenido de aire del hormigón fresco. Método de presión*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-C1403. (2000). *Standard Test Method for Rate of Water Absorption of Masonry Mortars*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-3776. (2013). *Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabrics*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-D792-08. (2008). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity*. American Society for Testing Materials.
- ASTM-D1577. (2012). *Standard Test Methods for Linear Density of Textile Fibers* American Society for Testing Materials.
- B., B. ((2004)). *Bond Behavior Of A Multi-Filament Yarn Embedded In A Cementitious Matrix*.
- Beer, F., & Johnston, E. (1993). *Mecánica de Materiales*. Bogotá: McGraw-Hill, S.A.
- Beltrán , L. (1986). *Concreto Reforzado Con Fibras De Polipropileno*,. Quito.
- Bosiljkov, V., Totoev, Y., & Nichols, J. (2006). *SHEAR MODULUS AND STIFFNESS OF BRICKWORK MASONRY: AN EXPERIMENTAL PERSPECTIVE*.
- Cevallos , J. (2015). *Análisis De Elementos Estructurales Que Trabajan A Flexión Con Fibras De Carbono*,. Ambato.
- Cevallos, O. (2014). *Sustainable Fabric-Reinforced Cementitious Composites For The Strengthening Of Masonry Elements*.
- Checa, C., & Jurado, F. (2011). *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación. Tesis de Grado de la Universidad Técnica del Norte*.
- Como, M. (2012). *Staties of Historic Masonry Construcccion Roma*.
- [Elementos sometidos a compresión]. (s.f). *Recuperado de:* <http://publiespe.espe.edu.ec/>

- [Ensayo de Laboratorio de suelos]. (s.f). *Recuperado de:*  
*<https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/gravedad-especifica-de-los-suelos/>*
- [Estructura Básica del Material Compuesto]. (s.f). *Recuperado de:*  
*<https://arquitecturacarbono.wordpress.com/2011/03/23/%C2%BFque-es-un-material-compuesto/>*
- *Frémond., M. (s.f.). Springer Series in Solid and Structural Mechanics.*
- *Gabalec, M. A. (2008). Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008\\_Anabela-Gabalec\\_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008_Anabela-Gabalec_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf)*
- *Garcia , N., Guerrero , G., & Monroy, R. (1 de Junio de 2012). Obtenido de PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS MACIZOS CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>*
- *Gazolla , A. (2015). Aderenza Tra Compositi Frcm E Calcestruzzo: Prove Di Taglio Diretto. Padova.*
- *Gonzales, Cuevas, & Robles. (1995). ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO.*
- *Hemant, B., Durgesh, C., & Sudhir, K. (2007). STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS OF CLAY BRICK MASONRY UNDER UNIAXIAL COMPRESSSION. ASCE.*
- *Hinneler, R. (2012). Mecánica de Materiales. Edición de la Cámara Nacional de la Industria. México D.F. Páginas 692-697.*
- *INEN. (2015). ESTRUCTURAS DE MADERA.*
- *INEN:198. (2009). Cementos. Determinación de la resistencia a flexión y a la compresión de morteros. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:294. (2009). Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:295. (2009). Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión. Instituto Ecuatoriano de Normalización*

- *INEN:2502. (2009). Cemento hidráulico. Determinación de flujos en morteros. Instituto Ecuatorino de Normalización.*
- *INEN:488. (2009). Cemento hidráulico. Dterminación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:696. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (grevedad específica) y absorción del árido fino. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:862. (2010). Áridos. Determinación del contenido de humedad. Instituto Ecuatoriano de Normalización.*
- *INEN:858. (2010). Áridos. Deterinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Instituto Ecuatoriano de Normalización .*
- *ISO:2062. (2009). extiles -- Yarns from packages -- Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension. International Organization for Standardization.*
- *Kolsch, H. (1998). Carbon Fiber Cement Matrix (Cfcm) Overlay System For Masonry Strensthening.*
- *Kuroiwa , J., & Salas, J. (2009). Manual para la reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería confinada dañadas por sismos. Perú.*
- *Martinez, A. (1998). Criterios Fundamentales para Resolver Problemas de Resistencia de Materiales. Caracas: Ediciones de la Universidad Simón Bolívar.*
- *Menna, C., Asprone, D., Durante, M., Zinno, A., Balsamo, A., & Prota, A. (2015). Structural behaviour of masonry panels strengthened with an innovative hemp fibre composite grid.*
- *Molina, M., Oller, S., Barbat, A., & Martinez, X. (2009). Estudio de Hormigón Reforzadas con FRP mediante la Teoría de mezclas . Barcelona.*

- Nanni , A., & Norris, S. (1995). *Frp Jacketed Concrete Under Flexure And Combined Flexure–Compression*. *Construction And Building Materials*.
- Nash, W. (2007). *Resistencia de materiales*. Oxford: McWraw Hill.
- NEC. (2011). *CAPITULO 7. CONSTRUCCIÓN CON MADERA*. QUITO.
- Nishihara, J. (2012). *Influencia de las Fibras Naturales de Maguey a Manera de Adiciones en el Control de Fisuras por Contracción Plástica en los Pavimentos Rígidos de Concreto Hidráulico, Perú*.
- O'R. (2014). *Obtenido de 10 PASOS PARA UNA CONSTRUCCION SOSTENIBLE*. Direccion:: <http://atelieroreilly.com/wp-content/uploads/2011/07/OR-WEB-10-pasos-para-la-construccion-sostenible.pdf>
- Ortlepp, R., Ortelepp, S., & Curbach, M. (2004). *Stress Transfer In The Bond Joint Of Subsequently Applied Textile Reinforced Concrete Strengthening*.
- Pierre, L., Pierre, R., Kenneth, W., & Demers, M. (2005). *FRP-STRENGTHENED STRUCTURES: MONITORING ISSUES FROM QUEBEC APPLICATIONS*. Netherlads.
- Proaño Fiallos , E. (2015). *Desarrollo De Un Material Compuesto De Matriz De Poliuretano Rigido Reforzado Con Fibras De Cabuya Y Con Raquis De Palma Africana*.
- Reyes, U. (2008). *Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña*. Veracruz.
- Rochel Awad , R. (1998). *Concreto Reforzado, Tomo I*. Colombia.
- Romo, M. (s.f.). *Temas de Hormigón Armado, Capítulo II – Diseño y Fabricación de Hormigones*. Quito.
- Sandoval , P. (2014). *Evaluación Experimental Del Comportamiento Mecánico De Refuerzos De Fibra De Carbono Con Matriz Cementícea (Frcm), Influencia Del Tipo De Matriz*. Chile.
- Sayed , E., Bakay, R., & Shrive, N. (2009). *Electronic Journal of Structural Engineering Vol 9*.


- *Shandong Huaye Strainles Steel Group (s.f). Recuperado de: [http://es.made-in-china.com/co\\_qdrisingsun/product\\_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material\\_hrruyygy.html](http://es.made-in-china.com/co_qdrisingsun/product_High-Calcium-Quicklime-Lumps-and-Powder-for-Chemical-Material_hrruyygy.html).*
- *SHANLEY, F. (2011). MECANICA DE MATERIALES .*
- *SIKA, -. (s.f.). “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS”. Sika Informaciones técnicas.ISSN-0122-0594. .*
- *SINGER, & PYTEL. (1982). Resistencia de Materiales. México: Harla.*
- *Sociedad Mexicana , d. (2008). Guia para el Analisis de Estructuras de Mamposteria. México.*
- *Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>*
- *(TACNA-PERU) (s.f). Recuperado de: [http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa\\_I/AAAAAAAAAY/gkyQP9G\\_sGs/s1600/2.gif](http://1.bp.blogspot.com/5qj7NR1j0Oo/TrsVENKMa_I/AAAAAAAAAY/gkyQP9G_sGs/s1600/2.gif)*
- *Tamayo , A. (2012). COMPUESTO DE MATRIZ POLISTER REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN.*
- *TÉCNICAS, A. B. (1997). Projeto de estruturas de madeira,. Rio de Janeiro.*
- *Vilssa. (s.f). Recuperado de: <http://vilssa.com/noticias-contradictorias-sube-la-produccion-de-cemento-y-baja-la-actividad-de-la-construccion>*
- *Yauli , J. (2014). Desempeño Sísmico De Vigas Reparadas Con Fibras De Carbono. Ambato.*

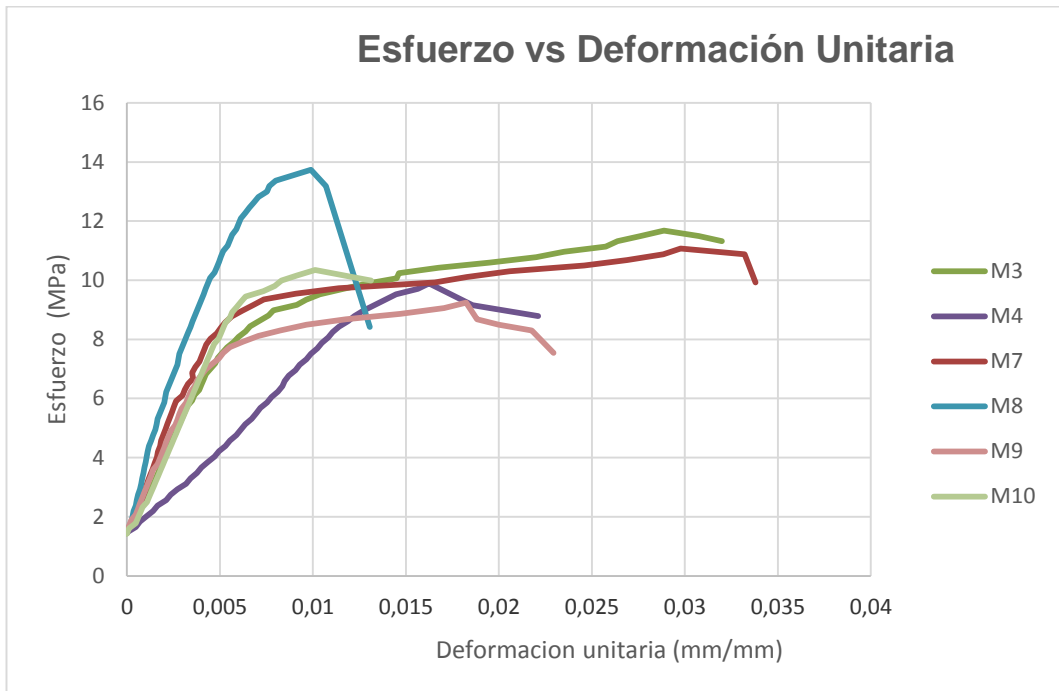
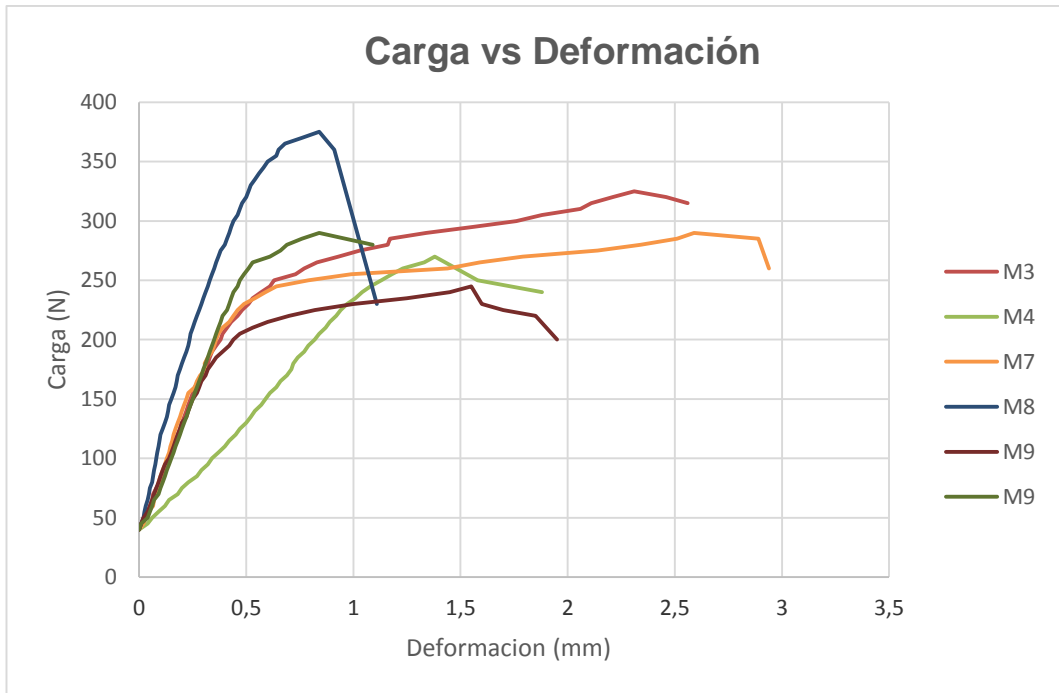
## CAPITULO VIII

### 8 APÉNDICES Y ANEXOS

#### 8.1 Caracterización del ladrillo


##### 8.1.1 Ensayo de compresión (INEN 0294)

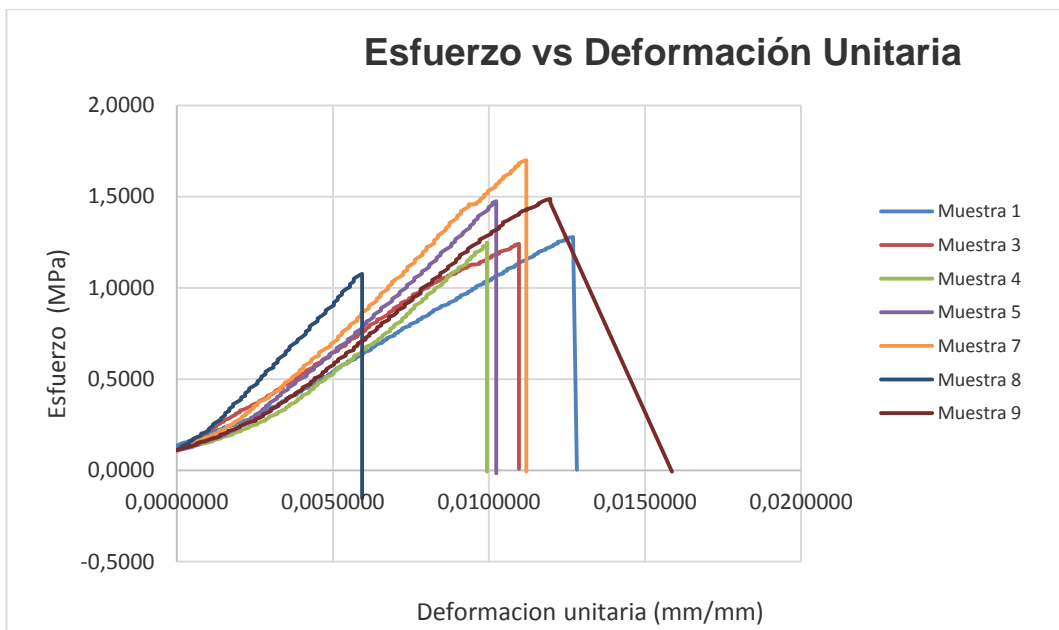
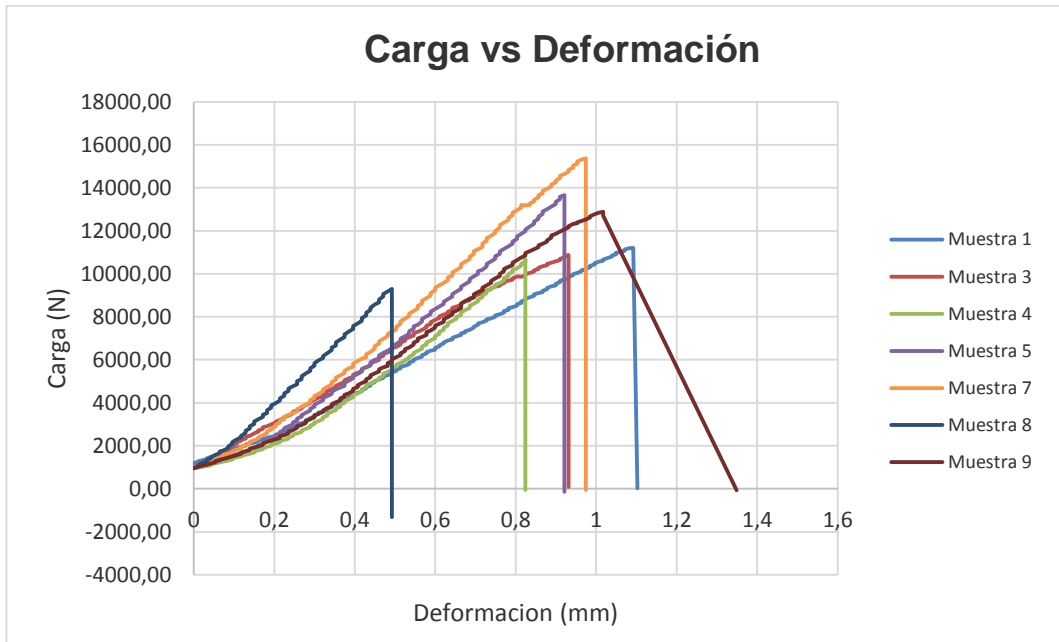
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO					
Muestra N°	h (mm)	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
3	80	325,000	11,680	0,029	404,507
4	85	270,000	9,892	0,016	609,285
7	87	290,000	11,069	0,030	371,806
8	85	375,000	13,736	0,010	1389,979
9	85	245,000	9,245	0,018	506,999
10	83	290,000	10,344	0,010	1022,107
<b>Media</b>		299,167	10,994	0,019	717,447
<b>Desviación Estándar</b>		45,543	1,593	0,009	404,599
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		15,223	14,491	46,458	56,394
FÓRMULAS A UTILIZAR					
<b>Esfuerzo máximo</b>	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$				
<b>Deformación Unitaria</b>	$\epsilon = \frac{\epsilon_i}{L_o}$				
<b>Módulo de Elasticidad</b>	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



### 8.1.2 Ensayo de flexión

(INEN 0295)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A FLEXIÓN LADRILLO						
L=		150		mm		
Muestra N°	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	102	86	11206,967	3,343	0,013	263,228
3	103	85	10875,509	3,288	0,011	300,066
4	103	83	10665,585	3,382	0,010	340,504
5	103	90	13663,440	3,685	0,010	360,185
7	104	87	15379,656	4,396	0,011	392,551
8	104	83	9295,559	2,919	0,006	491,982
9	102	85	12886,354	3,934	0,012	328,799
Media			11996,153	3,564	0,010	353,902
Desviación Estándar			2080,171	0,486	0,002	73,631
Coeficiente de Variación [%]			17,340	13,641	21,060	20,805
FÓRMULAS A UTILIZAR						
Módulo de Rotura		$R = \frac{3 Gl}{2b * d^2}$				
Deformación Unitaria		$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_o}$				
Módulo de Elasticidad		$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



### 8.1.3 Absorción



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (LADRILLO)

Muestra N°	Peso Seco (g)	Peso SSS (g)	% Absorción
1	2939	3688	25,485
2	3314	4032	21,666
3	3061	4104	34,074
4	3276	3717	13,462
5	2988	3610	20,817
6	3081	3729	21,032
7	3045	3850	26,437
8	3113	3794	21,876
9	3310	3947	19,245
10	3140	3893	23,981
		<b>Media (%)</b>	22,807
		<b>Desviación Estándar</b>	5,354
		<b>Coefficiente de Variación (%)</b>	23,474

### FÓRMULAS A UTILIZAR

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

## 8.1.4 Absorción por capilaridad (ASTM C1403)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

N°	Longitud (mm)					Base (mm)					Área (mm <sup>2</sup> )	
	L1	L2	L3	L4	L prom	b1	b2	b3	b4	b prom		
1	26,7	26,5	26,5	26,6	265,75	10,5	10,8	10,7	10,8	107	28435,25	
2	26,8	26,9	27,1	27	269,5	10,4	10,4	10,4	10,3	103,75	27960,625	
3	26,7	26,7	26,5	26,5	266	10,1	10,2	10,1	10	101	26866	
4	27	26,9	26,9	26,9	269,25	10,5	10,5	10,4	10,4	104,5	28136,625	
5	26,8	26,7	26,6	26,5	266,5	10,3	10,2	10	9,9	101	26916,5	
N°	Peso Seco (g)	PESO POR TIEMPO [g]										
		1min	3min	5min	10min	15min	20min	60min	90min	120min	360min	24horas
1	3048	3438	3593	3700	3798	3808	3809	3815,1	3820,1	3824	3836,7	3857,7
2	3112	3410	3617	3664	3800	3830	3834	3844,3	3851,8	3859,2	3885	3913,4
3	3029	3206	3245	3295	3351	3407	3456	3582,6	3597,2	3606,1	3637,9	3683,6
4	2967,5	3232	3434,3	3521,1	3604,4	3611,4	3620,2	3630	3638,7	3644,4	3669,6	3708
5	3105,6	3415,6	3618,6	3716,6	3789,3	3807,8	3817,3	3833	3841,1	3848,1	3878,2	3913,4
N°		Absorción por Capilaridad (g/100cm <sup>2</sup> )										
		1min	3min	5min	10min	15min	20min	60min	90min	120min	360min	24horas
1		137,154	191,664	229,293	263,757	267,274	267,626	269,771	271,529	272,901	277,367	284,752
2		106,578	180,611	197,420	246,060	256,790	258,220	261,904	264,586	267,233	276,460	286,617
3		65,883	80,399	99,010	119,854	140,698	158,937	206,060	211,494	214,807	226,643	243,654
4		94,006	165,905	196,754	226,360	228,848	231,975	235,458	238,550	240,576	249,532	263,180
5		115,171	190,589	226,998	254,008	260,881	264,410	270,243	273,252	275,853	287,036	300,113
<b>Media (g/100cm<sup>2</sup>)</b>		103,758	161,834	189,895	222,008	230,898	236,234	248,687	251,882	254,274	263,408	275,663
<b>Desviación Estándar</b>		26,378	46,684	53,133	58,736	52,518	45,430	27,731	26,519	26,105	24,838	22,253
<b>Coefficiente de Variación (%)</b>		25,422	28,847	27,980	26,457	22,745	19,231	11,151	10,528	10,266	9,429	8,073

### FORMULAS A UTILIZAR

$$At = \frac{(Wt - Wo) * 10000}{A}$$

#### Datos:


At= Absorción por capilaridad en cada período de tiempo

Wt= Peso de la muestra en cada período de tiempo

Wo= Peso inicial de la muestra

A= área de la superficie en prueba


### 8.1.5 Densidad del ladrillo (Principio de Arquímedes)

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>DENSIDAD (LADRILLO)</b>						
Muestra N°	Peso muestra (g)	Peso agua (g)	Peso agua + ladrillo (g)	Peso agua + agua' (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)
1	3668	8248,000	11915,000	10511,000	2263,000	1,621
2	3991,5	8248,000	12236,000	10581,000	2333,000	1,711
3	4047,7	8248,000	12293,000	10506,000	2258,000	1,793
4	3692,7	8248,000	11938,000	10512,000	2264,000	1,631
5	3592	8248,000	11837,000	10437,000	2189,000	1,641
<b>Media (g/cm³)</b>						1,679
<b>Desviación Estándar (g/cm³)</b>						0,073
<b>Coficiente de Variación (%)</b>						4,320
<b>FÓRMULAS A UTILIZAR</b>						
$Densidad = \frac{Peso\ de\ la\ muestra}{Volumen}$						

## 8.2 Caracterización de la fibra de cabuya

### 8.2.1 ROLLO

#### 8.2.1.1 Densidad Específica (ASTM-D792-08)

					
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
DENSIDAD LINEAL (CABUYA)					
Muestra	Muestra Peso Seco (a) gr	Estructura + Canastilla (d) gr	Canastilla + Estructura + Muestra Sumergida (c) gr	Peso Sumergido (b) gr	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,68	226,820	227,340	0,520	1,448
2	1,54	226,820	227,260	0,440	1,400
3	1,52	226,820	227,240	0,420	1,382
4	1,66	226,820	227,290	0,470	1,395
5	1,45	226,820	227,280	0,460	1,465
6	1,53	226,820	227,270	0,450	1,417
7	1,48	226,820	227,250	0,430	1,410
8	1,59	226,820	227,270	0,450	1,395
9	1,54	226,820	227,210	0,390	1,339
10	1,55	226,820	227,210	0,390	1,336
<b>Media</b>					1,399
<b>Desviación Estándar</b>					0,041
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>					2,921
FÓRMULAS A UTILIZAR					
$Densidad = \frac{a}{a - b}$					
Donde:					
a :Muestra peso seco					
b: Peso Sumergido ( c-d )					
d: Estructura+Canastilla					
c : Canastilla + Estructura + Muestra Sumergida					

### 8.2.1.2 Densidad Lineal Tex (ASTM D 1577)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### DENSIDAD LINEAL (CABUYA)

Longitud de la muestra en (m): 1,5  
Longitud de la muestra en (km): 0,0015

MUESTR A	PESO (gr)	Tex [g/km]
M1	0,82	546,667
M2	1,01	673,333
M3	0,82	546,667
M4	0,79	526,667
M5	0,86	573,333
M6	0,82	546,667
M7	0,79	526,667
M8	0,79	526,667
M9	1,02	680,000
M10	1,03	686,667
Media		583,333
Desviación Estándar		68,223
Coeficiente de Variación [%]		11,695

### 8.2.1.3 Masa por unidad de área (ASTM D 3776)

			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
<u>MASA POR UNIDAD DE ÁREA (CABUYA)</u>			
Tamaño de la muestra (m)	0.10 x 0.10		
MUESTRA	PESO (gr)	AREA (m2)	MASA/AREA (gr/m2)
1	2,8	0,01	280,000
2	2,4	0,01	240,000
3	2,1	0,01	210,000
4	2,4	0,01	240,000
5	2,3	0,01	230,000
6	2,4	0,01	240,000
7	2,6	0,01	260,000
8	2,4	0,01	240,000
9	2,5	0,01	250,000
10	2,4	0,01	240,000
<b>Media</b>			243,000
<b>Desviación Estándar</b>			18,288
<b>Coficiente de Variación [%]</b>			7,526

### 8.2.1.4 Porcentaje de Absorción (INEN ADAPTACIÓN)

862-



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA (CON RESINA)**

Muestra N°	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	0,204	0,295	44,608
2	0,195	0,264	35,681
3	0,178	0,225	26,618
4	0,183	0,208	13,973
5	0,184	0,250	36,240
6	0,184	0,239	29,549
7	0,176	0,225	27,453
8	0,172	0,235	36,549
9	0,183	0,290	58,361
10	0,175	0,274	57,192
<b>Media [%]</b>			36,622
<b>Desviación Estándar [%]</b>			13,775
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			37,613


**FÓRMULAS A UTILIZAR**

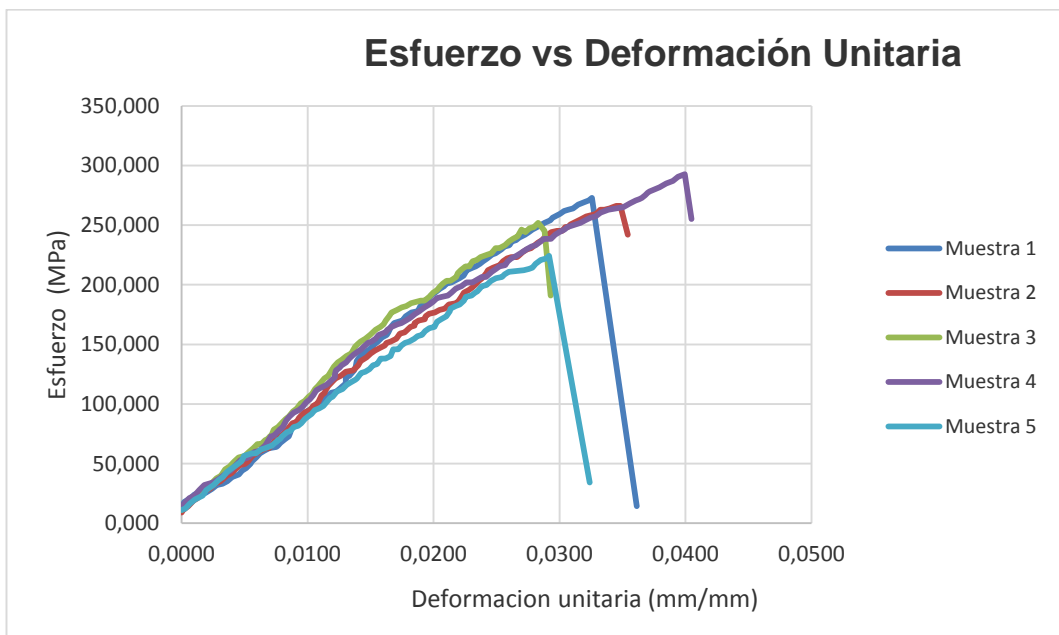
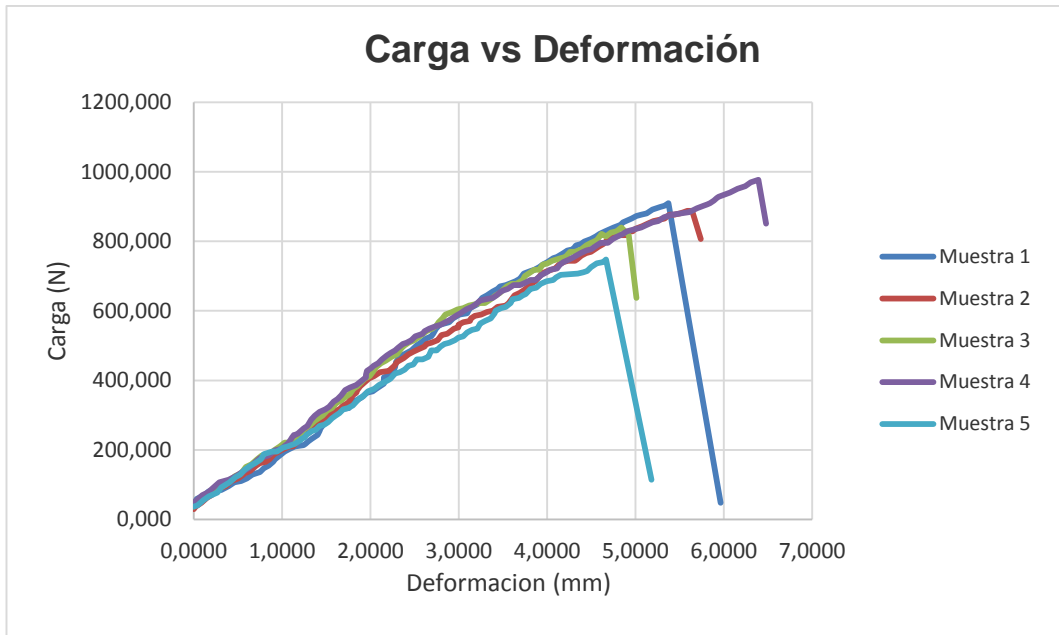
$$\% \text{Asorción} = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

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

**8.2.1.5 Ensayo de Tracción (ASTM D 5034-  
ADAPTACIÓN)**

**8.2.1.5.1 Tejido con Resina**

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN TEJIDO CON RESINA (ROLLO)</b>					
Muestra	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	165	910,118	272,764	0,033	8373,907
2	162	888,010	266,138	0,035	7641,390
3	171	840,109	251,782	0,028	8896,997
4	160	976,443	292,642	0,040	7325,587
5	160	747,992	224,175	0,029	7683,878
<b>Media</b>		872,535	261,500	0,033	7984,352
<b>Desviación Estándar</b>		85,163	25,524	0,005	637,682
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		9,760	9,760	14,270	7,987
<b>FÓRMULAS A UTILIZAR</b>					
Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$				
Área del tejido	$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 1000}$				
Deformación Unitaria	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$				
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



### 8.2.1.5.2 Tejido sin Resina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A TRACCIÓN TEJIDO SIN RESINA (ROLLO)

Muestra	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	161	552,703	165,646	0,034	4865,171
2	165	394,262	118,161	0,073	1620,139
3	180	445,847	133,621	0,042	3155,214
4	170	604,289	181,106	0,037	4848,503
5	168	714,830	214,236	0,047	4524,932
<b>Media</b>		542,386	162,554	0,047	3802,792
<b>Desviación Estándar</b>		127,413	38,186	0,015	1407,744
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		23,491	23,491	33,010	37,019

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo

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

Área del tejido

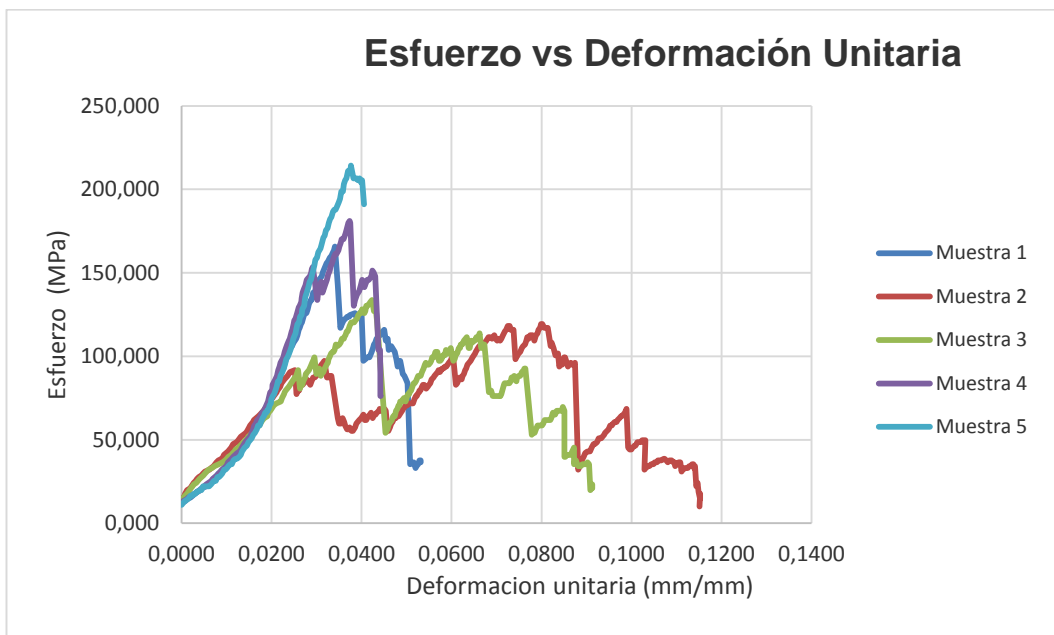
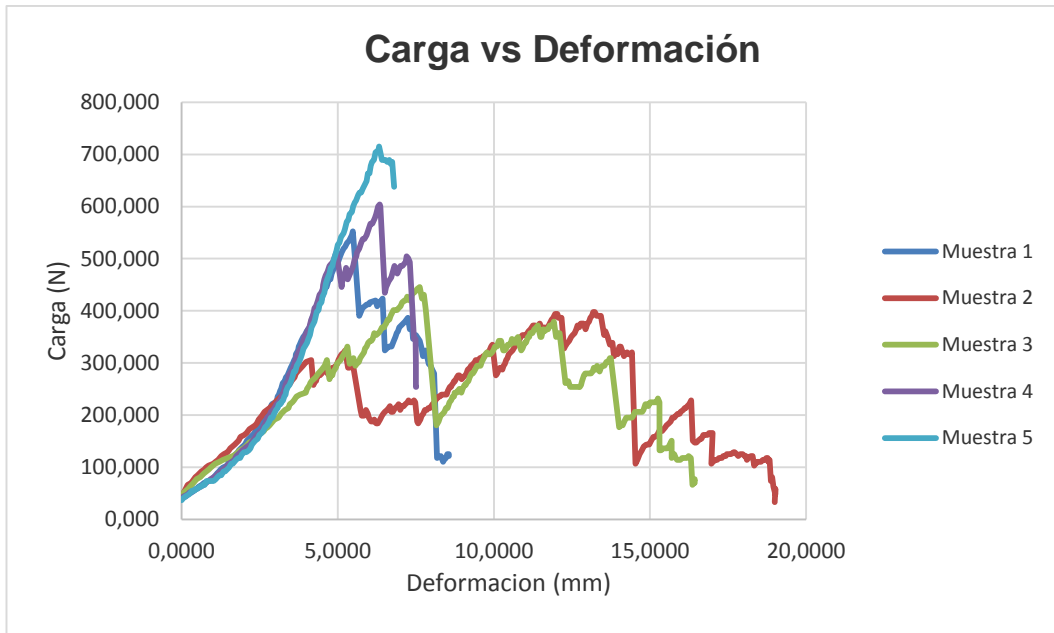
$$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 10000}$$

Deformación Unitaria

$$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

Módulo de Elasticidad

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



### 8.2.1.5.3 Hilo con Resina



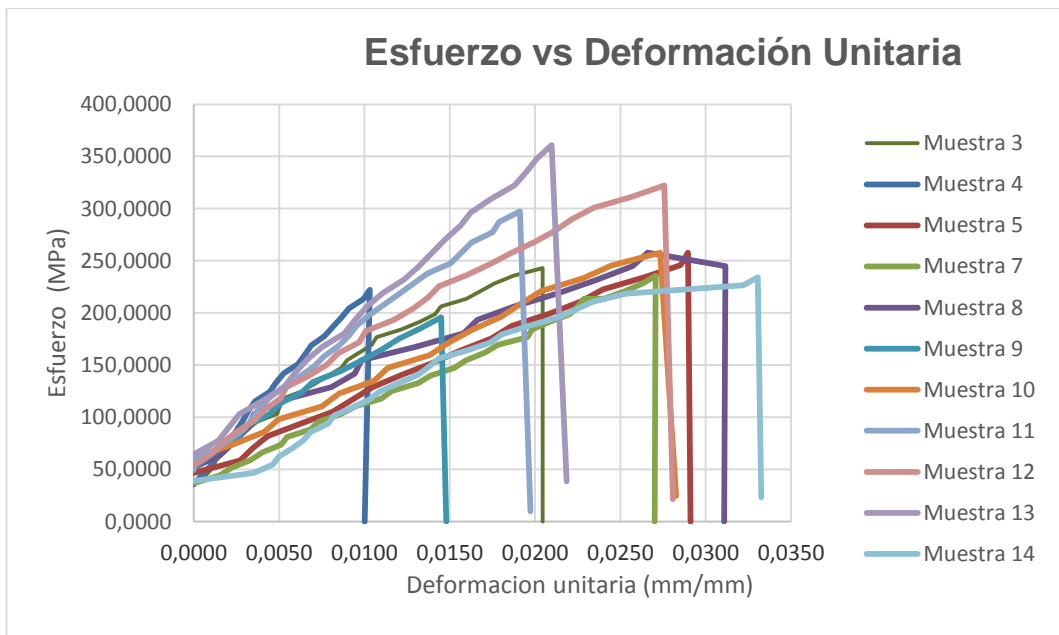
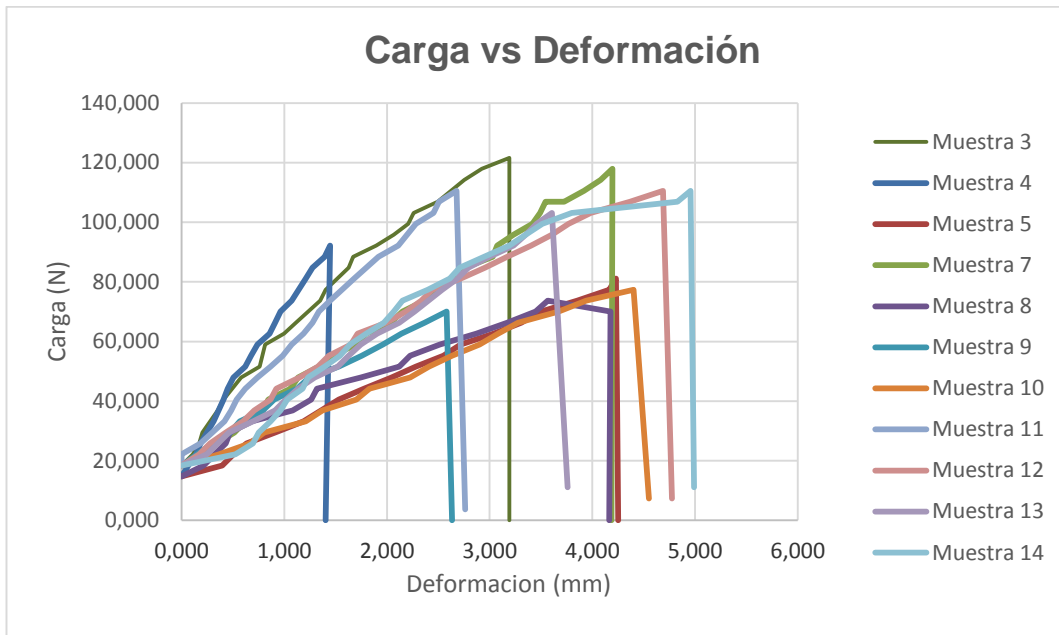
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### ENSAYO DE TRACCIÓN DE FIBRAS CON RESINA (ROLLO)

Muestra	Carga (N)	Área hilo [mm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
3	121,595	0,501	242,946	0,020	11878,988
4	92,117	0,415	222,130	0,010	21515,999
5	81,063	0,315	257,670	0,029	8895,718
7	117,910	0,501	235,584	0,027	8700,672
8	73,694	0,286	257,670	0,027	9684,691
9	70,009	0,358	195,829	0,014	13509,578
10	73,694	0,300	245,400	0,024	10027,992
11	110,541	0,372	297,312	0,019	15551,103
12	110,541	0,343	322,088	0,028	11676,429
13	103,171	0,286	360,739	0,021	17196,966
14	110,541	0,472	234,246	0,033	7088,312
<b>Media</b>			261,056	0,023	12338,768
<b>Desviación Estándar</b>			47,654	0,007	4303,546
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			18,254	29,087	34,878

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$
Deformación Unitaria	$\epsilon_i = \frac{\Delta L_i}{L_0}$
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{\sigma - 20\% \sigma}{\epsilon_i - 60\% \epsilon_i}$



#### 8.2.1.5.4 Hilo sin Resina



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### ENSAYO DE TRACCIÓN DE FIBRAS SIN RESINA (ROLLO)

Muestra	Carga (N)	Área hilo [mm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
2	143,703	0,386	372,191	0,040	9270,322
3	121,595	0,386	314,930	0,029	10849,959
4	77,378	0,229	338,192	0,021	16094,927
5	92,117	0,343	268,407	0,031	8799,398
6	88,433	0,272	325,478	0,031	10411,182
7	88,433	0,372	237,850	0,034	7062,846
12	158,442	0,400	395,708	0,021	18558,795
13	77,378	0,286	270,554	0,030	9090,722
14	117,910	0,415	284,326	0,034	8308,734
Media			311,960	0,030	10938,543
Desviación Estándar			51,707	0,006	3834,918
Coeficiente de Variación [%]			16,575	20,109	35,059

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo

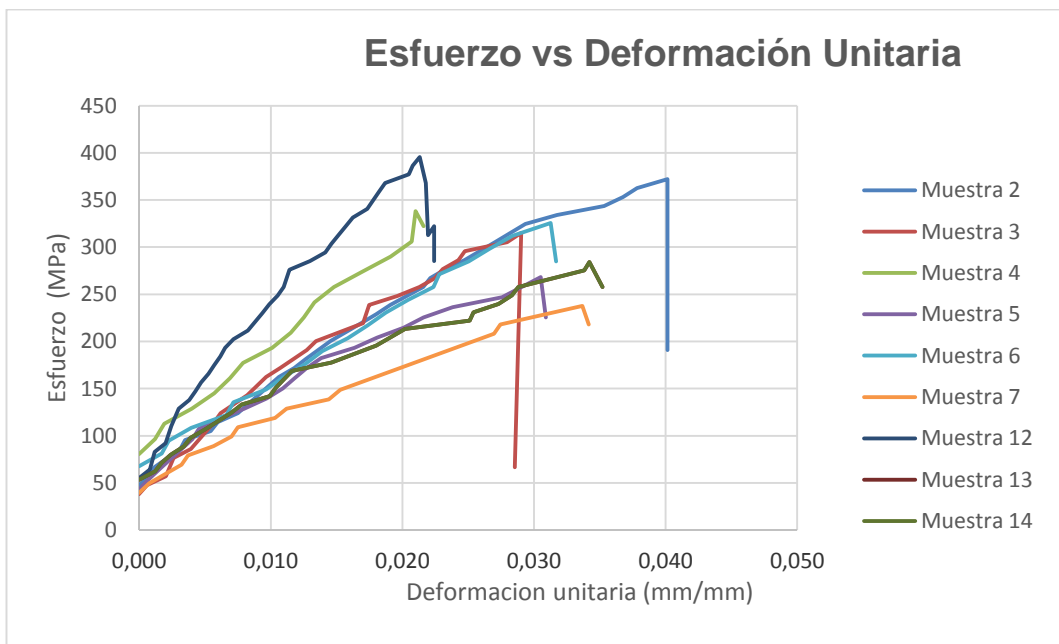
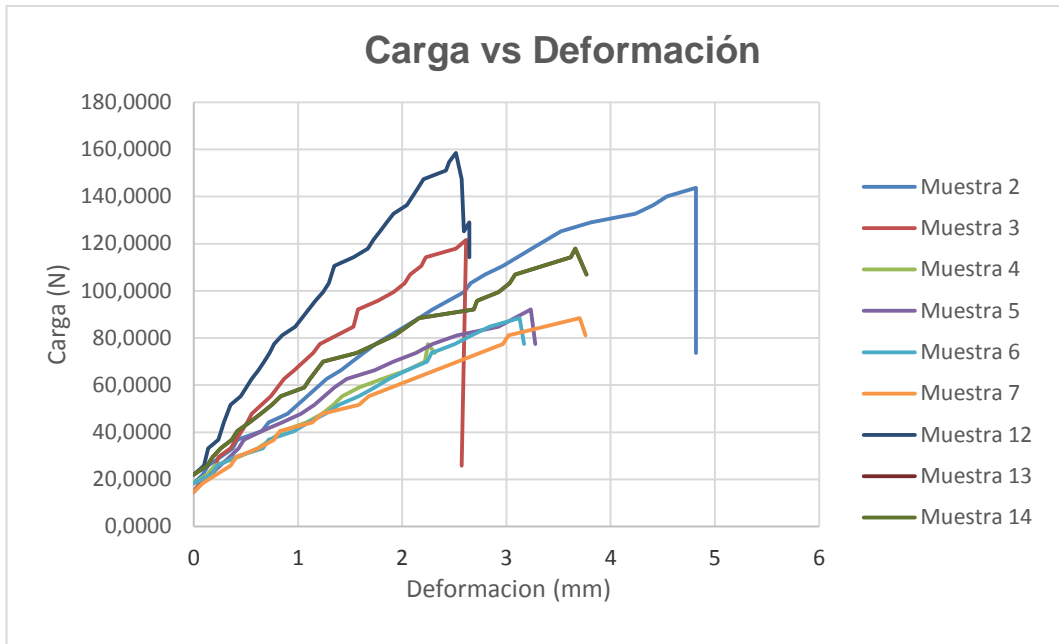
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

Deformación Unitaria

$$\epsilon_i = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Módulo de Elasticidad

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



## 8.2.2 SACO

### 8.2.2.1 Densidad Específica (ASTM-D792-08)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### DENSIDAD ESPECÍFICA (CABUYA)

Muestra	Muestra Peso Seco (a) gr	Estructura + Canastilla (d) gr	Canastilla + Estructura + Muestra Sumergida (c) gr	Peso Sumergido (b) gr	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,510	226,640	227,250	0,610	1,678
2	1,640	226,790	227,330	0,540	1,491
3	1,630	226,790	227,350	0,560	1,523
4	1,720	226,810	227,380	0,570	1,496
5	1,510	226,860	227,310	0,450	1,425
6	1,490	226,830	227,350	0,520	1,536
7	1,620	226,890	227,390	0,500	1,446
8	1,560	226,940	227,390	0,450	1,405
9	1,680	226,880	227,380	0,500	1,424
10	1,670	226,860	227,330	0,470	1,392
<b>Media</b>					1,482
<b>Desviación Estándar</b>					0,085
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>					5,746

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

$$Densidad = \frac{a}{a - b}$$

Dónde:

a :Muestra peso seco

b: Peso Sumergido ( c-d )

d: Estructura+Canastilla

c : Canastilla + Estructura + Muestra Sumergida

### 8.2.2.2 Densidad Lineal Tex (ASTM D 1577)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Longitud de la muestra en (m): 1,5  
Longitud de la muestra en (km): 0,0015

MUESTRA	PESO (gr)	Tex [g/km]
M1	0,95	633,333
M2	0,97	646,667
M3	1,18	786,667
M4	1,18	786,667
M5	0,95	633,333
M6	0,93	620,000
M7	1,17	780,000
M8	1,04	693,333
M9	1,14	760,000
M10	1,1	733,333
<b>Media</b>		707,3333
<b>Desviación Estándar</b>		69,7403
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		9,86

### 8.2.2.3 Masa por unidad de área (ASTM D 3776)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL


#### MASA POR UNIDAD DE AREA (CABUYA)

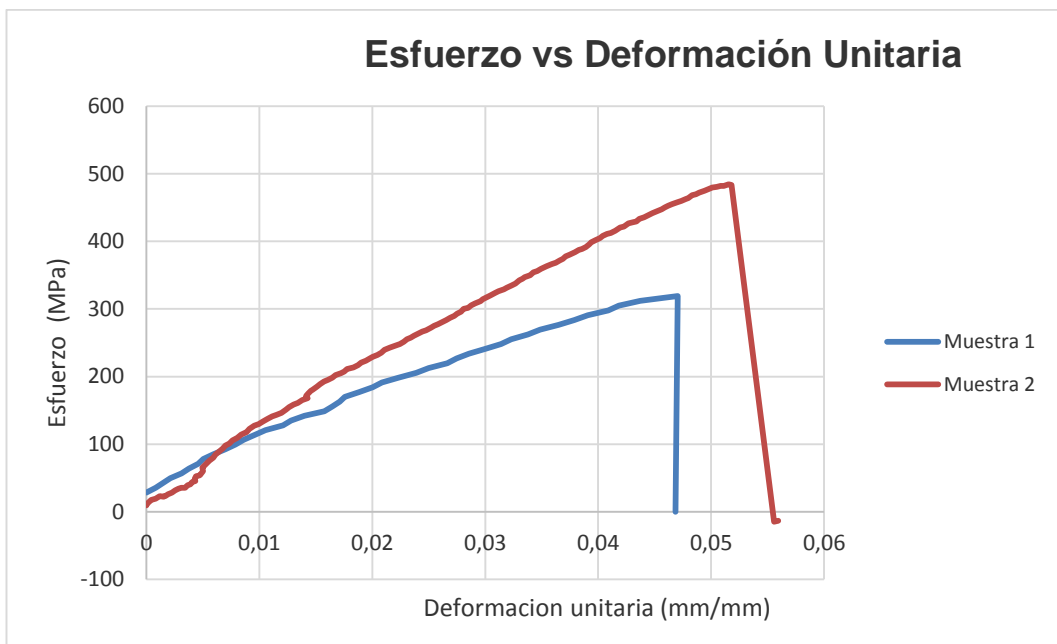
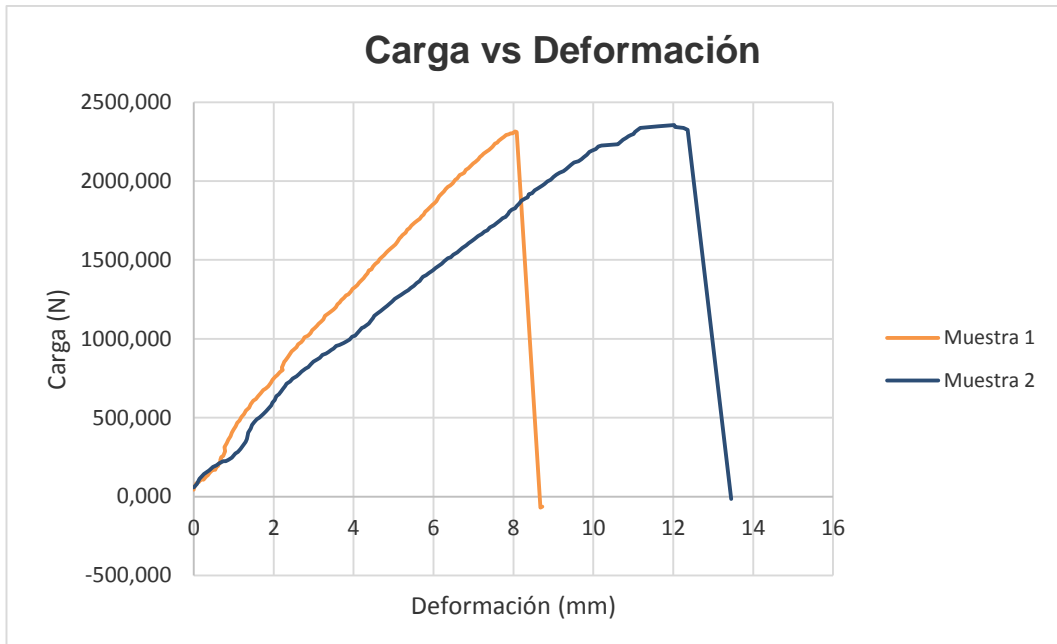
Tamaño de la muestra (m) 0.10 x 0.10

MUESTRA	PESO (gr)	AREA (m2)	MASA/AREA (gr/m2)
1	4,1	0,01	410
2	4	0,01	400
3	4	0,01	400
4	4,3	0,01	430
5	4,3	0,01	430
6	4,2	0,01	420
7	4,2	0,01	420
8	3,9	0,01	390
9	4,1	0,01	410
10	4,2	0,01	420
<b>Media</b>			413,00
<b>Desviación Estándar</b>			13,375
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			3,24

**8.2.2.4 Ensayo de Tracción (ASTM D 5034-  
ADAPTACIÓN)**

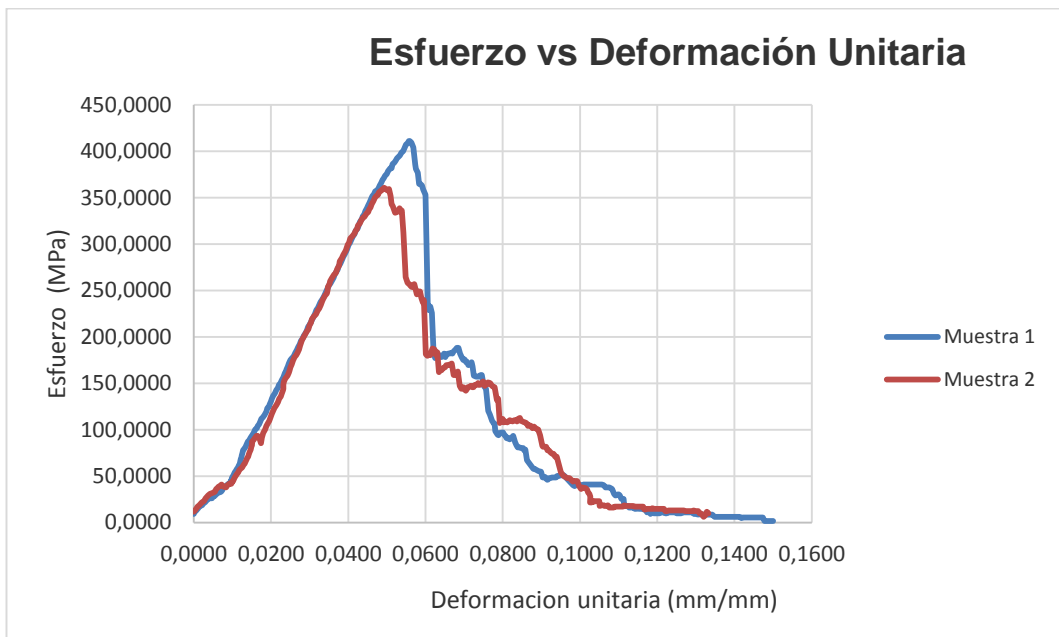
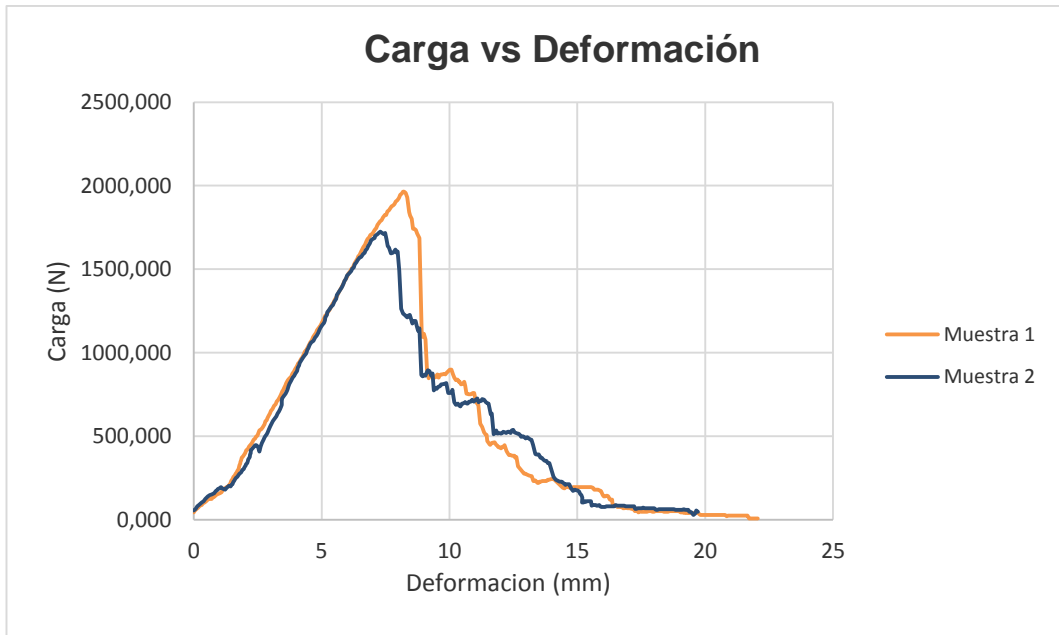
**8.2.2.4.1 Tejido con Resina**

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESISTENCIA A TRACCIÓN TEJIDO CON RESINA (SACOS)					
Muestra	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	156	2313,985	484,173	0,052	9393,894
2	143	2354,517	492,653	0,084	5860,776
<b>Media</b>		2334,251	488,413	0,068	7627,335
<b>Desviación Estándar</b>		28,660	5,997	0,023	2498,292
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		1,228	1,228	33,914	32,754
FÓRMULAS A UTILIZAR					
Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$				
Área del tejido	$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 1000}$				
Deformación Unitaria	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_o}$				
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



### 8.2.2.4.2 Tejido sin Resina

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESISTENCIA A TRACCIÓN TEJIDO SIN RESINA (SACOS)					
Muestra	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	147	1963,940	410,930	0,056	7346,571
2	148	1724,435	360,817	0,049	7324,227
<b>Media</b>		1844,187	385,873	0,053	7335,399
<b>Desviación Estándar</b>		169,356	35,436	0,005	15,799
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		9,183	9,183	8,969	0,215
FÓRMULAS A UTILIZAR					
Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{Fmax}{A}$				
Área del tejido	$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 1000}$				
Deformación Unitaria	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$				
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$				



### 8.2.2.4.3 Hilo con Resina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A TRACCIÓN FIBRA CON RESINA (SACOS)

Muestra	Carga (N)	Área hilo [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia a la tracción [MPa]	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	165,811	0,520	319,046	0,047	6783,241
2	176,865	0,533	331,700	0,049	6799,444
3	162,126	0,526	307,957	0,038	8076,618
4	180,550	0,520	347,406	0,054	6438,245
5	169,496	0,510	332,176	0,026	12551,055
6	136,334	0,509	267,894	0,037	7295,260
<b>Media</b>			317,696	0,042	7990,644
<b>Desviación Estándar</b>			27,804	0,010	2305,429
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			8,752	23,857	28,852

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo

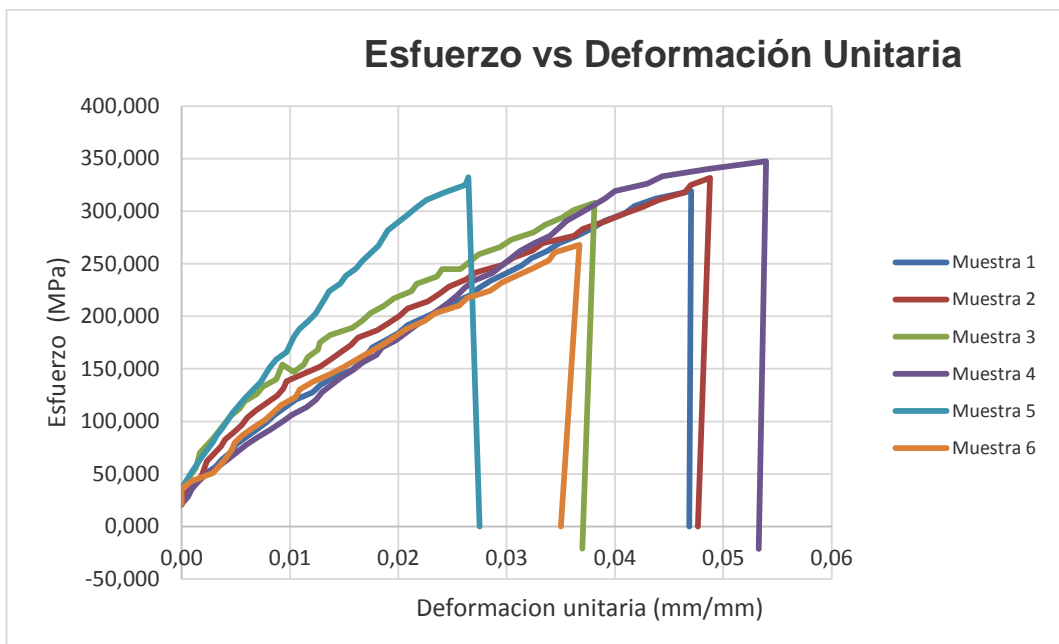
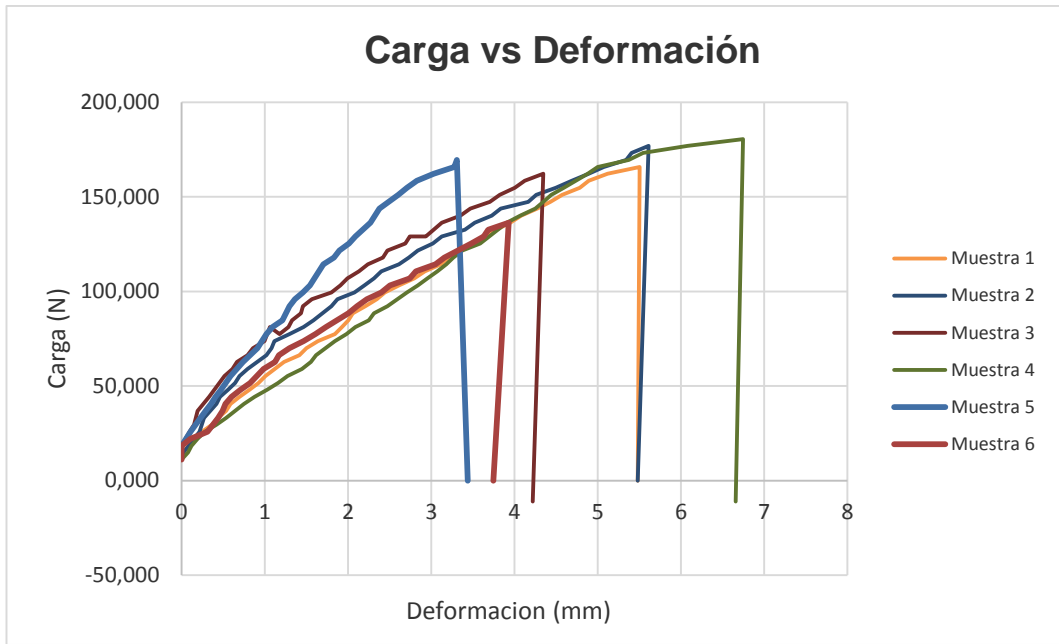
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

Deformación Unitaria

$$\epsilon_i = \frac{\Delta L_i}{L_0}$$

Módulo de Elasticidad

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



#### 8.2.2.4.4 Hilo sin Resina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A TRACCIÓN FIBRA CON RESINA (SACOS)

Muestra	Carga (N)	Área hilo [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia a la tracción [MPa]	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	165,811	0,520	319,046	0,047	6783,241
2	176,865	0,533	331,700	0,049	6799,444
3	162,126	0,526	307,957	0,038	8076,618
4	180,550	0,520	347,406	0,054	6438,245
5	169,496	0,510	332,176	0,026	12551,055
6	136,334	0,509	267,894	0,037	7295,260
<b>Media</b>			317,696	0,042	7990,644
<b>Desviación Estándar</b>			27,804	0,010	2305,429
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			8,752	23,857	28,852

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo

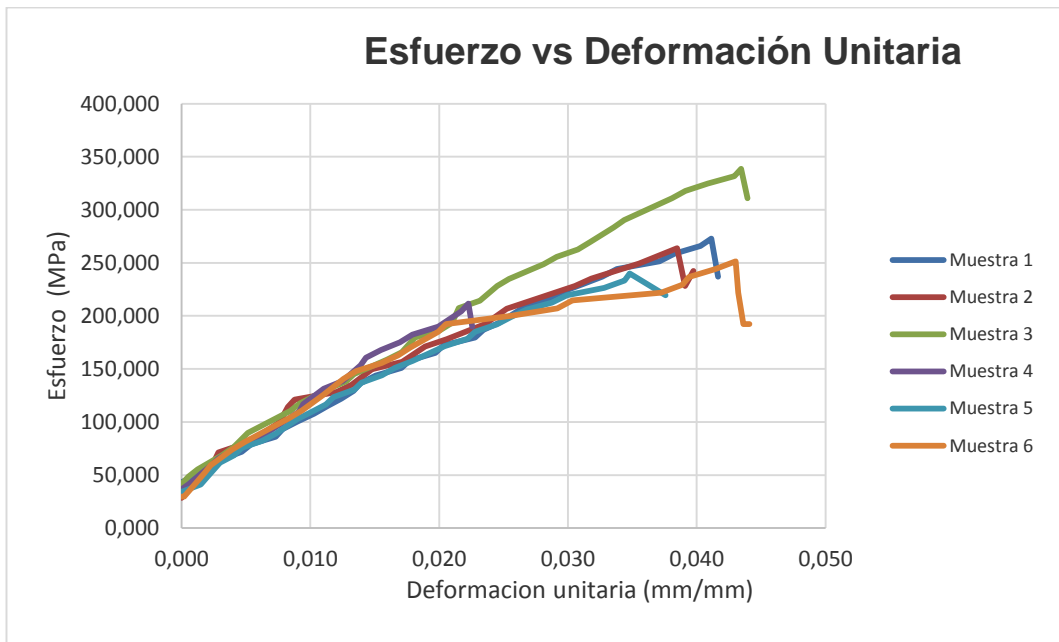
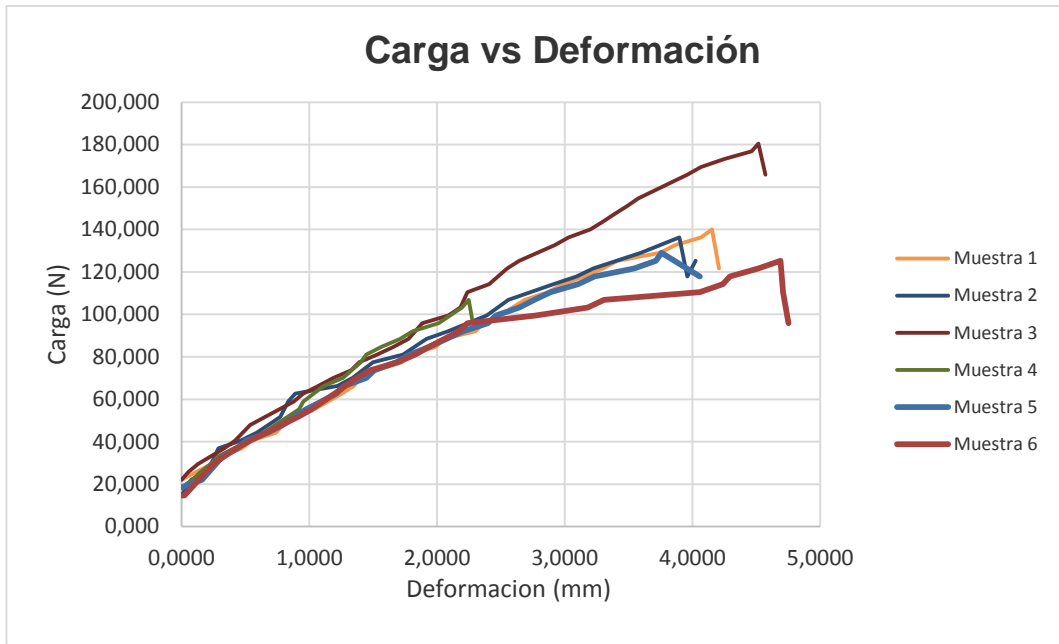
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

Deformación Unitaria

$$\epsilon_i = \frac{\Delta L}{L_0}$$


Módulo de Elasticidad

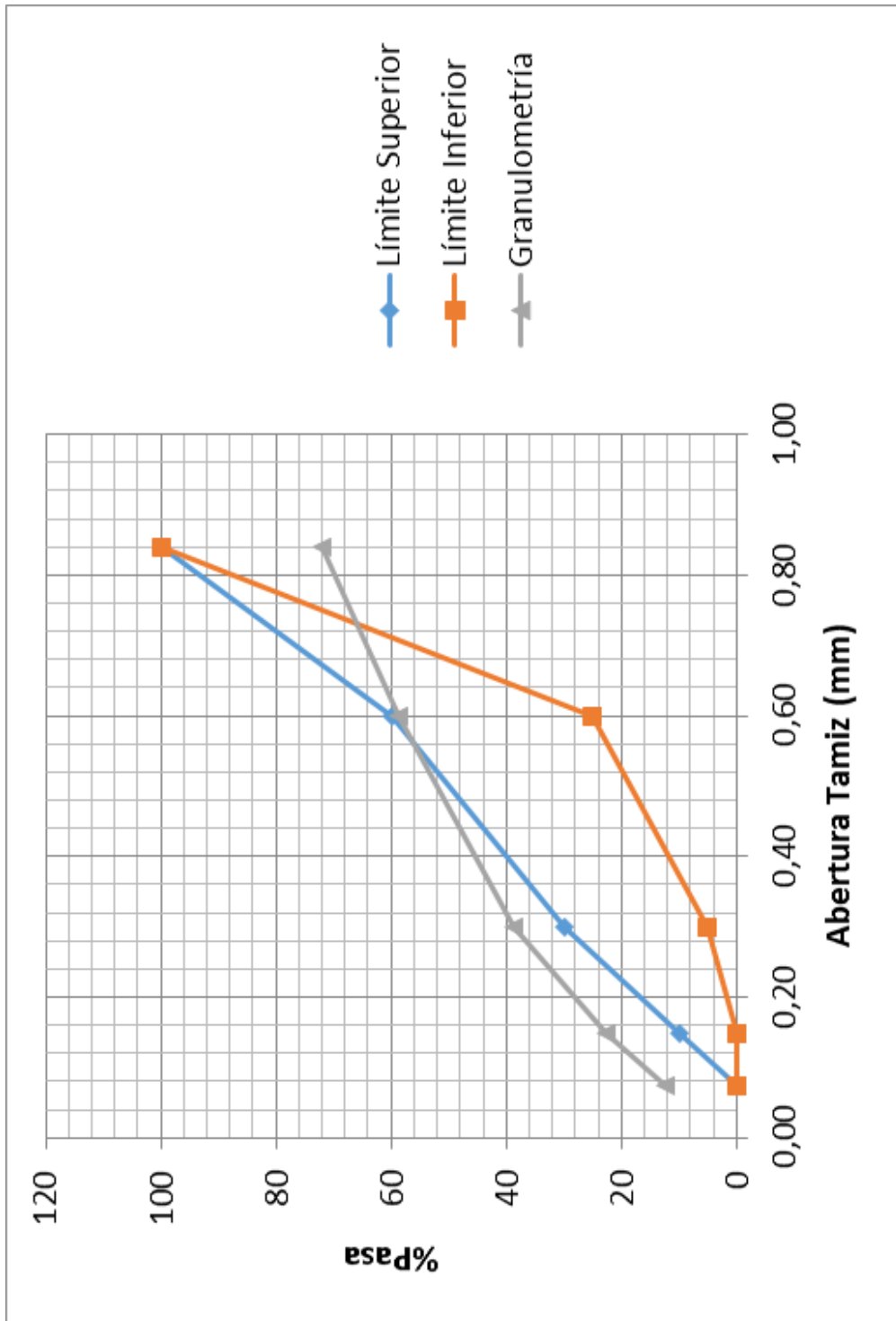
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (60\% \sigma - 20\% \sigma)$$



### 8.3 Caracterización del agregado para mortero (polvo de piedra)

#### 8.3.1 Granulometría Agregado Fino (INEN 696)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL										
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
AGREGADO FINO (POLVO DE PIEDRA)										
PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1 [gr]: <input style="width: 100px;" type="text" value="1000"/>										
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [gr]	Peso Retenido [gr]	Peso Retenido [gr]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Módulo de Finura	Límites Específicos	
									Inferior	Superior
Nº 20	0,84	278,60	278,50	278,55	28,06	28,06	71,94	0,281	100	100
Nº 30	0,60	132,40	132,40	132,40	13,34	41,40	58,60	0,41	25	60
Nº 50	0,30	197,20	197,20	197,20	19,87	61,27	38,73	0,61	5	30
Nº 100	0,15	159,10	159,10	159,10	16,03	77,30	22,70	0,77	0	10
Nº 200	0,07	102,80	102,80	102,80	10,36	87,66	12,34	0,88	0	0
Pasa Nº 200		122,50	122,50	122,50	12,34	100,00	0,00	1,00		
Total		992,60	992,50	992,55	100,00					
		% Pérdida de Material:								0,74
		Coeficiente de Uniformidad (Cu):								4,19
		Coeficiente de Curvatura (Cc):								0,15
		Módulo de finura								2,96
		Tamaño Máximo TM (mm)								0,84
		Tamaño Máximo Nominal TMN (mm)								0,60
FÓRMULAS A UTILIZAR										
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$					$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$					
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$					$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$					
$Cu = \frac{D60}{D10}$					$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$					
D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material										



### 8.3.2 Masa unitaria suelta y compactada (INEN 858)

#### 8.3.2.1 Masa Unitaria Suelta

Muestra Nº	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m <sup>3</sup> ]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra [kg]	Masa Unitaria Suelta [kg/m <sup>3</sup> ]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,17	1507,65
2	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,184	1512,33
3	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,216	1523,01
<b>Media [kg/m<sup>3</sup>]</b>						1514,33
<b>Desviación Estándar [kg/m<sup>3</sup>]</b>						7,88
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>						0,52


<b>FÓRMULAS A UTILIZAR</b>	
$M = \frac{G-T}{V}$	
<p>M : masa suelta compactada del árido                      G : peso del árido más molde                      T : peso del cilindro                      V : volumen del cilindro</p>	

### 8.3.2.2 Masa Unitaria Compactada

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>MASA UNITARIA COMPACTADA (POLVO DE PIEDRA)</b>						
Muestra N°	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m³]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra [kg]	Masa Unitaria Compactada [kg/m³]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,498	1617,20
2	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,525	1626,22
3	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,535	1629,56
Media [kg/m³]						1624,33
Desviación Estándar [kg/m³]						6,39
Coeficiente de Variación [%]						0,39
<b>FÓRMULAS A UTILIZAR</b>						
$M = \frac{G - T}{V}$						
M : masa unitaria compactada del árido G : peso del árido más molde T : peso del cilindro V : volumen del cilindro						

### 8.3.3 Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856)

#### 8.3.3.1 Densidad

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL										
DENSIDAD DEL AGREGADO (POLVO DE PIEDRA)										
Muestra N°	Masa de la muestra A [g]	Picnómetro + agua B [g]	Picnómetro + agua + muestra C [g]	Masa de la muestra SSS S [g]	DENSIDAD RELATIVA SH [g/cm3]	DENSIDAD RELATIVA SSS [g/cm3]	DENSIDAD RELATIVA APARENTE [g/cm3]	DENSIDAD SH [kg/m3]	DENSIDAD SSS [kg/m3]	DENSIDAD APARENTE [kg/m3]
1	496,60	1238,70	1526,80	621,80	1,49	1,86	2,38	1484,443	1858,692	2375,820
2	498,10	1208,70	1485,80	623,10	1,44	1,80	2,25	1435,996	1796,365	2248,212
3	496,50	1248,30	1533,40	615,30	1,50	1,86	2,35	1499,875	1858,758	2342,757
<b>Media</b>					1,477	1,843	2,328	1473,438	1837,938	2322,263
<b>Desviación Estándar</b>					0,033	0,036	0,066	33,331	36,004	66,227
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>					1,005	1,247	1,581	1002,215	1244,233	2,852
FÓRMULAS A UTILIZAR										
A= masa de la muestra seca al horno, g B= masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g C= masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g S= masa de muestra saturada superficialmente seca, g										
$D_{sh} = \frac{A}{B+S-C}$ $D_{sss} = \frac{S}{B+S-C}$ $D = \frac{A}{B+A-C} \text{ [g/cm3]}$										
$D_{sh} = \frac{997,5 \cdot A}{B+S-C}$ $D_{sss} = \frac{997,5 \cdot S}{B+S-C}$ $D = \frac{997,5 \cdot A}{B+A-C} \text{ [Kg/m3]}$										

### 8.3.3.2 Porcentaje de Absorción del Agregado

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO (POLVO DE PIEDRA)</b>			
Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	496,60	501,80	1,047
2	498,10	523,10	5,019
3	496,50	515,30	3,787
<b>Media</b>			3,284
<b>Desviación Estándar</b>			2,03
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			61,90


**FÓRMULAS A UTILIZAR**

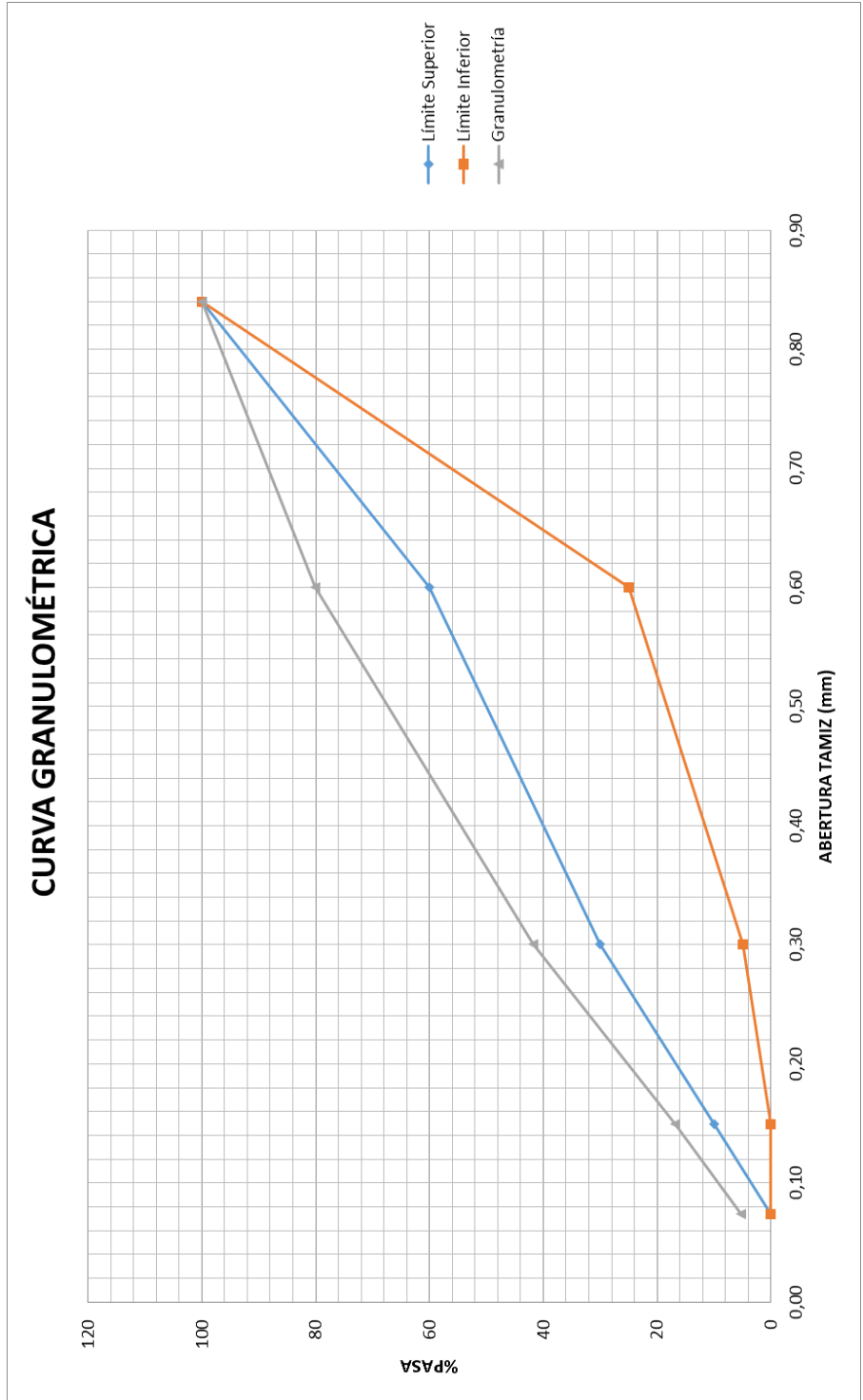
$$\% \text{Asorción} = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

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

## 8.4 Caracterización del agregado para mortero del material compuesto (arena)

### 8.4.1 Granulometría Agregado Fino (INEN 696)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL											
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO											
AGREGADO FINO (ARENA)											
PESO TOTAL DE LA MUESTRA 1 [gr]:										1000	
Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [gr]	Peso Retenido [gr]	Peso Retenido [gr]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Módulo de Finura	Límites Específicos		
									Inferior	Superior	
Nº 20	0,84	2,90	2,90	2,90	0,29	0,29	99,71	0,003	100	100	
Nº 30	0,60	222,60	222,70	222,65	22,31	22,60	77,40	0,23	25	60	
Nº 50	0,30	410,10	410,00	410,05	41,10	63,70	36,30	0,64	5	30	
Nº 100	0,15	229,80	229,80	229,80	23,03	86,73	13,27	0,87	0	10	
Nº 200	0,07	105,20	105,20	105,20	10,54	97,27	2,73	0,97	0	0	
Pasa Nº 200		27,10	27,30	27,20	2,73	100,00	0,00	1,00	0	0	
Total		997,70	997,90	997,80	100,00						
								% Pérdida de Material:	0,22		
								Coefficiente de Uniformidad (Cu):	4,19		
								Coefficiente de Curvatura (Cc):	0,15		
								Módulo de finura	2,71		
								Tamaño Máximo TM (mm)	0,84		
								Tamaño Máximo Nominal TMN (mm)	0,60		
FÓRMULAS A UTILIZAR											
$\%retenido = \frac{Masa\ Retenida}{Masa\ Total} * 100$						$Módulo\ de\ finura = \frac{\%Retenido\ Acumulado}{100}$					
$\%retenido\ acumulado = \sum \%Retenido$						$\%Pasa = 100 - \%retenido\ acumulado$					
$Cu = \frac{D60}{D10}$						$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 * D60}$					
D10 = tamaño donde pasa el 10% del material; D30 = tamaño donde pasa el 30% del material; D60 = tamaño donde pasa el 60% del material											



## Masa unitaria suelta y compactada (INEN 858)

### 8.4.1.1 Masa Unitaria Suelta

Muestra Nº	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m³]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra [kg]	Masa Unitaria Suelta [kg/m³]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,175	1509,32
2	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,217	1523,35
3	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,298	1550,40
Media [kg/m³]						1527,69
Desviación Estándar [kg/m³]						20,88
Coeficiente de Variación [%]						1,37

FÓRMULAS A UTILIZAR	
$M = \frac{G - T}{V}$	
M :	masa unitaria suelta del árido
G :	peso del árido más molde
T :	peso del cilindro
V :	volumen del cilindro

### 8.4.1.2 Masa Unitaria Compactada



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### MASA UNITARIA COMPACTADA (ARENA)

Muestra Nº	Medidas del Cilindro		Volumen del Cilindro [m³]	Peso del Cilindro [kg]	Peso del Cilindro + Muestra [kg]	Masa Unitaria Compacta da [kg/m³]
	h [m]	d. interno [m]				
1	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,590	1647,93
2	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,674	1675,98
3	0,165	0,152	0,00299	2,656	7,724	1692,68
Media [kg/m³]						1672,20
Desviación Estándar [kg/m³]						22,62
Coeficiente de Variación [%]						1,35

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

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

M : masa unitaria compactada del árido

G : peso del árido más molde

T : peso del cilindro

V : volumen del cilindro

**8.4.2 Determinación de la Densidad y Absorción del Árido Fino (INEN 856)**  
**8.4.2.1 Densidad**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DENSIDAD DEL AGREGADO (ARENA)**

Muestra N°	Masa de la muestra A [g]	Picnómetro + agua B [g]	Picnómetro + agua + muestra C [g]	Masa de la muestra SSS S [g]	DENSIDAD RELATIVA SH [g/cm3]	DENSIDAD RELATIVA SSS [g/cm3]	DENSIDAD RELATIVA APARENTE [g/cm3]	DENSIDAD SH [kg/m3]	DENSIDAD SSS [kg/m3]	DENSIDAD APARENTE [kg/m3]
1	486,900	1216,900	1541,400	594,600	1,803	2,201	2,998	1798,159	2195,903	2990,657
2	484,100	1240,600	1524,900	594,100	1,563	1,918	2,423	1558,714	1912,895	2416,866
3	483,500	1222,600	1512,900	593,600	1,594	1,957	2,503	1590,146	1952,245	2496,332
Media					1,653	2,025	2,641	1649,006	2020,348	2634,618
Desviación Estándar					0,130	0,154	0,312	130,122	153,303	310,888
Coeficiente de Variación [%]					1,126	1,379	1,818	1123,092	1375,299	11,800

**FÓRMULAS A UTILIZAR**

A= masa de la muestra seca al horno, g  
 B= masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g  
 C= masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g  
 S= masa de muestra saturada superficialmente seca, g

$$D_{sh} = \frac{A}{B+S-C} \quad D_{sss} = \frac{S}{B+S-C} \quad D = \frac{A}{B+A-C} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

$$D_{sh} = \frac{997,5 \cdot A}{B+S-C} \quad D_{sss} = \frac{997,5 \cdot S}{B+S-C} \quad D = \frac{997,5 \cdot A}{B+A-C} \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$



### 8.4.2.2 Porcentaje de Absorción

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO (ARENA)

Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	486,90	498,60	2,403
2	484,10	494,10	2,066
3	483,50	493,60	2,089
Media [kg/m <sup>3</sup> ]			2,186
Desviación Estándar [kg/m <sup>3</sup> ]			0,19
Coeficiente de Variación [%]			8,62

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

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

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

## 8.5 Caracterización del mortero dosificación 1:4 (polvo de piedra)

### 8.5.1 Determinación del Flujo en morteros (INEN 2502)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### DETERMINACIÓN DE FLUJO DE MORTERO 1:4

MUESTRA 1	
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]
1	128,00
2	127,50
3	129,00
4	129,00

MUESTRA 2	
Lectura N°	Diámetro del mortero [%]
1	126,00
2	125,00
3	126,00
4	126,00

Media [%]	127,063
Desv. Estándar [%]	1,52
Coef. De Variación [	1,198

## 8.5.2 Tiempo de Fraguado (INEN 158)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

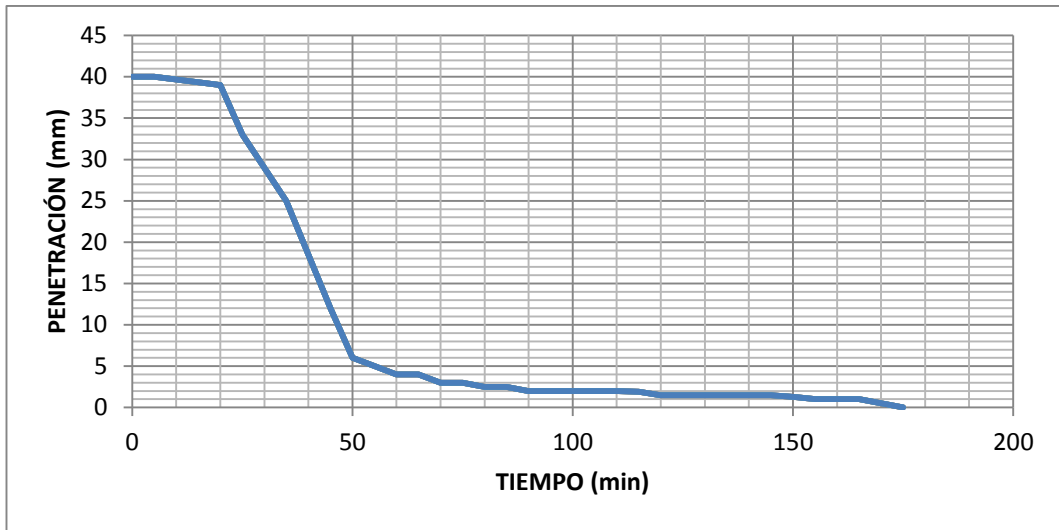
### DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL MORTERO 1:4

#### Método A. APARATO MANUAL DE AGUJA DE VICAT


Hora	Lapso (min)	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
9:40 AM	0	0	40	47	28
9:55 AM	5	5	40	15	28,5
10:10 AM	15	20	39	14	29,13
10:25 AM	5	25	33	8	33,8
10:30 AM	10	35	25	18	34
10:40 AM	10	45	12	14	34,2
10:50 AM	5	50	6	14	32
10:55 AM	5	55	5	14	32,2
11:00 AM	5	60	4	14	33,68
11:05 AM	5	65	4	14	22,7
11:10 AM	5	70	3	15	30,7
11:15 AM	5	75	3	15	33,9
11:20 AM	5	80	2,5	14	34,6
11:25 AM	5	85	2,5	15	34
11:30 AM	5	90	2	16	32,8
11:35 AM	5	95	2	14	35,1
11:40 AM	5	100	2	12	38,8
11:45 AM	5	105	2	7	38,9
11:50 AM	5	110	2	8	36,6
11:55 AM	5	115	1,9	12	33,3
12:00 PM	5	120	1,5	11,4	33,2
12:05 PM	5	125	1,5	15,4	32,1
12:10 PM	5	130	1,5	19,6	25,9
12:15 PM	5	135	1,5	20,2	26,2
12:25 PM	5	140	1,5	21,8	25,4
12:30 PM	5	145	1,5	23,4	4,4
12:35 PM	5	150	1,3	17,5	29
12:40 PM	5	155	1	15,2	28,7
12:45 PM	5	160	1	21,8	24,9
12:50 PM	5	165	1	15,4	29,7
12:55 PM	5	170	0,5	19,7	26,8
13:00 PM	5	175	0	22,9	23,5

Tiempo de fraguado inicial: 90min

Tiempo de fraguado final: 175 min



### 8.5.3 Densidad en Estado Fresco (ASTM C 138)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DENSIDAD EN ESTADO FRESCO DEL MORTERO DOSIFICACIÓN 1:4**

Peso molde vacío [g]= 2655  
Volumen Recipiente [cm<sup>3</sup>] 3000

Lectura	Masa molde + mortero	Masa mortero	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]
1	8869,00	6214,00	2,071
2	8931,00	6276,00	2,092
3	8874,00	6219,00	2,073
<b>Media [g/cm<sup>3</sup>]</b>			2,079
<b>Desviación Estándar [g/cm<sup>3</sup>]</b>			0,011
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			0,552

**FÓRMULAS A UTILIZAR**

$$\delta = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

### 8.5.4 Densidad de Porcentaje de Absorción de Mortero en estado Endurecido (Principio de Arquímedes)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### DENSIDAD

	Muestra N°	Peso muestra [g]	Peso agua [g]	Peso agua + muestra [g]	Peso agua + agua' [g]	Volumen [cm³]	Densidad [g/cm³]
7 DIAS	1	289,500	689,100	978,600	832,300	143,200	2,022
	1'	259,400	689,100	948,500	819,400	130,300	1,991
Media [g/cm³]							2,006
Desviación Estándar [g/cm³]							0,022
Coeficiente de Variación [%]							1,088

	Muestra N°	Peso muestra [g]	Peso agua [g]	Peso agua + muestra [g]	Peso agua + agua' [g]	Volumen [cm³]	Densidad [g/cm³]
14 DIAS	7	265,200	783,100	1048,300	908,100	125,000	2,122
	7'	290,300	783,100	1073,400	926,900	143,800	2,019
Media [g/cm³]							2,070
Desviación Estándar [g/cm³]							0,073
Coeficiente de Variación [%]							3,512

	Muestra N°	Peso muestra [g]	Peso agua [g]	Peso agua + muestra [g]	Peso agua + agua' [g]	Volumen [cm³]	Densidad [g/cm³]
21 DIAS	8	273,400	789,500	1062,900	935,400	145,900	1,874
	8'	287,200	789,500	1076,700	939,700	150,200	1,912
Media [g/cm³]							1,893
Desviación Estándar [g/cm³]							0,027
Coeficiente de Variación [%]							1,428

	Muestra N°	Peso muestra [g]	Peso agua [g]	Peso agua + muestra [g]	Peso agua + agua' [g]	Volumen [cm³]	Densidad [g/cm³]
28 DIAS	10	283,000	735,300	1018,300	877,600	142,300	1,989
	10'	280,400	735,300	1015,700	864,900	129,600	2,164
Media [g/cm³]							2,076
Desviación Estándar [g/cm³]							0,124
Coeficiente de Variación [%]							5,954

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

$$Densidad = \frac{Peso}{Volumen}$$

### 8.5.5 Porcentaje de Absorción Mortero Endurecido



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL MORTERO 1:4

##### 7 DÍAS

Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	248,90	292,80	17,638
2	266,40	313,80	17,793
3	222,50	262,50	17,978
4	216,00	254,10	17,639
<b>Media</b>			17,76
<b>Desviación Estándar</b>			0,16
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			0,91

##### 14 DÍAS

Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	233,89	275,80	17,919
2	247,09	291,40	17,933
3	230,50	272,10	18,048
4	223,79	263,30	17,655
<b>Media</b>			17,89
<b>Desviación Estándar</b>			0,17
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			0,93

##### 21 DÍAS

Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	229,80	271,00	17,929
2	237,90	280,00	17,697
<b>Media</b>			17,81
<b>Desviación Estándar</b>			0,16
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			0,92

##### 28 DÍAS


Muestra (N°)	Peso Seco [g]	Peso SSS [g]	% Absorción
1	268,10	313,60	16,971
2	246,50	289,20	17,323
3	211,70	246,90	16,627
4	225,30	263,50	16,955
<b>Media</b>			16,97
<b>Desviación Estándar</b>			0,28
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			1,67

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

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

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

### 8.5.5.1.1 Contenido de Aire (ASTM C231)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	
<u>CONTENIDO DE AIRE MORTERO 1:4</u>	
<b>Muestras</b>	<b>Contenido de Aire</b>
1	3,5
2	2,7
<b>Media [%]</b>	3,10
<b>Desviación Estándar [%]</b>	0,57
<b>Coficiente de Variación [%]</b>	18,25

### 8.5.6 Resistencia a Compresión de Mortero 1:4

(INEN 488)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO 1:4

7 DIAS	MUESTRA	h (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
	1	50,17	11676,783	4,540	0,017	269,305
	2	50,46	12568,477	5,008	0,016	314,706
	3	50,39	12907,469	5,212	0,014	366,120
	4	50,535	12715,865	4,997	0,019	262,046
	<b>Media</b>			12467,149	4,939	0,017
<b>Desviación Estándar</b>			544,882	0,284	0,002	48,076
<b>Coficiente de Variación [%]</b>			4,371	5,746	12,204	15,864

14 DIAS	MUESTRA	h (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
	5	49,915	18353,441	7,311	0,012	608,668
	6	50,065	17476,484	7,018	0,011	631,069
	7	50,065	16960,627	6,744	0,013	508,633
	8	49,375	16809,556	6,743	0,012	555,282
	<b>Media</b>			17400,027	6,954	0,012
<b>Desviación Estándar</b>			696,795	0,271	0,001	54,977
<b>Coficiente de Variación [%]</b>			4,005	3,897	7,229	9,546

21 DIAS	MUESTRA	h (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
	9	50,67	21282,768	8,067	0,016	489,481
	10	50,78	19167,758	7,480	0,019	403,151
	11	52,145	19451,478	7,597	0,014	552,278
	12	52,49	20906,930	8,129	0,014	561,317
	<b>Media</b>			20202,234	7,818	0,016
<b>Desviación Estándar</b>			1048,479	0,327	0,002	72,969
<b>Coficiente de Variación [%]</b>			5,190	4,188	13,637	14,548

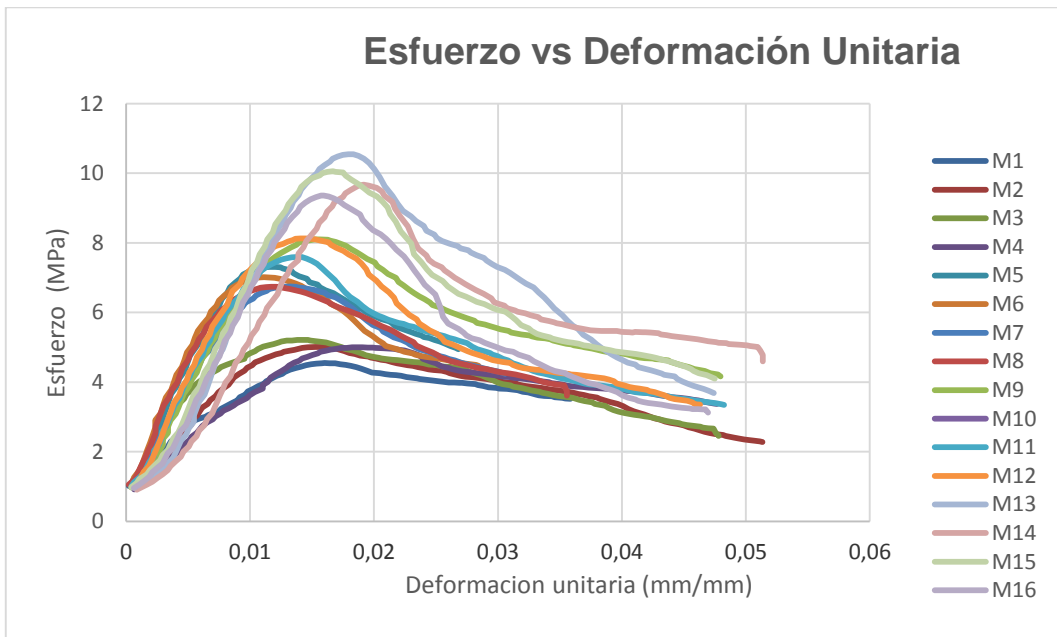
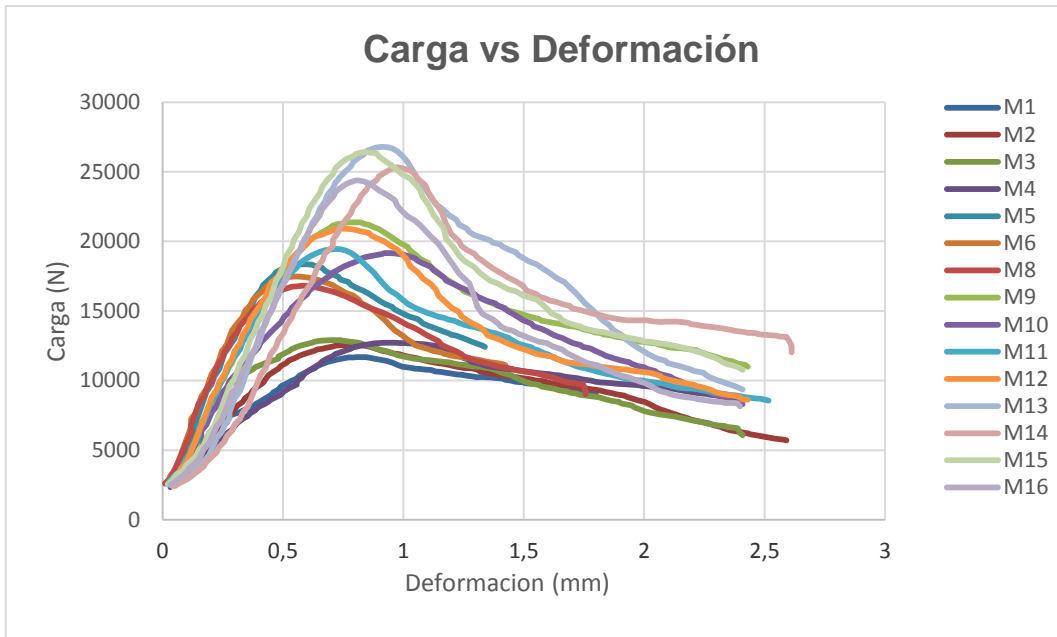
28 DIAS	MUESTRA	h (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
	13	50,8	26787,696	10,547	0,018	588,745
	14	50,85	25324,874	9,670	0,019	504,710
	15	50,735	26419,226	10,056	0,017	603,194
	16	51,075	24167,880	9,275	0,017	553,085
	<b>Media</b>			25674,919	9,887	0,018
<b>Desviación Estándar</b>			1181,237	0,543	0,001	43,867
<b>Coficiente de Variación [%]</b>			4,601	5,495	6,616	7,800

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Esfuerzo máximo 
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$$

Deformación Unitaria 
$$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$$

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



### 8.5.7 Resistencia a Flexión de Mortero 1:4

(INEN 198)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A FLEXION DEL MORTERO 1:4

7 DIAS	MUESTRA	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)
	1	40,58	40,79	736,938	1,637
	2	41,43	43,12	899,064	1,751
	3	42,12	40,8	711,145	1,521
	<b>Media</b>			782,383	1,636
<b>Desviación Estándar</b>			101,869	0,115	
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			13,020	7,006	

14 DIAS	MUESTRA	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)
	4	42,67	41,11	950,650	1,977
	7	42,73	40,89	946,965	1,988
	<b>Media</b>			948,808	1,983
	<b>Desviación Estándar</b>			2,605	0,008
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			0,275	0,385	

21 DIAS	MUESTRA	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)
	8	41,9	41,66	1138,569	2,349
	9	42,47	41,28	1094,353	2,268
	<b>Media</b>			1116,461	2,308
	<b>Desviación Estándar</b>			31,266	0,057
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			2,800	2,460	

28 DIAS	MUESTRA	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)
	10	42,16	40,72	1186,470	2,546
	11	43,18	42,18	1315,434	2,568
	12	40,98	41,73	1300,696	2,734
	<b>Media</b>			1267,533	2,616
<b>Desviación Estándar</b>			70,589	0,103	
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			5,569	3,927	

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

Módulo de Rotura

$$R = \frac{3 Pl}{2b * d^2}$$

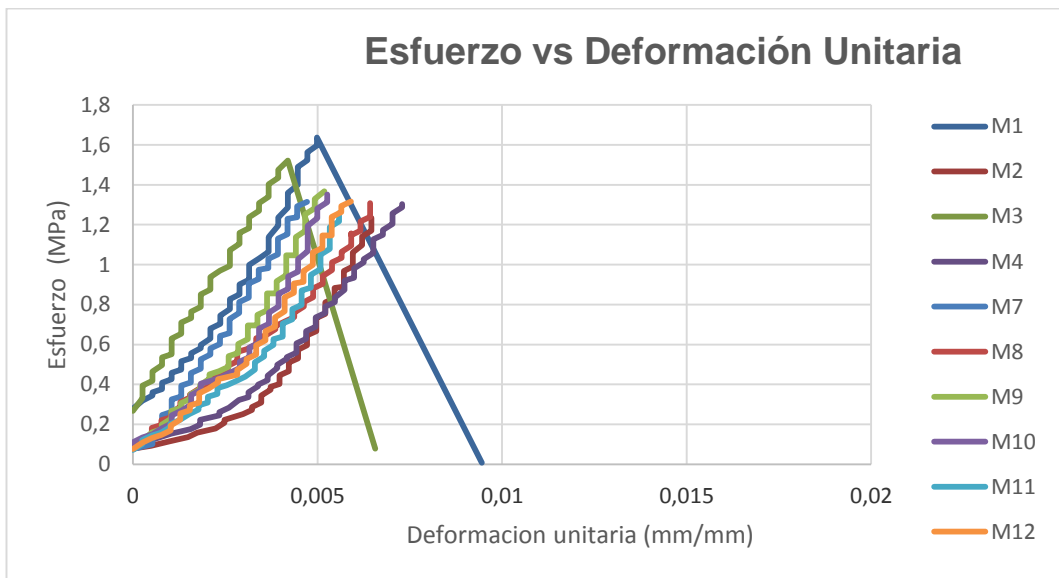
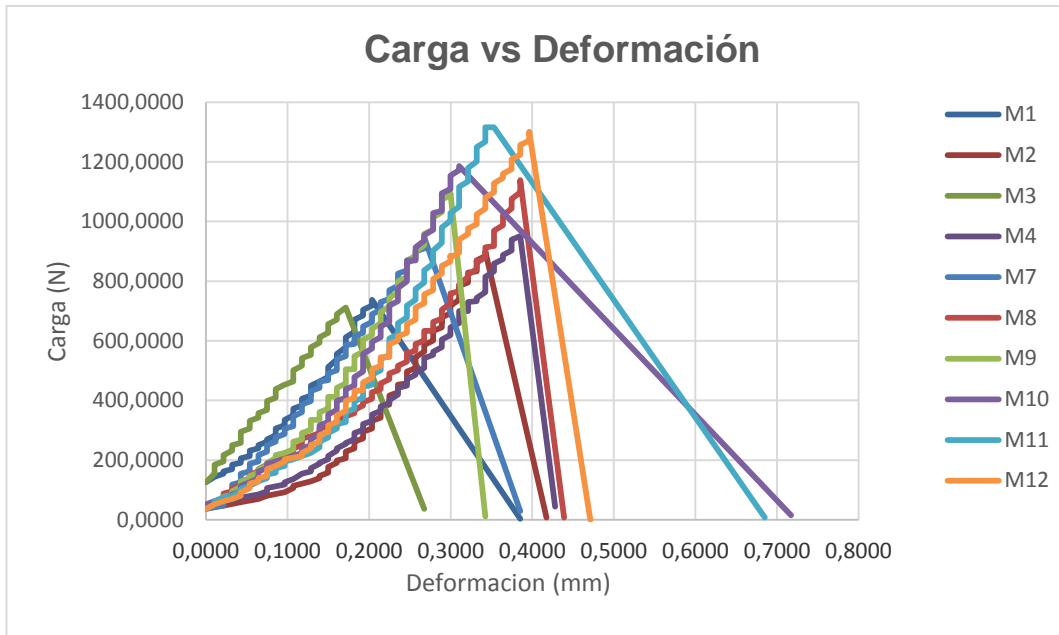
Dónde

G = carga máxima aplicada, en Newtones.

l = distancia entre apoyos en milímetros.


b = ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros.

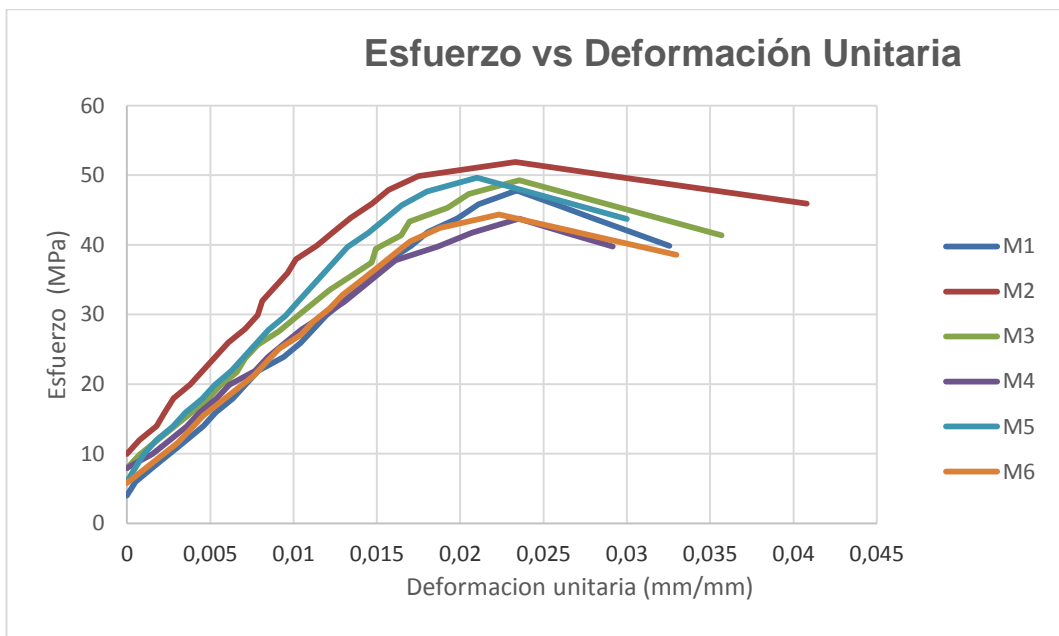
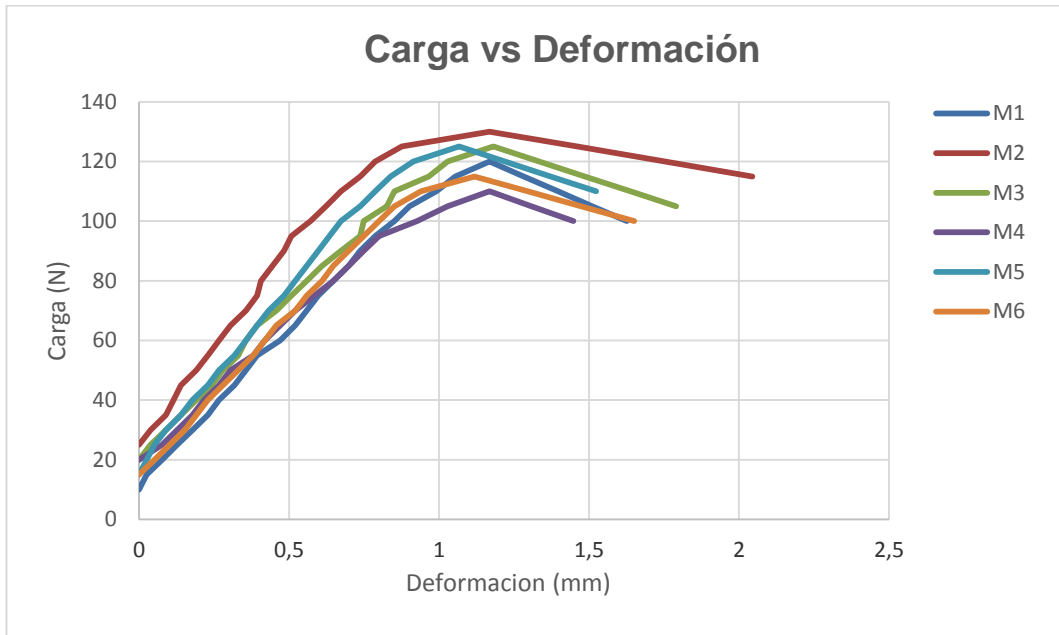
d = promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros.



## 8.6 Caracterización del mortero para el material compuesto dosificación 1:1.10 (arena)

### 8.6.1 Resistencia a Compresión de Mortero 1:1,10 (INEN 488)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A COMPRESION MORTERO 1:1,10							
28 DIAS	MUESTRA	h (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria Máxima (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	
	1	49,93	120,000	47,813	0,023	2043,239	
	2	50,115	125,000	49,905	0,017	2854,052	
	3	50,175	125,000	49,278	0,024	2093,406	
	4	49,67	110,000	43,752	0,024	1859,948	
	5	50,79	125,000	49,672	0,021	2364,857	
	6	50,055	115,000	44,375	0,022	1987,465	
	<b>Media</b>			120,000	47,466	0,022	2200,494
	<b>Desviación Estándar</b>			6,325	2,741	0,002	361,027
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>			5,270	5,775	10,824	16,407	
FÓRMULAS A UTILIZAR							
<b>Esfuerzo máximo</b>	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$						
<b>Deformación Unitaria</b>	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$						
<b>Módulo de Elasticidad</b>	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$						



### 8.6.1.1 Resistencia a Flexión de Mortero 1:1,10 (INEN 198)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL MORTERO 1:1.10

28 DIAS	MUESTRA	b (mm)	d (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (MPa)
	1	43	43,3	3868,924	7,198
	2	42,1	42,1	3316,221	6,666
	3	41,79	42,63	3809,969	7,525
	4	41,21	41,09	3563,095	7,681
	<b>Media</b>			3665,038	7,268
<b>Desviación Estándar</b>				303,519	0,449
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>				8,281	6,173

#### FÓRMULAS A UTILIZAR

##### Módulo de Rotura

$$R = \frac{3 Gl}{2b * d^2}$$

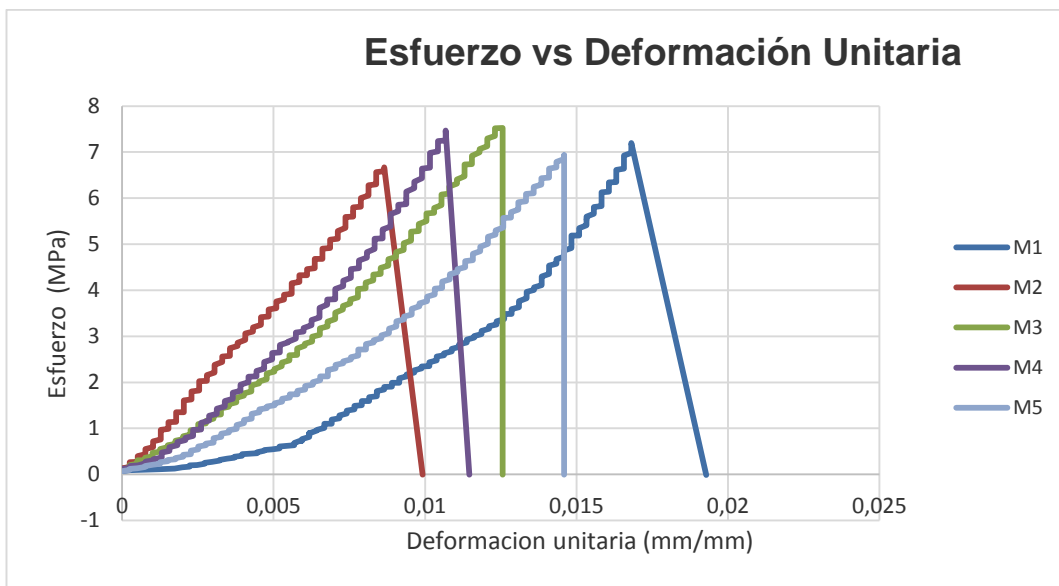
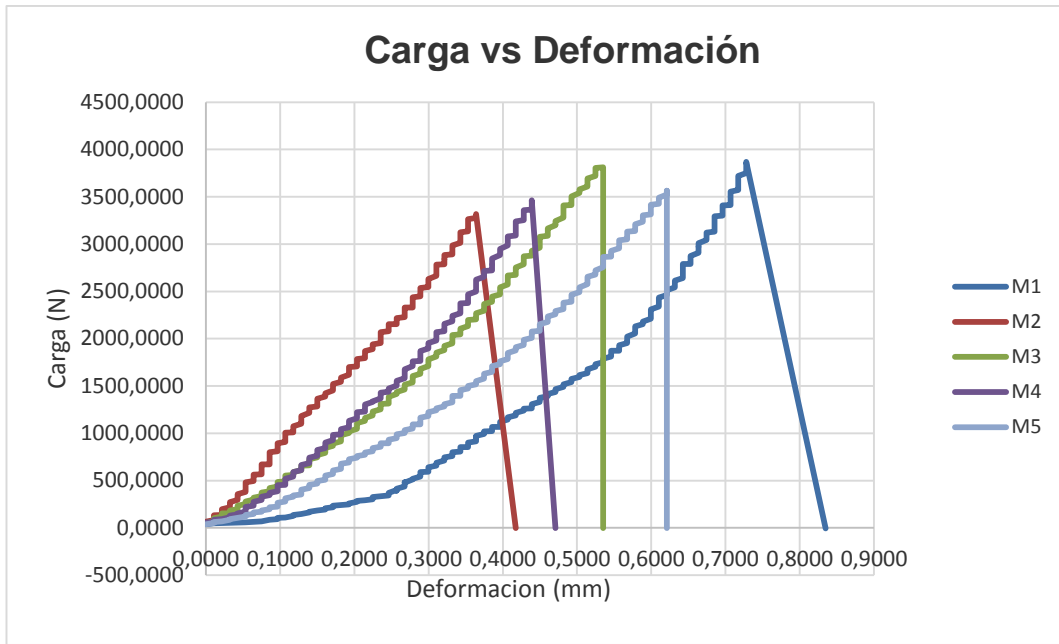
##### Donde

G = carga máxima aplicada, en Newtones.

l = distancia entre apoyos en milímetros.

b = ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros.


d = promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros.

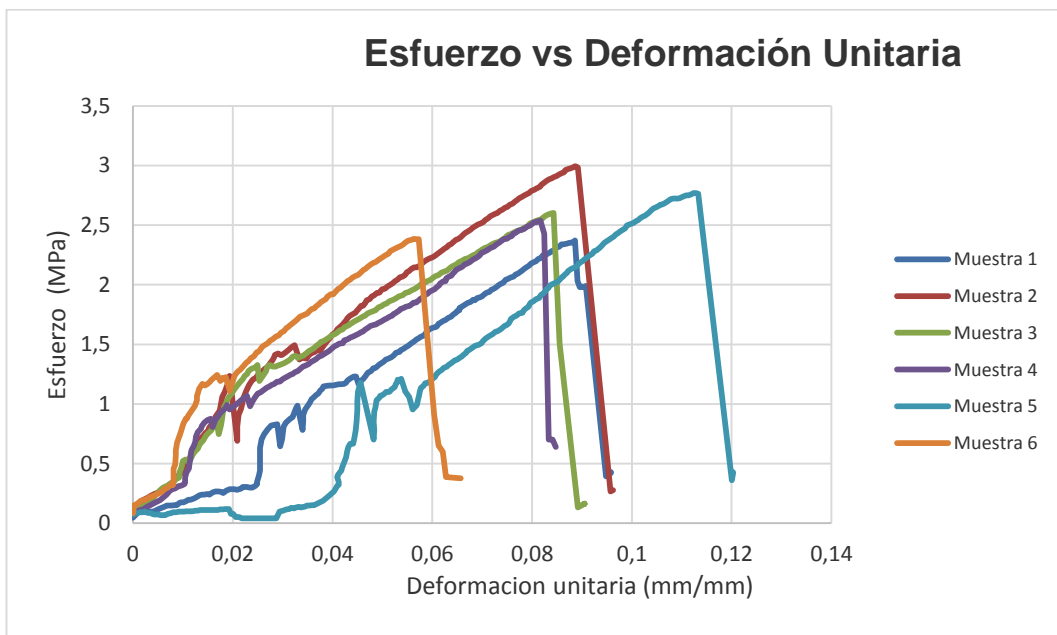
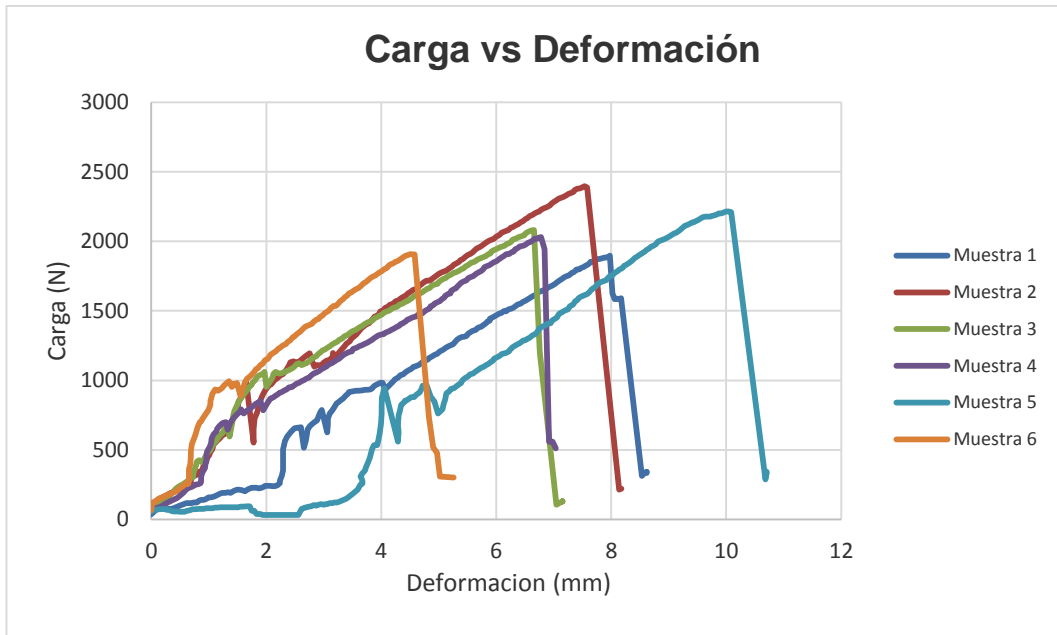


## 8.7 Caracterización del material compuesto

### 8.7.1 1 LAYER


#### 8.7.1.1 Tracción del material compuesto

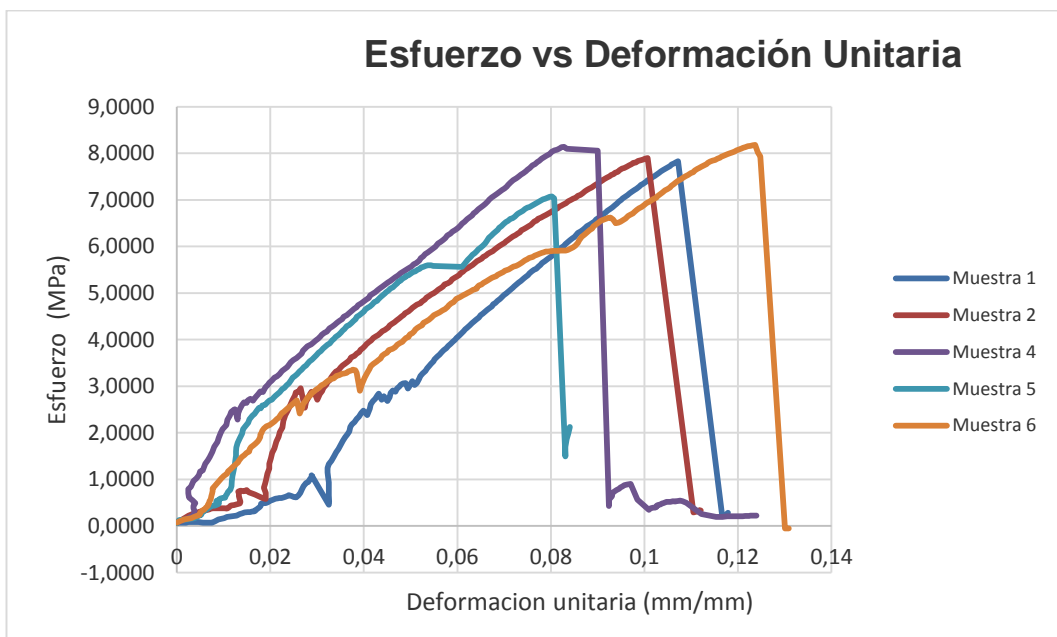
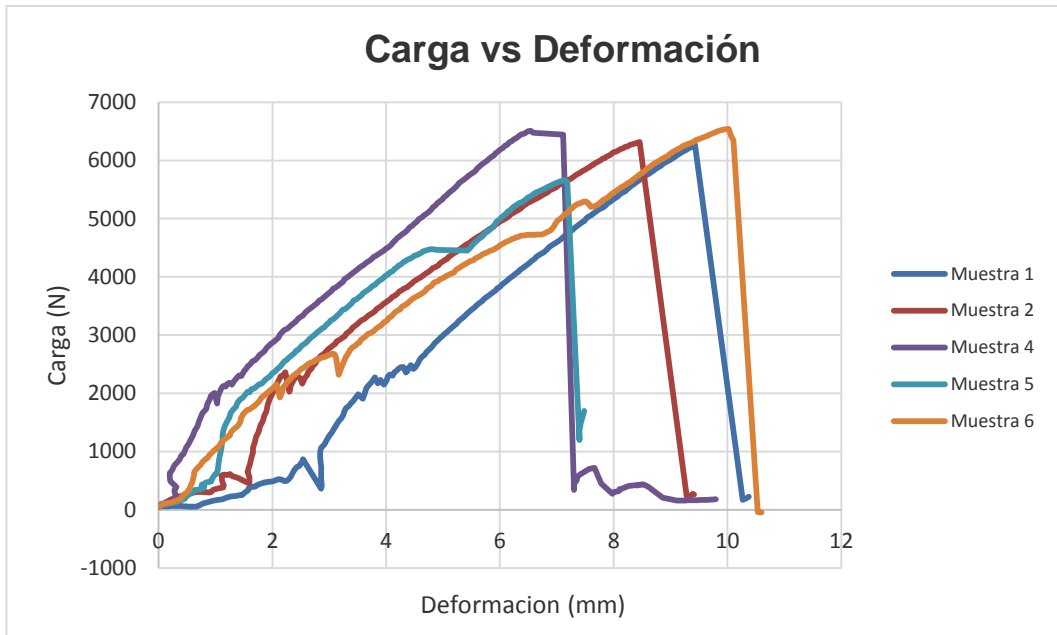
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A TRACCIÓN MATERIAL COMPUESTO 1 LAYER							
Muestra	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria 1 (mm/mm)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Módulo de Elasticidad Fase 1 (Mpa)	Módulo de Elasticidad Fase 3 (Mpa)
1	90	1897,615	2,372	0,020	0,089	14,038	26,765
2	85	2395,048	2,994	0,008	0,089	41,211	33,762
3	79	2081,850	2,602	0,009	0,084	45,807	30,871
4	83	2030,264	2,538	0,010	0,082	32,621	31,081
5	89	2214,499	2,768	0,010	0,113	33,561	24,532
6	80	1908,669	2,386	0,008	0,056	40,152	42,346
<b>Media</b>		2087,991	2,610	0,011	0,085	34,565	31,560
<b>Desviación Estándar</b>		190,818	0,239	0,005	0,018	11,206	6,233
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		9,139	9,139	42,754	21,164	32,421	19,751
FÓRMULAS A UTILIZAR							
Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$						
Área del tejido	$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 1000}$						
Deformación Unitaria	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_0}$						
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$						



## 8.7.2 3 LAYERS

### 8.7.2.1 Tracción del material compuesto

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A TRACCIÓN MATERIAL COMPUESTO 3LAYERS							
MUESTRA	Lo (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación Unitaria 1 (mm/mm)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Módulo de Elasticidad Fase 1 (Mpa)	Módulo de Elasticidad Fase 3 (Mpa)
1	88	6263,973	7,830	0,028	0,107	33,597	73,051
2	84	6315,559	7,894	0,015	0,101	46,888	78,403
4	79	6477,685	8,097	0,017	0,083	50,481	97,150
5	89	5659,684	7,075	0,010	0,080	58,767	88,171
6	81	6415,045	8,019	0,011	0,124	53,775	64,540
<b>Media</b>		6226,389	7,783	0,016	0,099	48,702	80,263
<b>Desviación Estándar</b>		327,589	0,409	0,007	0,018	9,509	12,751
<b>Coefficiente de Variación [%]</b>		5,261	5,261	44,256	18,213	19,525	15,887
FÓRMULAS A UTILIZAR							
Esfuerzo máximo	$\sigma = \frac{F_{max}}{A}$						
Área del tejido	$A = \frac{Tex * \text{número de hilos}}{\delta * 1000}$						
Deformación Unitaria	$\sigma = \frac{\epsilon_i}{L_o}$						
Módulo de Elasticidad	$E = \frac{(60\% \sigma - 20\% \sigma)}{(60\% \epsilon_i - 20\% \epsilon_i)}$						



## 8.8 Anexo Fotográfico

### LADRILLO



Falla a ensayo de Flexión del ladrillo



Falla a ensayo de Compresión del ladrillo

### FIBRA CABUYA



Tracción fibra cabuya con resina



Tracción fibra cabuya sin resina

## TEJIDO CABUYA



Tracción tejido con resina



Tracción tejido sin resina

## MORTERO 1:4



Flexión viguetas 1:4



Compresión cubos 1:4

## MORTERO 1:1.10

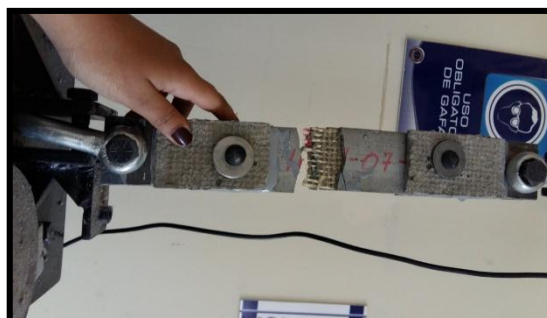


Flexión viguetas 1:1.10



Compresión cubos 1:1.10

## MATERIAL COMPUESTO



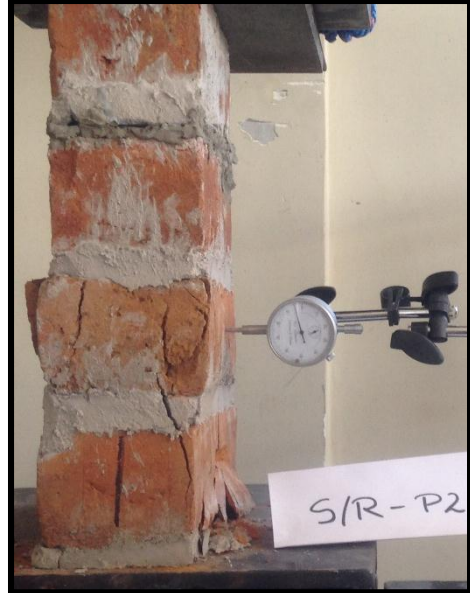
Flexión material compuesto

**ENSAYOS FINALES**

**ENSAYO DE PILAS SIN REFUERZO**



Falla pila S/R 1



Falla pila S/R 2

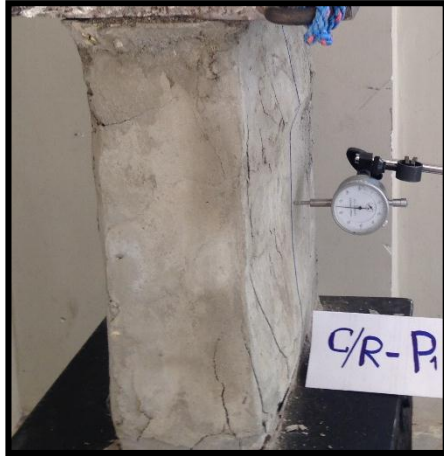


Falla pila S/R 3



Falla pila S/R 4

## ENSAYO DE PILAS CON REFUERZO



Falla pila C/R 1



Falla pila C/R 2



Falla pila C/R 3



Falla pila C/R 4

## ENSAYO DE CORTE SIN REFUERZO



Falla a corte S/R 2



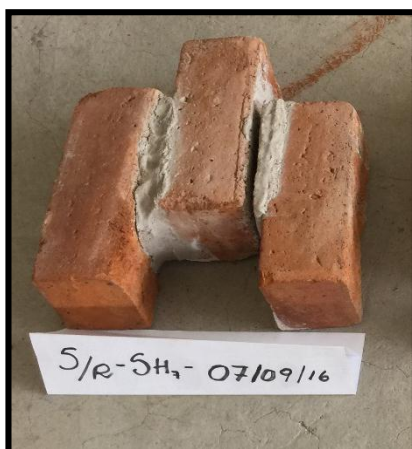
Falla a corte S/R 4



Falla a corte S/R 5



Falla a corte S/R 6



Falla a corte S/R 7



Falla a corte S/R 8

## ENSAYO DE CORTE CON REFUERZO



Falla a corte C/R 3



Falla a corte C/R 4



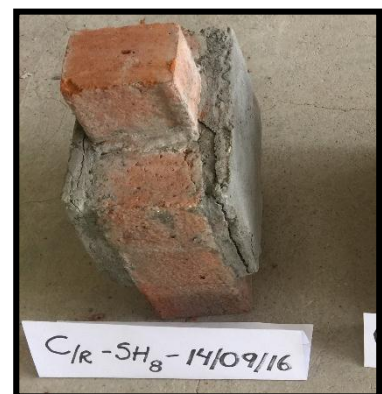
Falla a corte C/R 5



Falla a corte C/R 6



Falla a corte C/R 7

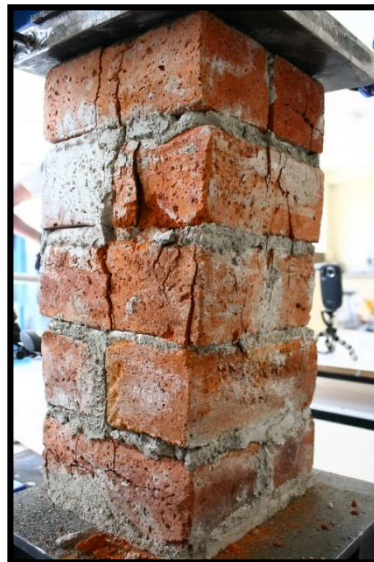


Falla a corte C/R 8

## ENSAYO DE COLUMNAS SIN REFUERZO SOMETIDAS A CARGA AXIAL



Falla columna concéntrica S/R 1



Falla columna concéntrica S/R 2



Falla columna concéntrica S/R 3



Falla columna concéntrica S/R 4

## ENSAYO DE COLUMNAS CON REFUERZO SOMETIDAS A CARGA AXIAL



Falla columna concéntrica C/R 1



Falla columna concéntrica C/R 2

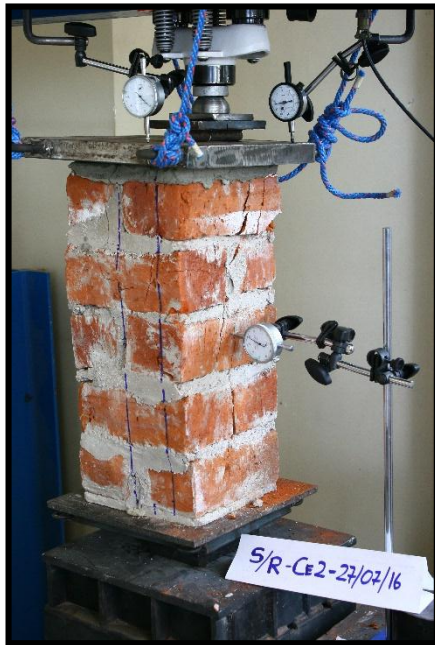


Falla columna concéntrica C/R 3

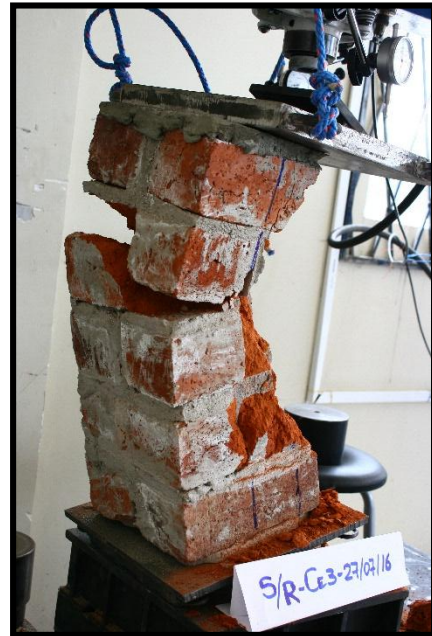


Falla columna concéntrica C/R 4

**ENSAYO DE COLUMNAS SIN REFUERZO SOMETIDAS A CARGA EXCÉNTRICA**



Falla columna excéntrica S/R 2



Falla columna excéntrica S/R 3



Falla columna excéntrica S/R 4

## ENSAYO DE COLUMNAS CON REFUERZO SOMETIDAS A CARGA EXCÉNTRICA



Falla columna excéntrica C/R 1



Falla columna excéntrica C/R 2



Falla columna excéntrica C/R 3



Falla columna excéntrica C/R 4