



Usos y aplicaciones del plástico PEAD reciclado en la fabricación de elementos estructurales para construcción de vivienda en Colombia

Jorge Andrés Sierra Jiménez

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Posgrado en Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
21 de Julio 2016

Usos y aplicaciones del plástico PEAD reciclado en la fabricación de elementos estructurales para construcción de vivienda en Colombia

Jorge Andrés Sierra Jiménez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Civil

Directora:

M. Sc, Ph.D. Nancy Torres Castellanos

Codirector:

M. Sc, Ph.D. Pedro Nel Quiroga

Línea de Investigación:

Nuevos materiales en ingeniería

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Posgrado en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

21 de Julio de 2016

La tesis de grado titulada “Uso y aplicaciones del plástico PEAD reciclado en la fabricación de elementos estructurales para construcción de vivienda en Colombia” presentada por Jorge Andrés Sierra Jiménez, cumple con los requisitos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural.

Nancy Torres Castellanos, M.Sc, Ph.D
Directora de la Tesis

Pedro Nel Quiroga, M.Sc, Ph.D
Co-Director de la Tesis

Sandra Jerez Barboza, M.Sc, Ph.D
Jurado

Miguel Orejuela, M.Sc, Ph.D
Jurado

A mis padres, por apoyarme siempre

Agradecimientos

A Dios por ser mi guía y apoyo durante el camino recorrido para ser perseverante hacia el éxito de éste escalón en la interminable escalera de mi formación profesional, a mis padres por creer en mis sueños, brindarme apoyo para cumplir mis metas y confiar en mi palabra.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería por apoyarme durante el desarrollo del proyecto investigativo, por brindarme y exigirme calidad educativa durante mis estudios.

Al personal de Laboratorio de Materiales y Estructuras, Jairo Páez, Ramón Torres, Cristian Cogollo y María Isabel Espejo por brindarme su colaboración, acompañamiento y amabilidad durante los diferentes ensayos de la investigación.

A la Ingeniera Nancy Torres y al Ingeniero Pedro Nel Quiroga por su acompañamiento, por estar siempre apoyándome durante el transcurso de la investigación y por brindarme motivación a superarme profesionalmente al alcanzar esta meta.

A la Arquitecta Carolina Parra, coordinadora de producción en la Fundación FICIDET por su colaboración, asesoría en los conocimientos respecto a los elementos y materiales de plástico reciclado investigados y estar siempre dispuesta a solucionar inquietudes de la investigación.

Resumen

Desde sus inicios y en el futuro próximo el plástico ha transformado y transformará la calidad de vida de la humanidad pero la acumulación de residuos en botaderos, océanos, espacios públicos, reservas ambientales y zonas comunes es una preocupación global, por lo que el reciclaje es la forma más rápida y fácil para contribuir a la sostenibilidad de los ecosistemas del mundo. Mediante esta investigación se estudia la factibilidad técnica del uso de material plástico polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado en la fabricación de elementos estructurales para la construcción de vivienda en Colombia y también se estudia una posible solución al déficit de accesibilidad a vivienda para personas de bajos recursos y en caso de emergencia, mediante la construcción rápida de viviendas sostenible a base de plástico reciclado PEAD (prPEAD). Se estudia el material tomando muestras de especímenes fabricados, especímenes unitarios y el conjunto de éstos formando elementos estructurales a los cuales se les determina propiedades físicas, se realizan ensayos a compresión, tensión, flexión, carga lateral horizontal paralela al plano y perpendicular al plano del elemento y se estudia el comportamiento de una vivienda de 6,33 x 6,33 m fabricada con elementos de prPEAD y uniones pernadas con láminas metálicas bajo carga horizontal.

Palabras clave: Plástico, reciclaje, polietileno de alta densidad, vivienda, sostenibilidad, elementos estructurales.

Abstract

Since its inception and in the near future plastic has transformed and will transform the quality of life of mankind but the accumulation of waste in landfills, oceans, public spaces, environmental reserves and public areas It is a global concern, so that recycling is the fastest and easiest way to contribute to the sustainability of the world's ecosystems form. Through this research the technical feasibility of the use of polyethylene plastic material of high density (HDPE) recycled in the manufacture of structural elements for the construction of housing in Colombia is studied and a possible solution to the lack of accessibility to housing for people is also studied low income and emergency, through the rapid construction of sustainable housing based recycled plastic HDPE (prPEAD). The material is studied by taking samples of manufactured specimens unit specimens and the assembly thereof forming structural elements which are determined physical properties, compression tests, stress, bending, horizontal lateral load parallel to the plane and perpendicular performed to the plane of element and the behavior of a housing made of elements 6,33 x 6,33 m prHDPE and bolted connections with metal foils under horizontal loading is studied.

Keywords: Plastic, recycled polyethylene high density, housing, sustainability, structural elements.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XXI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XXIV
Introducción	1
1. Objetivos	5
1.1 Objetivo General.....	5
1.1.1 Objetivos Específicos	5
2. Estado del Arte	7
2.1 Plástico Reciclado: Como sustituto de agregados pétreos.....	10
2.2 Plástico Reciclado: Uso en elementos estructurales	15
2.3 Plástico Reciclado: Uso en elementos de madera plástica	27
3. Programa experimental	39
3.1 Metodología.....	39
3.2 Variables de estudio	39
3.3 Caracterización de materiales y elementos.....	40
3.3.1 Muestra tipo cubo a compresión	42
3.3.2 Muestra tipo probeta a tensión	44
3.3.3 Muestra tipo corte – ensayos a cortante.....	46
3.3.4 Bloques Brickarp®	50
3.3.5 Columnas con canales y espigos de ensamble	53
3.3.6 Vigas de cimentación y de remate con pestaña	56
3.3.7 Viguetas o correas	58
3.3.8 Vigas acopladas de sección compuesta.....	59
3.3.9 Muretes armados	60
3.4 Ensayos en muros a escala real	64
3.4.1 Ensayo a carga lateral estática en muros a escala real.....	65
3.4.2 Ensayo a carga uniforme en muros a escala real.....	68
3.5 Ensayos sobre estructura tipo vivienda de prPEAD a escala real	70
3.5.1 Prueba de carga lateral estática	73
3.5.1.1 Descripción de la estructura	73
3.5.1.2 Protocolo de carga	75
3.5.1.3 Montaje de ensayo en estructura a escala real	78

4. Resultados y análisis.....	85
4.1 Resultados de la caracterización de materiales y elementos.....	85
4.1.1 Muestra tipo cubo	86
4.1.2 Muestra tipo probeta a tensión.....	91
4.1.3 Muestra tipo corte – ensayos a cortante	93
4.1.4 Bloques Brickarp®.....	98
4.1.5 Columnas con canales y espigos de ensamble.....	101
4.1.6 Vigas de cimentación y de remate con pestañas	108
4.1.7 Viguetas o correas.....	113
4.1.8 Vigas acopladas de sección compuesta	117
4.2 Resultados en muretes.....	123
4.3 Resultados de muros ensamblados a escala real.....	125
4.3.1 Ensayo a carga lateral estática	126
4.3.2 Ensayo a carga uniforme sobre el plano del muro	132
4.4 Análisis de solicitaciones sísmicas y de viento según la NSR-10 para los muros ensamblados a escala real.....	137
4.4.1 Análisis de viento – procedimiento simplificado	139
4.4.2 Análisis Sísmico en muros a escala real	141
4.4.3 Comparaciones de resultados de ensayos a carga lateral y carga distribuida en muros a escala real con las solicitaciones sísmicas y de viento exigidas por la NSR-10	144
4.5 Resultados de ensayo de carga y descarga lateral en vivienda a escala real	147
4.5.1 Análisis Sísmico de la estructura a escala real	165
4.6 Comparación de las propiedades mecánicas de los elementos de prPEAD estudiados con otras investigaciones del Estado del Arte	168
5. Ventajas y desventajas del uso del prPEAD en elementos estructurales para vivienda y su aporte al desarrollo sostenible	173
6. Conclusiones y recomendaciones	181
6.1 Conclusiones.....	181
6.2 Recomendaciones.....	184
A. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en muestras tipo cubos.....	187
B. Anexo: Resultados de ensayos a tensión en muestras tipo probeta.....	253
C. Anexo: Resultados de ensayos a cortante en muestras.....	277
D. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en bloques Brickarp®.....	283
E. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en columnas prPEAD con canales y espigos de ensamble sin refuerzo de 2,40m, 1,60m y 0,80m.....	293
F..... Anexo: Resultados de ensayos a flexión en vigas prPEAD de 1,16m, 1,50m y 2,40m	351
G. Anexo: Resultados de ensayos a carga lateral estática en muros a escala real	411
H. Anexo: Figuras de la NSR-10 utilizadas en la investigación.....	421

7. Bibliografía427

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Símbolo de reciclaje de plástico PEAD. Fuente: (18)	8
Figura 2-2: Muestra de plástico como sustituto de agregados en mezcla de concreto. Fuente: (27).	12
Figura 2-3: Ejemplos de propuestas de mallas celulares fabricadas con plástico reciclado para uso en vías vehiculares. (a) Disposición de diseño lateral escalonado. (b) Disposición de diseño longitudinal escalonado. Fuente: (28).	14
Figura 2-4: Muestra de plástico como sustituto de agregados en mezcla de concreto. Fuente: (28)	15
Figura 2-5: Formas de ladrillos (bloques) y columnas. Fuente: (29).	16
Figura 2-6: Módulo de vivienda construido. Fuente: (29).	16
Figura 2-7: Muestra de plástico extruido, presencia de grietas y vacíos. Fuente: (29).	17
Figura 2-8: Travesía en vía férrea fabricadas con plástico reciclado. Producto: Ecotrax ® RailRoad Ties. Fuente: (31) (32) (33)	19
Figura 2-9: Vigas fabricadas con plástico reciclado usadas en puentes. Producto: Struxure ® Beans. Fuente: (31) (32) (33)	20
Figura 2-10: Conformación de un puente con elementos estructurales fabricados con plástico reciclado. Productos: Struxure ® Beans. Fuente: (31) (32) (33)	20
Figura 2-11: Tipos de plástico usados en la investigación por FERREIRA (2.011). (a) Pc, (b) Pf y (c) Pp. Fuente: (34)	21
Figura 2-12: Representación gráfica de la relación agua/cemento y la incorporación de material plástico reciclado. Fuente: (34)	22
Figura 2-13: Densidad del concreto fresco en función de la incorporación de material plástico reciclado. Fuente: (34)	23
Figura 2-14: Relación de esfuerzo a la compresión en concretos con materiales plásticos (a) edad de 7 días; (b) edad de 28 días y (c) edad de 56 días bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)	25
Figura 2-15: Relación de esfuerzo a la tracción indirecta en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)	26
Figura 2-16: Relación de módulo de elasticidad en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)	27
Figura 2-17: Relación de resistencia a la abrasión en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)	27
Figura 2-18: Dibujo del muelle en West Meadow, Campo Viejo, NY. Fuente: (38)	29

Figura 2-19:	Medidas de dureza para las superficies en la sección transversal (●) y en la superficie exterior o huella (■) (superficie de tránsito) de los tablonces de madera plástica en el muelle tomadas con deformímetro tipo D. Fuente: (38).....	29
Figura 2-20:	Resultados de módulos de compresión medidos en las superficies de la sección transversal (●) y en la superficie exterior o huella (■) (superficie de tránsito) de los tablonces de madera plástica en el muelle. Fuente: (38)	30
Figura 2-21:	Relación de módulo de elasticidad equivalente y la proporción h/L. Fuente: (41)	34
Figura 2-22:	Sección diseñada de madera plástica reforzada con perfil tubular de acero, para ser utilizado en fachada de edificio. Fuente: (41).....	35
Figura 3-1:	Esquema muestra tipo cubo. Fuente: Autor	42
Figura 3-2:	Muestra tipo cubo. Nomenclatura de identificación en laboratorio. Fuente: Autor	43
Figura 3-3:	Montaje ensayo a compresión en cubo. Fuente: Autor	44
Figura 3-4:	Montaje Muestra tipo probeta ensayo a tensión. Fuente: Autor	45
Figura 3-5:	Esquema de muestra tipo probeta ensayo a tensión. Fuente: Autor	45
Figura 3-6:	Montaje ensayo a tensión en probeta. Fuente: Autor	46
Figura 3-7:	Montaje ensayo a cortante en lámina. Fuente: Autor	47
Figura 3-8:	Montaje ensayo a cortante en sección de bloque. Fuente: Autor	48
Figura 3-9:	Montaje ensayo a cortante en sección alargada de bloque. Fuente: Autor	49
Figura 3-10:	(a) Unidad de bloque Brickarp® con perforaciones. (b) Unidad de bloque Brickarp® sin perforaciones. Fuente: FICIDET	50
Figura 3-11:	Esquema de ubicación de sentidos de estudio en unidad de Bloque Brickarp®. Fuente: Autor	50
Figura 3-12:	Montaje ensayo a compresión en bloques Brickarp® vista frontal. Fuente: Autor	52
Figura 3-13:	Montaje ensayo a compresión en bloques Brickarp® vista perfil. Fuente: Autor	52
Figura 3-14:	Sección típica de columna, dimensiones teóricas. Fuente: FICIDET	53
Figura 3-15:	Sección típica de columna de prPEAD, sentidos de estudio. Fuente: Autor	54
Figura 3-16:	Montaje de ensayo a compresión típico en columna. Fuente: Autor	55
Figura 3-17:	Montaje de ensayo a compresión típico en viga de cimentación y de remate. Fuente: Autor.....	57
Figura 3-18:	Sección teórica de viguetas o correas. Fuente: FIDICET	58
Figura 3-19:	Vigas acopladas de sección compuesta. Sentidos de ubicación. Fuente: Autor	59
Figura 3-20:	Muretes armados. Fuente: Autor	60
Figura 3-21:	Montaje ensayo de compresión en muretes vista perfil. Fuente: Autor ..	61
Figura 3-22:	Montaje ensayo de compresión en muretes vista perfil. Fuente: Autor ..	62
Figura 3-23:	Montaje ensayo de compresión diagonal en muretes. Fuente: Autor.....	63
Figura 3-24:	Muros completos a escala real. Fuente: Autor	64

Figura 3-25:	Muros completos a escala real. Fuente: Autor.....	66
Figura 3-26:	Detalle del mecanismo de aplicación de carga en ensayos en muros completos a escala real. Fuente: Autor	67
Figura 3-27:	Detalle de instalación de tornillos sin perforación previa. Fuente: Autor .	67
Figura 3-28:	Detalle de instalación de perno con perforación previa. Fuente: Autor ...	68
Figura 3-29:	Esquema de montaje y ubicación para ensayo de carga distribuida. Fuente: Autor	69
Figura 3-30:	Secuencia de carga de ensayo de carga distribuida. Fuente: Autor	70
Figura 3-31:	Montaje ensayo de carga uniforme sobre muros completos. Fuente: Autor	70
Figura 3-32:	Esquema de montaje en estructura a escala real. Fuente: Autor.....	71
Figura 3-33:	Montaje instalado en estructura a escala a escala real. Fuente: Autor ...	72
Figura 3-34:	Montaje, unión de viga metálica de cercha superior a estructura a escala real. Fuente: Autor	72
Figura 3-35:	Planta estructural de estructura a escala real, sentido de carga y ubicación de pórticos. Fuente: Autor.....	74
Figura 3-36:	Vigas de cimentación ancladas a la losa de cimentación en estructura a escala real Fuente: Autor.....	75
Figura 3-37:	Esquema de ciclo de carga dibujado en la bandeja de carga. Fuente: Autor.....	76
Figura 3-38:	Esquema de fuerzas actuantes durante prueba de carga lateral. Fuente: Autor.....	77
Figura 3-39:	Esquema de DCL como representación de las cargas actuantes en el montaje hacia la estructura tipo vivienda de prPEAD. Fuente: Autor.....	77
Figura 3-40:	Apoyo de puntales en montaje. Fuente: Autor.....	79
Figura 3-41:	Ubicación de deformímetros en la estructura a escala real. Fuente: Autor.....	80
Figura 3-42:	Esquema de sistema de medición de desplazamiento con plomadas en pórtico 4. Fuente: Autor.....	81
Figura 3-43:	Esquema de sistema de medición de desplazamiento con plomadas en pórtico 6.	81
Figura 3-44:	Plomadas utilizadas para medición de desplazamientos durante ensayo. Fuente: Autor.....	82
Figura 3-45:	Marcas de referencia para medir desplazamientos locales. Fuente: Autor.....	82
Figura 4-1:	Fallas de dos muestras tipo cubo al finalizar ensayo a compresión en dirección X. Fuente: Autor.....	86
Figura 4-2:	Modos de fallas de dos muestras tipo cubo en ensayo a compresión en dirección X. Fuente: Autor.....	87
Figura 4-3:	Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido X. Fuente: Autor.....	87
Figura 4-4:	Modo de falla de muestra tipo cubo en ensayo a compresión en dirección Y. Fuente: Autor.....	88

Figura 4-5:	Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido Y. Fuente: Autor.	88
Figura 4-6:	Modo de falla de muestras tipo cubo en ensayo a compresión en dirección Z. Fuente: Autor.	89
Figura 4-7:	Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido Z. Fuente: Autor.	89
Figura 4-8:	Modo de falla en extremo de muestra tipo probeta, ensayo a tensión. Fuente: Autor.	92
Figura 4-9:	Modo de falla en centro de muestra tipo probeta, ensayo a tensión. Fuente: Autor.	92
Figura 4-10:	Modo de falla a 1/3 de la longitud de muestra tipo probeta, ensayo a tensión. Fuente: Autor.	92
Figura 4-11:	Comportamiento de muestras durante ensayo a tensión. Fuente: Autor	93
Figura 4-12:	Modo de falla punzón perfora lamina, ensayo a corte 1. Fuente: Autor..	95
Figura 4-13:	Modo de falla sección de bloque ensayada a cortante. Fuente: Autor. ..	95
Figura 4-14:	Hipótesis del comportamiento del material durante ensayo a cortante. Fuente: Autor.	96
Figura 4-15:	Modo de falla en el centro de luz, ensayo a cortante. Fuente: Autor.	97
Figura 4-16:	Fallas de dos muestras tipo cubo al finalizar ensayo a compresión en dirección Z. Fuente: Autor.	100
Figura 4-17:	Modo de falla por pandeo de columna de 2,40m en ensayo a compresión. Fuente: Autor.	102
Figura 4-18:	Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC- 01 ensayo a compresión en columnas de 2,40m. Fuente: Autor.	103
Figura 4-19:	Modo de falla por pandeo de columna de 1,60m en ensayo a compresión. Fuente: Autor.	104
Figura 4-20:	Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC- 06 ensayo a compresión en columnas de 1,60m. Fuente: Autor.	105
Figura 4-21:	Modo de falla por pandeo de columna de 0,80m en ensayo a compresión. Fuente: Autor.	106
Figura 4-22:	Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC- 06 ensayo a compresión en columnas de 0,80m. Fuente: Autor.	107
Figura 4-23:	Patrón de carga utilizado en ensayo a flexión en vigas. Fuente: Autor.	109
Figura 4-24:	Flexión en viga de cimentación y remate con pestaña de 1,16m durante ensayo a flexión. Fuente: Autor.	110
Figura 4-25:	(a) y (b) Modo de falla en centro de luz de la viga durante ensayo a flexión en viga 1,16m de cimentación y remate con pestaña. Fuente: Autor.	111
Figura 4-26:	Comportamiento a flexión de vigas remate y cimentación de 1,16m. Fuente: Autor.	112
Figura 4-27:	Comportamiento del Momento elástico vs deflexión en el centro de la luz de vigas de 1,16m durante ensayo a flexión. Fuente: Autor.	113
Figura 4-28:	Flexión en viga vigueta de 1,50m ensayo a flexión. Fuente: Autor.	114
Figura 4-29:	(a) y (b) Modo de falla en viga vigueta de 1,50m sometida a flexión. Fuente: Autor.	115

Figura 4-30:	Comportamiento a flexión de viga vigueta 1,50m, muestra R-1. Fuente: Autor.	116
Figura 4-31:	Momento vs deflexión en el centro de la luz de vigueta 1,50m a flexión, muestra VR-1. Fuente: Autor.	116
Figura 4-32:	Flexión en vigas vigueta de 2,40m ensayo a flexión. Fuente: Autor.	118
Figura 4-33:	(a) y (b) Modo de falla en viga acoplada 2,40m sometida a flexión. Fuente: Autor.	119
Figura 4-34:	Comportamiento a flexión de viga acoplada 2,40m, muestra VAC-1. Fuente: Autor.	120
Figura 4-35:	Momento elástico vs deflexión en el centro de la luz de vigas acopladas 2,40m a flexión. Fuente: Autor.	120
Figura 4-36:	(a) y (b) Modo de falla por pandeo de murete de prPEAD en ensayo a compresión. Fuente: Autor.	123
Figura 4-37:	Modo de falla por desplazamiento de bloques individuales de prPEAD ensayo a compresión axial en muretes. Fuente: Autor.	125
Figura 4-38:	Comportamiento del muro durante ensayo a carga lateral estática a escala real. Muestra M1. Fuente: Autor.	126
Figura 4-39:	Deriva de los muros durante ensayo a carga lateral estática a escala real. Fuente: Autor.	127
Figura 4-40:	(a) Modo de falla de muro a escala real sometido a fuerza cortante y representación del giro ocurrido en el muro. Muestra M1. (b) Zoom detalle de desplazamiento medido. Fuente: Autor.	128
Figura 4-41:	Desplazamiento de bloques individuales que conforman el muro, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.	129
Figura 4-42:	(a) (b) Detalle de comportamiento de viga inferior, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.	130
Figura 4-43:	(a) (b) y (c) Detalle de giro en unión viga inferior - columna, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.	131
Figura 4-44:	(a) Detalle comportamiento de uniones metálicas viga superior - columna (b) Detalle comportamiento de uniones metálicas viga inferior - columna, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.	132
Figura 4-45:	Colocación de carga sobre muestra 1 para ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.	133
Figura 4-46:	Deflexión del muro sometido a ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.	133
Figura 4-47:	Modo de falla separación de bloques en el área interna del muro sometido a ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.	134
Figura 4-48:	Deformación del muro durante ensayo a carga distribuida, medidos con cinco deformímetros. Ensayo 3. Fuente: Autor.	134
Figura 4-49:	Flexión perpendicular al plano en función de la longitud más larga del muro ensayo 3 carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.	135
Figura 4-50:	Flexión perpendicular al plano en función de su longitud más corta ensayo 3 carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.	136

Figura 4-51: Configuración estructural de la estructura tipo vivienda construida por elementos prPEAD. Fuente: Autor.....	138
Figura 4-52: Sentido de aplicación de la fuerza del viento y sismo ilustrado en la vivienda de prPEAD a escala real. Fuente: Autor.....	139
Figura 4-53: Presiones de viento P_s (kN/m ²) sobre esquema de la estructura. Fuente: Autor.....	141
Figura 4-55: Envoltente de espectros por zona de amenaza sísmica para suelo tipo E, según NSR-10. Fuente: Autor.....	142
Figura 4-56: Identificación y enumeración de muros de la estructura en sentido X y Y. Fuente: Autor.....	143
Figura 4-57: Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los incrementos de carga durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	151
Figura 4-58: Comportamiento de la deriva en la estructura durante los incrementos de carga durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	152
Figura 4-59: Estado de carga en montaje durante incremento de carga cinco (ciclo de carga 5) en ensayo a carga lateral estática en estructura a escala real. Fuente: Autor.....	153
Figura 4-60: Detalle de bandeja con carga apoyándose en pedestal de concreto no tenido en cuenta para ensayo. Fuente: Autor.....	154
Figura 4-61: Desplazamiento de bloques unitarios entre si durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. (a) Luego de cargar ciclo de carga 3. (b) Luego de carga ciclo de carga 4. Fuente: Autor.....	155
Figura 4-62: Rotación en columna 1-a en pórtico #1 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	155
Figura 4-63: Rotación en columna 2 del pórtico #2 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	156
Figura 4-64: Rotación en columna 3 del pórtico #3 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	156
Figura 4-65: Levantamiento de equinas zona posterior de la estructura, zona posterior a zona de colocación de carga, durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	157
Figura 4-66: Nudo en parte superior de columna 3 del pórtico #2, durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	158
Figura 4-67: Estado de la estructura a escala real zona de carga durante periodo de espera entre proceso de CARGA y DESCARGA. Fuente: Autor.....	158
Figura 4-68: Estado de la estructura a escala real zona posterior en periodo de espera entre proceso de CARGA y DESCARGA. Fuente: Autor.....	159
Figura 4-69: Decrecimiento de carga y desplazamiento en pórticos durante ensayo de DESCARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	161
Figura 4-70: Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los decrecimientos de carga durante ensayo de DESCARGA a vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	163

- Figura 4-71:** Comportamiento de la deriva en la estructura durante los decrecimientos de carga durante ensayo de DESCARGA a vivienda a escala real. Fuente: Autor..... 163
- Figura 4-72:** Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los incrementos y decrecimientos de carga durante ensayo de CARGA y DESCARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor 164
- Figura 5-1:** Requerimientos energéticos en la fabricación de los elementos que conforman el sistema constructivo Brickarp®. Fuente: (44) (45) 174

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Propiedades físicas del PEAD. Fuente: (17)	8
Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del PEAD. Fuente: (17).....	8
Tabla 2-3: Distribución de agregados por tamaño. Fuente: (27).....	11
Tabla 2-4: Resultado de ensayos a concreto con alto contenido de material plástico reciclado. Fuente: (27).....	12
Tabla 2-5: Resultados de pruebas de infiltración. Fuente: (27)	13
Tabla 2-6: Dosificación de las mezclas de concreto con sustituto de material plástico reciclado. Fuente: (34).....	22
Tabla 2-7: Resistencia a compresión en relación con la incorporación de material plástico reciclado bajo tres condiciones de curado. Fuente: (34).....	24
Tabla 2-8: Resultados de ensayos a tensión en muestras de madera – plástica. Fuente: (41)	32
Tabla 2-9: Resultados de ensayos a compresión en muestras de madera – plástica. Fuente: (41)	32
Tabla 2-10: Resultados de Módulo de ruptura en ensayos de flexión en muestras de madera – plástica de 431,8mm. Fuente: (41)	33
Tabla 2-11: Resultados de Módulo de elasticidad equivalente en ensayos de flexión en muestras de madera – plástica de 431,8mm. Fuente: (41).....	34
Tabla 2-12: Resumen de cargas, condiciones y ejes de aplicación de viento. Fuente: (41)	35
Tabla 2-13: Resultado de análisis de elementos finitos con refuerzo de perfil tubular de 25,4x25,4x2,30mm. Fuente: (41).....	35
Tabla 3-1: Variables de estudio de la presente investigación	41
Tabla 3-2: Propiedades geométricas e identificación de vigas de cimentación y de remate con pestañas sometidas a flexión. Fuente: Autor	56
Tabla 3-3: Propiedades geométricas de viguetas 1,50m. Fuente: Autor.....	58
Tabla 3-4: Sección tipo de vigas acopladas de sección compuesta. Fuente: Autor.	59
Tabla 3-5: Cantidad de columnas y vigas de remate y cimentación que conforman la estructura tipo vivienda de prPEAD. Fuente: Autor.....	74
Tabla 4-1: Resultados de resistencia a tensión en muestras tipo probeta. Fuente: Autor.	91
Tabla 4-2: Resultados de resistencia a corte en muestras tipo lámina. Fuente: Autor.94	94
Tabla 4-3: Resultados de resistencia a corte en muestras tipo bloque. Fuente: Autor.95	95
Tabla 4-4: Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a cortante por metodología escogida tipo lámina.....	98

Tabla 4-5:	Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a compresión por bloques Brickarp con agujeros en ensayo a compresión. Fuente: Autor.....	99
Tabla 4-6:	Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a compresión por bloques Brickarp sin agujeros en ensayo a compresión. Fuente: Autor.....	99
Tabla 4-7:	Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 2,40m ensayadas a compresión. Fuente: Autor.	101
Tabla 4-8:	Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 1,60m ensayadas a compresión. Fuente: Autor.	103
Tabla 4-9:	Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 0,80m ensayadas a compresión. Fuente: Autor.	105
Tabla 4-10:	Resumen de resultados de valores característicos de esfuerzos máximos de cada tipo de columna sometida a ensayo a compresión. Fuente: Autor.....	108
Tabla 4-11:	Resumen de resultados de carga máxima, momento máximo en centro de luz y módulo de elasticidad para vigas de 1,16m. Fuente: Autor.....	110
Tabla 4-12:	Resumen de resultados de carga máxima, momento máximo en centro de luz y módulo de elasticidad para viguetas de 1,50m. Fuente: Autor.....	117
Tabla 4-13:	Propiedades físicas del material y propiedades geométricas de las vigas acopladas 1,50m de sección compuesta. Fuente: Autor.....	121
Tabla 4-14:	Resumen de resultados de carga máxima y momento máximo en centro de luz para vigas de 2,40m. Fuente: Autor.....	122
Tabla 4-15:	Resumen de los valores característicos de vigas a flexión. Fuente: Autor..	122
Tabla 4-16:	Resumen de resultados carga y desplazamiento máximos resistidos por muros a escala real durante ensayo a carga lateral estática. Fuente: Autor.....	127
Tabla 4-17:	Análisis estadístico de resultados de cargas máximas para los tres ensayos de carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.....	136
Tabla 4-18:	Presiones básicas de viento Ps10 y Presiones horizontales debido al viento Ps corregidas. Fuente: Autor.....	140
Tabla 4-19:	Cortante sísmico en la base. Fuente: Autor.....	142
Tabla 4-20:	Longitud de muros en sentido X y Y de la vivienda estudiada. Fuente: Autor.....	143
Tabla 4-21:	Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido X. Fuente: Autor.....	144
Tabla 4-22:	Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido Y Fuente: Autor.....	144
Tabla 4-23:	Comparación de fuerza resistente en muros de prPEAD vs sollicitación de cortante sísmico crítico según NSR-10. Fuente: Autor.....	146
Tabla 4-24:	Incremento de carga y desplazamiento en pórticos durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor.....	149
Tabla 4-25:	Cortante sísmico en la base calculado por zona de amenaza sísmica. Fuente: Autor.....	165
Tabla 4-26:	Longitud de muros en sentido X de la vivienda estudiada. Fuente: Autor...	166

Tabla 4-27:	Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido “X”.	
Fuente: Autor.	166
Tabla 4-28:	Cortante sísmico por unidad de longitud para el conjunto de pórticos.	
Fuente: Autor.	166
Tabla 4-29:	Comparación de cortante sísmico según NSR-10 y cortante resistente según prueba de carga lateral en vivienda a escala real de prPEAD en sentido de estudio X. Fuente: Autor 167
Tabla 4-30:	Resultados de valores característicos de las propiedades mecánicas estudiadas mediante ensayos a elementos de prPEAD. Fuente: Autor. 169
Tabla 4-31:	Comparación de resultados de las propiedades mecánicas estudiadas mediante ensayos a elementos de prPEAD con otras investigaciones nombradas en el estado del arte del presente documento. Fuente: Autor y (27), (29), (34), (38) y (41)....	170
Tabla 5-1:	Procesos de fabricación, gastos energéticos y gastos de materia para la fabricación de una vivienda con sistema Brickarp®. Fuente: (44) (45) 174
Tabla 5-2:	Gastos económicos para la obtención de elementos prPEAD (Unidad en pesos Colombianos). Fuente: (44) (45) 175
Tabla 5-3:	Comparación de propiedades mecánicas de elementos prPEAD y la madera. Fuente: Autor y (47).....	179

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
A	Área	m^2
A_{BET}	Área interna del sólido	$\frac{m^2}{g}$
A_g	Área transversal de la fase gaseosa	m^2
A_s	Área transversal de la carga a granel	m^2
A_1	Área número uno	mm^2
A_{total}	Área total del elemento	Mm^2
c	Longitud de la cuerda	m
D	Diámetro	mm
e	Espesor de lámina	mm
g	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$
h	altura	mm
L	Longitud	m
M	Masa total de la estructura	kg
Q	Calor	kJ
$P_{m\acute{a}x}$	Carga máxima	kN
T	Temperatura	K
t	tiempo	s
x_i	Fracción de la cantidad de materia	1
V	Volumen	m^3
V_{ensayo}	Velocidad de ensayo	mm/min
V_s	Cortante sísmico en la base	kN/m
$W_{W,i}$	Contenido de humedad de la sustancia i	1

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
•	Superficie de la sección transversal	
■	Superficie exterior o huella en tablón de madera plástica o superficie de tránsito	
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo máxima	kN/m^2

Subíndices

Subíndice	Término
E	Experimental
k	Condensado
Ma	Macroporos
P	Partícula
p	pirolizado
R	Reacción
t	Total
wf	Libre de agua
waf	Libre de agua y ceniza
0	Estado de referencia

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>PEAD</i>	Poli-etileno de alta densidad
<i>prPEAD</i>	Plástico reciclado de Polietileno de alta densidad
<i>WCC</i>	Curado en cámara húmeda
<i>OEC</i>	Curado al aire libre
<i>LCC</i>	Curado en condiciones de laboratorio
<i>Secc.</i>	Sección
<i>Esf.</i>	Esfuerzo
<i>Resist.</i>	Resistencia
<i>FICIDET</i>	Fundación para la investigación científica y el desarrollo tecnológico
<i>Brickarp®</i>	Bloque arquitectónico de plástico reciclado ¹
<i>FEMA</i>	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias
<i>prom</i>	promedio
<i>SUM</i>	Sumatoria

¹ Brickarp® es propiedad intelectual del inventor Fernando Llanos Gónima, patente Colombiana #566

Introducción

Los primeros materiales con propiedades afines a las del plástico de nuestros días, fueron fabricados con pezuñas de animales, caparazones de tortugas y cuernos de animales, con los cuales se producían artículos y accesorios de moda como peines y botones. (1)

En el año de 1860 Jhon Hyatt en Estados Unidos, fabricó un sustituto del marfil llamado “celuloide”, el cual fue el punto de partida hasta nuestros días a lo que hoy denominamos plástico. (2)

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y la industria a buscar moléculas diferentes pero sencillas que pudieran crear polímeros. En la década de los 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo calor y presión, formando un termoplástico al que denominaron polietileno, el cual dependiendo de la cercanía de cadenas moleculares, se clasifica como de baja, mediana o alta densidad. Este material ha presentado un espectacular desarrollo tecnológico a nivel mundial el cual tiene millones de aplicaciones a la vida moderna y mejora la calidad de vida. (1)

“La producción global de plástico para 2014 fue aproximadamente de 311 millones de toneladas” (3), es decir 622 veces el peso del edificio Burj Khalifa vacío (Peso edificio vacío aproximado 500.000T) (4) (5). La producción ha aumentado en las últimas décadas en un 8,60% lo que desencadena una preocupación global por la disposición final de éstos y la afectación al medio ambiente. (3)

De acuerdo con lo reportado por la Superintendencia de Sociedades (SIREM), entre 2011 y 2012 las ventas de la industria del plástico en Colombia movieron en promedio 3.491 millones de dólares, lo que significó un empuje en la economía nacional, con un crecimiento a una tasa anual del 6% entre 2008 y 2012, lo que quiere decir que el sector plástico es un estandarte en la economía nacional. Sin embargo existe la preocupación del

destino de estos residuos. Según SIREM el consumo anual en Colombia es de 20 kg por habitante, un consumo bajo frente a países desarrollados, donde el plástico ha sustituido diferentes materiales tradicionales llevando a un uso intensificado sin un adecuado reciclaje, convirtiéndose en una generación de desechos incontenibles, por lo cual buscar soluciones a estos desechos es una necesidad de la humanidad. (6) (7) (8)

Es tan grande el problema de los desechos de plástico en el mundo que existe una gran mancha de basura plástica en el océano pacífico y como éste en todos los océanos del mundo, es notoria la existencia de grandes acumulaciones de basura plástica, lo que ocasiona la afectación a cientos de especies de la vida marina. (9) (10)

Diversas organizaciones no gubernamentales como Plastic Disclosure Project y Plastic Pollution Coalition se dedican a vigilar y reducir el consumo del plástico en distintas partes del mundo ya que la eliminación del uso del material es imposible porque nuestra calidad de vida desmejoraría siendo los sustitutos son más costosos. Los EEUU fueron los primeros desde 1990 en tomar medidas legales para la reducción del consumo de plástico, en China legislaron en 2008 para que el comercio cobrara las bolsas desechables, lo que redujo este consumo en un 50% (11), Italia en 2011 prohibió las bolsas no biodegradables, Francia en 2015 prohibió las bolsas de un solo uso (12). En el sector de la construcción el plástico es utilizado en una amplia serie de aplicaciones que van desde aislamiento para tuberías y marcos de ventanas hasta el diseño interior de las edificaciones.

Por lo tanto así como lo es de beneficioso para nuestras vidas, igualmente afecta nuestro entorno si no hay un correcto reciclaje o destino final; ya que el medio ambiental tardará entre 100 y 1.000 años en degradarse (13).

Una de las mejores soluciones para reducir el impacto ambiental de la basura plástica es el reciclaje; ésta tarea se ha venido haciendo desde hace mucho tiempo y entre más se establezca la cultura del reciclaje, mayor será el aporte al medio ambiente. Mediante esta investigación exploratoria podremos realizar una contribución a la sostenibilidad mediante el estudio de factibilidad técnica del uso del plástico reciclado PEAD (prPEAD) para fabricar elementos estructurales para uso en vivienda. La materia prima utilizada de residuos plásticos se convierte en elementos al pasar por diferentes procesos como son:

clasificación, limpieza, trituración, lavado, secado, molienda, fundida, extrusión, encofrado en moldes, enfriamiento, desencofofre y corte o pulida. (14)

A diferencia de los países Europeos en Colombia existe poca conciencia respecto al reciclaje, y la legislación actual poco incentiva esta práctica; particularmente se han concentrado los esfuerzos en los residuos de construcción y demolición, donde ya existen unos inicios de normativas para controlar la disposición de estos residuos en las escombreras. Por lo tanto, la investigación que se plantea en este documento, puede ser un punto de partida para ayudar al planeta en el reúso de materiales y a su vez, se mejoran los ecosistemas, al reducir su carga de residuos, mediante el reciclaje, pero aún mejor que esto podremos aportar en la accesibilidad a vivienda en Colombia a personas de bajos recursos o ser solución en diferentes catástrofes, ya que estos sistemas con materiales reciclados resultan ser más económicos que los de materiales convencionales, su construcción es rápida, y se puede responder a necesidades de habitabilidad en caso de emergencias, igualmente puede ser sustituto para viviendas rurales; éste tipo de construcción brinda solución en todo el territorio colombiano con cualquier tipo de clima, ya que el plástico no se corroe, agrieta o es consumido por insectos. (8)

1.Objetivos

1.1 Objetivo General

Estudiar la factibilidad del uso de plástico reciclado PEAD como materia prima en la fabricación de elementos estructurales para la construcción de viviendas en Colombia.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar el estado del arte relacionado con el uso de plástico reciclado en elementos estructurales para la construcción de viviendas o edificaciones.
- Realizar ensayos de prueba sobre diferentes elementos estructurales elaborados con plástico reciclado PEAD y, evaluar la capacidad resistente última.
- Evaluar las propiedades físicas de los elementos a base de plástico reciclado PEAD ante cargas estáticas horizontales equivalentes a sollicitaciones sísmicas.

2.Estado del Arte

“Los plásticos son materiales sintéticos, derivados del petróleo, del carbón y de la celulosa de las plantas, que tienen la propiedad de deformarse, están formados por cadenas de moléculas muy largas que se llaman polímeros”. Los polímeros por su parte son macromoléculas constituidas por uniones repetitivas de muchos monómeros, mediante enlaces covalentes y formadas por reacción de polimerización. (15)

Las principales propiedades de los plásticos son: (16)

- La plasticidad o capacidad a deformarse
- Facilidad para recibir color
- Baja densidad
- Aislante térmico y eléctrico
- Resistencia a golpes
- Resistencia a corrosión y oxidación

El polietileno de alta densidad PEAD, es un tipo de plástico muy usado en la vida diaria, por ejemplo en la elaboración de envases plásticos desechables para almacenar alimentos, detergentes, en artículos para el hogar, en juguetes, en cascos, en tubería para distribución de agua potable, entre otros. Este material fue usado en esta investigación como materia prima de los elementos estructurales estudiados, por lo tanto algunas de las propiedades físicas y mecánicas del PEAD se presentan en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Tabla 2-1: Propiedades físicas del PEAD. Fuente: (17)

Propiedades Físicas del PEAD	Unidad	Valor
Densidad	kN/m ³	9,41 – 9,65
Absorción de agua	mg a 96 h	<0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión	N/mm ²	18 – 35
Elongación punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto ranurado ¹		
A 20 C	kJ/m	No rompe –6
A –20 C	kJ/m	>5
Temperatura de defección		
1.86 N/mm ²	C°	50
0.45 N/mm ²	C°	75
Resistencia dieléctrica	kV/cm	>600

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del PEAD. Fuente: (17)

Propiedades	Unidad	Valor
Coefficiente de Fricción		0,29
Dureza – Rockwell		D60-73 – Shore
Módulo de Tracción	GPa	0,5-1,2
Relación de Poisson		0,46
Resistencia a la Tracción	MPa	15-40
Resistencia al Impacto Izod	J m ⁻¹	20-210

El plástico PEAD, se considera de reciclaje secundario y se identifica con el número 2 rodeado de tres flechas continuas formando un triángulo, como se observa en la Figura 2-1; existen dos tipos, el grado textil y el grado botella.



Figura 2-1: Símbolo de reciclaje de plástico PEAD. Fuente: (18)

El PEAD reciclado es comúnmente utilizado por la industria del plástico para reducir costos en la fabricación de productos agregando porcentajes de este residuo combinado con

PEAD virgen o trabajando a 100% con este material reciclado. El abanico de posibilidades de uso del PEAD reciclado es grande, pueden ser utilizados para crear desde envases hasta tuberías para agua potable, entre muchos otros.

La industria del plástico a lo largo de la historia ha desarrollado innovaciones que mejoran la calidad de vida del ser humano. Sin embargo, “el 99% de la totalidad de plásticos se produce a partir de combustibles fósiles, lo que provoca una excesiva presión sobre las limitadas fuentes de energía no renovables” (19). Los plásticos suponen una contaminación estética y un problema de obstrucción de tuberías, canalizaciones y procesos industriales y de tratamiento de aguas. Asimismo, pueden causar alteraciones en el suelo al no degradarse con facilidad si se depositan sobre él o si son enterrados. Los polímeros abandonados, si no se mueven durante un tiempo, provocan además un efecto invernadero sobre la parte de suelo cubierta, calentándolo y reteniendo el calor. Es evidente que el acopio y el reciclado de estos productos parece ser acorde en todo punto con una política general de desarrollo sostenible (20).

La ONU (1987) define “el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, por lo cual el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo” (21). Basados en estas preocupaciones mundiales, en 1992 se celebró en Rio de Janeiro la conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el medio ambiente y el desarrollo donde surgieron los principios fundamentales y el programa de acción para lograr el desarrollo sostenible (22).

La industria de la construcción es la que más recursos naturales consume, al tiempo que contribuye a la contaminación y generación de desechos, afectando ecosistemas y contribuyendo al cambio climático (23) (24). Por lo tanto es necesario buscar e implementar soluciones encaminadas al desarrollo sostenible, para reducir el uso de recursos no renovables en las industrias de la construcción y de plásticos.

2.1 Plástico Reciclado: Como sustituto de agregados pétreos

La utilización de los agregados pétreos en el sector de la construcción se ha desarrollado desde el uso de razón del ser humano, mediante el uso de rocas para construir refugios. En la actualidad, su uso intensificado hace que sea cada vez más escaso, aumente su precio y por lo tanto el producto final para el cual se utiliza. Comunidades, organizaciones, entes gubernamentales y estatales de todo el mundo han puesto su mira en buscar soluciones para una posible sustitución de estos por otros materiales de bajo costo, pensando de igual forma en el desarrollo sostenible que según Teram (1996) consiste en la adaptación del entorno de los seres humanos a un factor limitante: la capacidad del entorno de asumir la presión humana de manera que sus recursos naturales no se degraden irreversiblemente (25).

En Argentina se han llevado a cabo investigaciones que buscan la sustitución de agregados pétreos por plásticos reciclados como la llevada a cabo por Gaggigo (2007), quien desarrolló una técnica constructiva en la ciudad de Córdoba, Republica de Argentina con la cual plantea el uso de material plástico reciclado de polietileno tereftalato PET y film para envoltorio de alimentos como sustituto total de agregados en la construcción de bloques, ladrillos y losetas, para la elaboración de muros de cerramiento NO portantes dentro de viviendas económicas tradicionales. “Para la fabricación de los elementos constructivos se utiliza un procedimiento similar al de elaboración de un concreto común, pero reemplazando áridos por plásticos reciclados” (26).

El uso del plástico como reemplazo de agregados pétreos en mezclas de concreto común es eficiente, económico, fácil de desarrollar y sostenible ya que se retira del ambiente residuos plásticos, también genera accesibilidad a viviendas a personas de bajos recursos, además es un gran paso para el cambio a sistemas constructivos sostenibles, a pesar del uso de concreto para cimentación, vigas y muros portantes con materiales tradicionales. (26).

Para toda investigación científica es bueno tener un patrón de referencia. Elzafraney (2005) realizó una investigación en Lansing, Michigan a gran escala con la construcción de dos edificios cuya única diferencia se encontraba en la dosificación de concreto ya que en uno de éstos utiliza un concreto convencional como patrón de referencia y en el otro usa plástico reciclado (residuos triturados mixtos en diámetros entre 0.84 y 13mm de polietileno de alta densidad HDPE, policloruro de vinilo PVC y polipropileno PP proveniente de basureros) como sustituto a los agregados como variable de estudio. En esta investigación, adicionalmente se utilizó el software SUNREL, para simular la eficiencia energética de los dos edificios y la validación de los datos experimentales. Cabe resaltar que para las mezclas con plástico reciclado se realizaron mezclas de prueba y ajustes en las diferentes etapas del proyecto para satisfacer las diversas necesidades a lo largo de la construcción del edificio, incluyendo la fuerza, la capacidad de bombeo, y la capacidad de acabado. (27)

A continuación en la Tabla 2-3 se muestra los porcentajes acumulativos para cada tipo de agregado utilizado en la mezcla de concreto de la investigación de Elzafraney (2005).

Tabla 2-3: Distribución de agregados por tamaño. Fuente: (27)

Tamaño de tamiz (mm)	Porcentaje acumulativo para el tipo de agregado %			
	Caliza	HDPE	PVC	PP
13,00	19			
10,00	29			
6,40	51	7,5	0,06	1,4
4,70		38	7,2	18
3,40	80	73	63	58
2,00	91	93	94	97
0,84		97	95	99

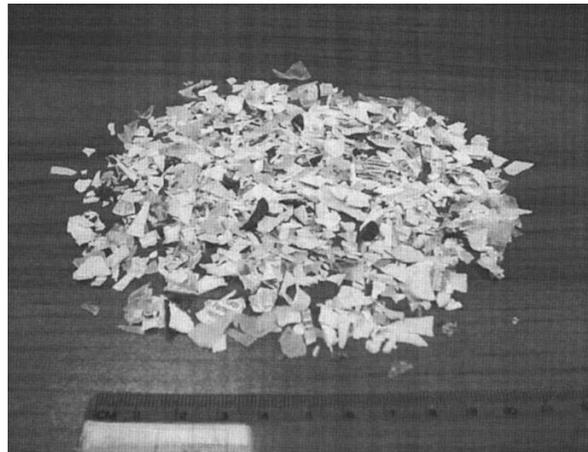


Figura 2-2: Muestra de plástico como sustituto de agregados en mezcla de concreto.
Fuente: (27).

En la construcción de los edificios se realizaron ensayos convencionales a los dos concretos, en la tabla Tabla 2-4 se muestran los resultados de diferentes ensayos al concreto con alto contenido de plástico reciclado.

Tabla 2-4: Resultado de ensayos a concreto con alto contenido de material plástico reciclado. Fuente: (27)

Propiedad	Norma	Promedio	Desviación estándar
Esfuerzo a compresión (MPa)	ASTM C39	16,86	0,75
Resistencia a la primera grieta (Número de golpes)	ACI Comité 544	51,0	27,40
Resistencia a la falla por impacto (Número de golpes)	ACI Comité 544	61,67	5,48
Peso específico aparente	ASTM C642	1,95	0,01
Capacidad de absorción de agua (%)	ASTM C642	6,97	0,31
Resistencia a la flexión (MPa)	ASTM C78	3,57	0,19
Absorción de energía a la flexión (N*mm)	ASTM C1018	6.928	1.674

El asentamiento (ASTM C143) y contenido de aire (ASTM C231) se midieron para las dos mezclas con resultados como:

- Asentamiento: Observándose una diferencia entre 60 y 45mm para el concreto normal y de alto contenido de plásticos reciclados respectivamente.
- Contenido de aire: Observándose una diferencia entre 6% y 10.5% para el concreto normal y de alto contenido de plásticos reciclados respectivamente. (27)

En la Tabla 2-5 se muestran los resultados de ensayos de estanqueidad del aire y la infiltración; el área de fuga equivalente (ELA: equivalent leakage area) es 637,5 cm² para el edificio de concreto con plástico reciclado y 450 cm² para la construcción de concreto normal, lo que indica que la cobertura de cada edificio está relativamente estanco en comparación con la práctica estándar y que el edificio de concreto normal parece ser más restringido que el edificio de concreto con plástico reciclado. Sin embargo, el cambio en los resultados entre los dos edificios se puede atribuir a las diferencias en la estanqueidad de puertas, ventanas y otras aberturas. (27)

Tabla 2-5: Resultados de pruebas de infiltración. Fuente: (27)²

Propiedad	Edificio del norte (concreto plástico reciclado)	Edificio del Sur (concreto normal)
Área de fuga equivalente a 4 Pa (m ²)	637,5	450,0
Coefficiente de flujo	114,8	171,5
Exponente de flujo	0,57	0,55

Luego de comparar y analizar los resultados arrojados por los estudios en los dos edificios se pudo encontrar que el edificio construido con concretos incorporando los agregados de plásticos reciclados utiliza un 8% menos de energía para la calefacción anual en comparación con el edificio de concreto normal en el ambiente de Lansing, Michigan (U.S.A.). “Estos ahorros de energía son generados principalmente por el menor grado de conductividad térmica del concreto con áridos reciclados”, por lo tanto es ventajoso desde

² El área de fuga equivalente o ELA bajo ensayo a 4 Pascales

el punto de vista energético la inclusión de plásticos reciclados como sustitutos de los agregados (27).

El uso de materiales que puedan sustituir los agregados pétreos plantean soluciones a necesidades de tipo ingenieril, Noor Hasanah (2014) investigó el uso de mallas celulares creadas con materiales de plásticos reciclados para ser usadas en el mejoramiento de los suelos, terraplenes y servir de soporte a capas o placas de rodamiento como se observa en la Figura 2-4.

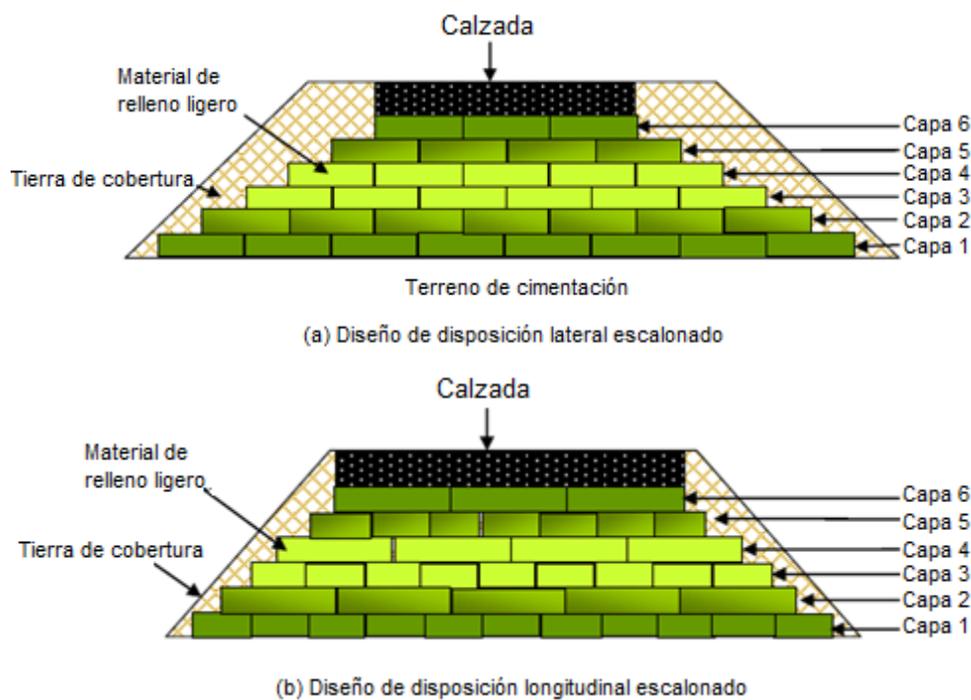


Figura 2-3: Ejemplos de propuestas de mallas celulares fabricadas con plástico reciclado para uso en vías vehiculares. (a) Disposición de diseño lateral escalonado. (b) Disposición de diseño longitudinal escalonado. Fuente: (28).

Los tipos de plástico utilizados en la investigación fueron propileno (PP) y poliestireno (PS) reciclados y se escogieron debido al menor gasto de energía al proceso de fusión térmica. El proceso inicial para formar las mallas celulares fueron la fabricación por extrusión en forma tubular, luego estos tubos se agruparon y se les aplicó carga y calor hasta su temperatura de fusión de 160°C para poder obtener la forma octagonal o hexagonal de baja densidad relativa (menores a 0,03) como se observa en la Figura 2-4; ésta densidad

de las mallas puede ser controlable mediante el espesor de las paredes de los elementos tubulares formados inicialmente. Las mallas celulares al instalarse en un terraplén disminuyen los asentamientos debido al peso propio del suelo que conforma el terraplén, también reducen los asentamientos diferenciales entre las mallas celulares instaladas en el terreno y debido a que la estructura es celular, permite la disipación de presión de poros ayudando a acelerar la consolidación dentro de la sub-base. (28)

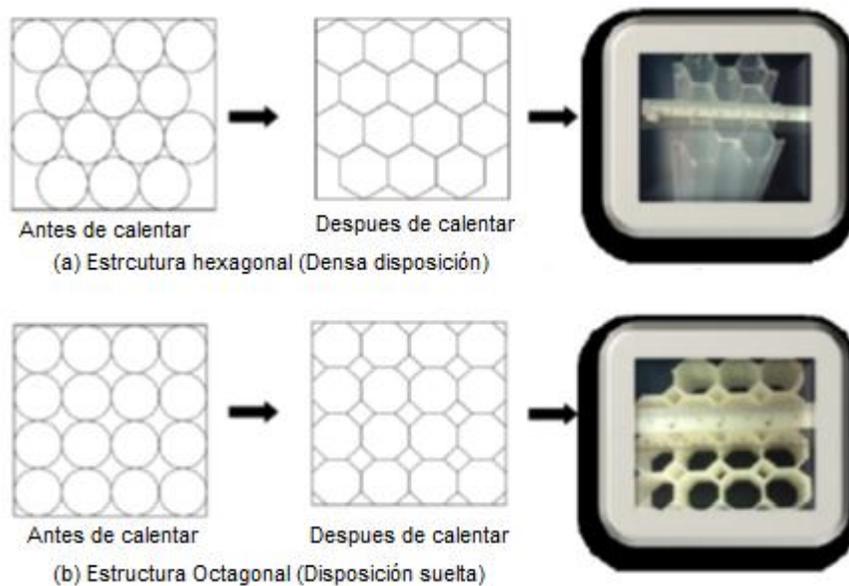


Figura 2-4: Muestra de plástico como sustituto de agregados en mezcla de concreto.

Fuente: (28)

2.2 Plástico Reciclado: Uso en elementos estructurales

El uso del plástico reciclado en la construcción de viviendas fue investigado por Edgar Salazar en 2014 como una solución de accesibilidad a vivienda para sectores vulnerables y de bajos recursos, viviendas aproximadamente 21% más barata que una vivienda de interés social en Colombia, mediante la creación de una vivienda de impacto ambiental positivo ya que sus elementos que la conforman son fabricados 100% con prPEAD. Este tipo de construcción puede ser ensamblado de distintas formas y con personas sin capacitación más que el conocimiento de los distintos elementos, los cuales son bloques y columnas, que al ser trabados entre sí, debido a su forma conforman muros portantes, y

a su vez, el conjunto de éstos la vivienda como se observa en la Figura 2-5 y en la Figura 2-6. (29)

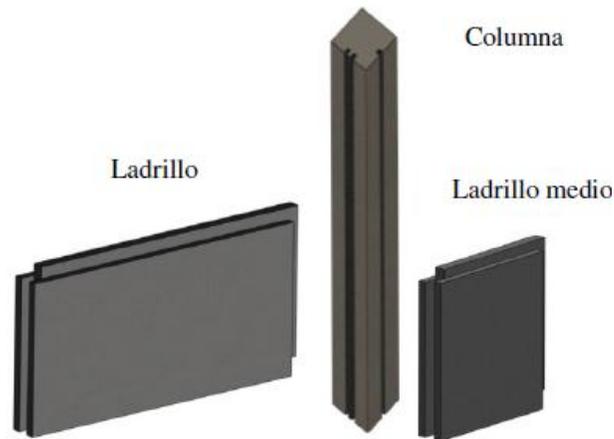


Figura 2-5: Formas de ladrillos (bloques) y columnas. Fuente: (29).



Figura 2-6: Módulo de vivienda construido. Fuente: (29).

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se pudieron crear elementos con resistencias promedio máximas de 38MPa en ensayos a compresión y de hasta 15,5MPa en ensayos a la tracción, obteniendo un mejor desempeño que en concretos convencionales mínimos de 21MPa. Sin embargo las propiedades se vieron afectadas por un abanico de resultados con gran dispersión, debido a la presencia de vacíos o burbujas internas generadas en la extrusión y refrigeración de los elementos; como se observa en la Figura 2-7. (29)

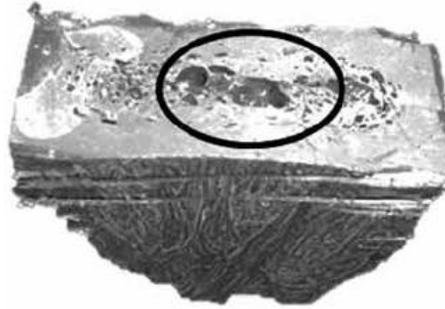


Figura 2-7: Muestra de plástico extruido, presencia de grietas y vacíos. Fuente: (29).

Igualmente se evaluó en el material la capacidad de transmisión térmica, el ensayo se realizó según la ASTM C177-10 obteniéndose resultados $K = 0,24 \text{ W/mK}$, valor que se encuentra por debajo de los materiales tradicionales como ladrillo de arcilla, cemento endurecido y concreto (29).

Adicionalmente se estudiaron las propiedades de aislamiento acústico de manera empírica mediante un sonómetro, fuera de la norma ASTM 423 90a, pero presentando valores aceptables, por lo que es un punto de partida para creer que el material podría ser considerado para un estudio con la norma mencionada y determinar la posibilidad para usos en aislamientos acústicos. (29).

También se realizaron pruebas para conocer porcentajes de absorción de los materiales fabricados mediante la norma NTC 4017 que rige para ladrillos de mampostería, entonces se ensayaron 3 muestras de plástico reciclado con dimensiones de $288 \times 183 \times 50 \text{ mm}$ y peso de 250 g dando como resultados promedios porcentaje de absorción de 3,80 %, cumpliendo la norma ya que ésta establece como máximo 13 % el porcentaje de absorción; lo cual quiere decir que el modulo habitacional o vivienda construida proporciona una buena protección contra la intemperie. (29).

El aprovechamiento del plástico reciclado triturado (LDPE - polietileno de baja densidad, BOPP - polipropileno bi-orientado y PVC - cloruro de polivinilo) combinado con resina de poliéster náutico fue usado por GAGGINO (2012) para la fabricación de paneles en frío, quien realizó estudios a sus propiedades físicas, con el objetivo de desarrollar elementos de construcción, paneles como muros divisorios, revestimiento de muros, listones juntas

para mueble; debido a que en el mercado actual hay diferentes materiales para aplicaciones similares, GAGINO comparó con: Tableros de partículas sin recubrir, Tablero de MDF sin recubrir (fibra de densidad media), Tablero MDF recubierto con melamina, OSB (Oriented Strand Board), Tablero fenólico, Tablero contrachapado. (30)

Comparó de igual forma los resultados de las investigaciones de Panel con fibras de madera y polipropileno, desarrolladas por Wechslera y Hiziroglu 2007, Panel con partículas de madera y polipropileno, desarrolladas por Wechslera y Hiziroglu 2007, Panel con harina de madera y polietileno de alta densidad, desarrollado por Adhikary 2008, Panel con gránulos de bambú y cloruro de polivinilo, desarrollado por Wang 2008. Llegándose a resultados de resistencia a la compresión paralela a las fibras de 50,43 MPa basado en la norma NBR 7190 y resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de 91,24 MPa según la misma norma, densidades superiores a 12,21kN/m³ siguiendo la norma IRAM11561, absorción de agua menores de 0.46% siguiendo la norma IRAM 12528, cero incremento del espesor por el agua (0%) siguiendo la norma DIM68761 a la de tableros convencionales y resultados de otros paneles no convencionales realizados por otros autores. Como la resistencia a la flexión perpendicular a las fibras de 12,11 MPa según la norma NBR7190 similar a MDF recubierto con melamina, pero superior a tres de éstos productos convencionales e inferior a los resultados de otros paneles no convencionales realizados por autores; resistencia a la tracción perpendicular de 1,31 MPa según la norma NBR 7190 y módulo de elasticidad en paralelo a la fibra de 8461 MPa según la norma NBR 7190 menor que los tableros convencionales. (30)

Gaggino estudió la resistencia por envejecimiento simulando el paso de 4,60 años alternando ciclos de luz ultravioleta y humedad durante 400 horas, posteriormente se determinó la resistencia a flexión, la cual “se redujo en 60 % con el envejecimiento, y una decoloración de la superficie, el desprendimiento parcial de las partículas y la hinchazón parcial en los especímenes”. También se determinó que este producto no es adecuado para el uso al aire libre debido a baja resistencia contra rayos ultravioleta. Según Gaggino al compararlos desde punto de vista de costos, es similar al MDF recubierto con melamina pero el uso de material plástico reciclado combinado con resina de poliéster náutico, está “condicionado totalmente por la posibilidad de obtener la materia prima principal”, sin embargo cumple y crea una solución al aprovechamiento de residuos (30).

Entidades no gubernamentales aceleran el paso en el uso de material plástico reciclado para ser usados como elementos estructurales, incentivando y previendo el futuro del mercado de los residuos plásticos. Axion International, Inc desde 1.988 desarrolla productos como: traviesas para vías ferroviarias, pilas, barandas y vigas para puentes de hasta 7,60m de longitud mediante el uso de elementos estructurales compuestos como se observa en la Figura 2-8, Figura 2-9 y Figura 2-10, a partir de polietileno de alta densidad (PHDE) reciclado; CHANDRA (2.012) establece una guía para el diseño de estas estructuras a partir de los elementos ofrecidos por esta compañía, quienes en 2.011 construyeron el primer puente con elementos 100% de plástico reciclado (elementos unidos por medio de pernos) en vía pública en el estado de New York (Estados Unidos). (31) (32)



Figura 2-8: Traviesa en vía férrea fabricadas con plástico reciclado. Producto: Ecotrax
© RailRoad Ties. Fuente: (31) (32) (33)



Figura 2-9: Vigas fabricadas con plástico reciclado usadas en puentes. Producto: Struxure ® Beans. Fuente: (31) (32) (33)



Figura 2-10: Conformación de un puente con elementos estructurales fabricados con plástico reciclado. Productos: Struxure ® Beans. Fuente: (31) (32) (33)

El material plástico reciclado puede ser considerado como un sustituto parcial o total del concreto reforzado o de elementos metálicos o de madera en diferentes estructuras, el uso de estos materiales plásticos reciclados tienen algunas mayores ventajas que los materiales convencionales, entre ellas la resistencia a agentes químicos o corrosión, aunque una de sus desventajas es el coeficiente de expansión que es 5 veces mayor, éste coeficiente se verificó mediante ensayos en laboratorio estableciendo una expansión térmica del material compuesto termoplástico en valores de $5,076 \times 10^{-5}$ pulg./pulg*°C⁻¹;

mientras que para propiedades como la conductividad térmica y calor específico de los elementos fabricados con material plástico reciclado son muy similares a las propiedades de la madera. (31) (32)

Según Ferreira (2011) las diferentes propiedades del concreto fresco y endurecido dependen en gran medida de las condiciones de curado, la relación agua cemento y las características de los agregados, por lo que estudió la influencia de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de concretos con contenido de agregados de plástico reciclado en tasas de sustitución de 0%, 7,50% y 15% con respecto a los agregados pétreos como se muestra en la Tabla 2-6 de dosificaciones, para tres tipos de agregados plásticos PET como se observa en la Figura 2-11, provenientes de triturado de botellas plásticas recicladas (PET y PEAD); dos de los tres tipos de agregado plástico (material Pc y Pf) se diferenciaban por tener tañamos diferentes pero su forma era similar al ser laminar irregular, mientras que el tercer tipo de agregado plástico (material Pp) tenía forma granular cilíndrica proveniente de post-tratamiento de los dos primeros tipos de agregado mencionados. (34)

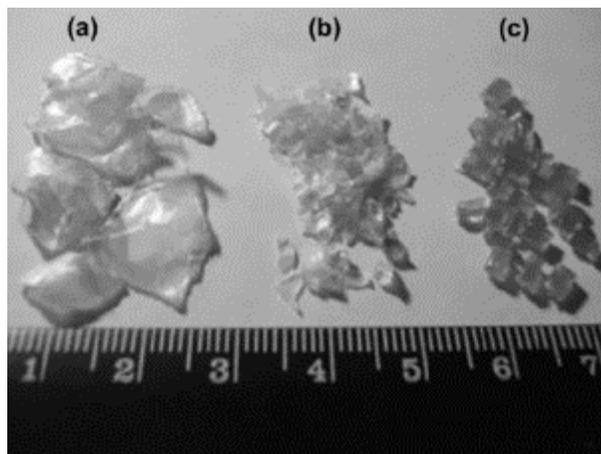


Figura 2-11: Tipos de plástico usados en la investigación por FERREIRA (2.011). (a) Pc, (b) Pf y (c) Pp. Fuente: (34)

Tabla 2-6: Dosificación de las mezclas de concreto con sustituto de material plástico reciclado. Fuente: (34)

Mezcla de concreto	Cemento (kN/m ³)	Agua (kN/m ³)	Agregado Natural (kN/m ³)		Agregado plástico (kN/m ³)			A/C
			Grueso	Fino	Pc	Pf	Pp	
RC	3,50	1,89	10,031	8,01	-	-	-	0,53
C7,5Pc	3,50	2,135	8,55	7,504	0,611	-	-	0,61
C7,5Pp	3,50	1,855	10,08	6,684	-	-	0,669	0,53
C15Pp	3,50	1,785	10,186	5,374	-	-	1,351	0,51
C7,5Pf	3,50	1,96	9,927	6,60	-	0,642	-	0,56
C15Pf	3,50	2,10	9,271	5,167	-	0,126	-	0,6

Ferreira (2011) encontró que independientemente del tipo de curado, tiempo de curado y tipo de agregado plástico, la resistencia a la compresión, la tracción indirecta y el módulo de elasticidad disminuyen en comparación con el concreto de control o de referencia. Pero también encontró que la forma, el tamaño y la rugosidad de las partículas de los plásticos utilizados demostraron tener influencia en la consistencia de la mezcla, ya que mientras las mezclas con material Pc y Pf conducen a un aumento en la relación agua/cemento para alcanzar el asentamiento establecido para todas las mezclas de $130 \pm 10\text{mm}$ como se muestra en la Figura 2-12, las mezclas con material Pp promueven la trabajabilidad de la misma donde es añadido. (34)

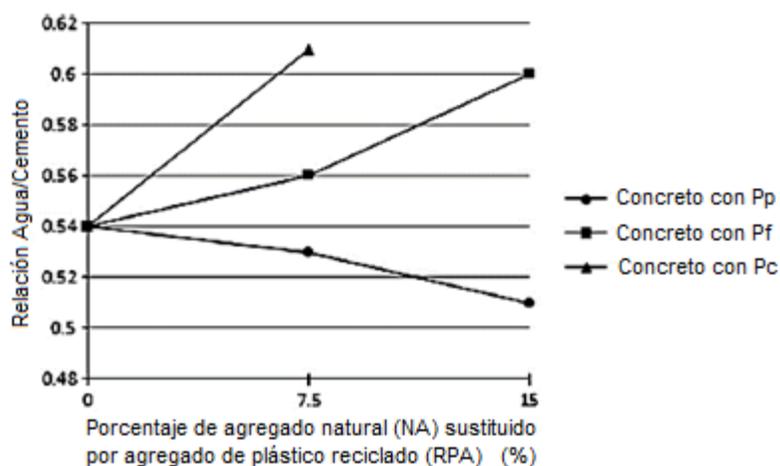


Figura 2-12: Representación gráfica de la relación agua/cemento y la incorporación de material plástico reciclado. Fuente: (34)

Al estudiar la densidad del concreto fresco para las mezclas con incorporación de material plástico reciclado se encontró una disminución más pronunciada para las mezclas con material Pc y Pf que para las mezclas con material Pp, sin embargo en comparación con mezclas sin incorporaciones de material plástico reciclado sigue siendo menor, como se aprecia en la Figura 2-13. (34)

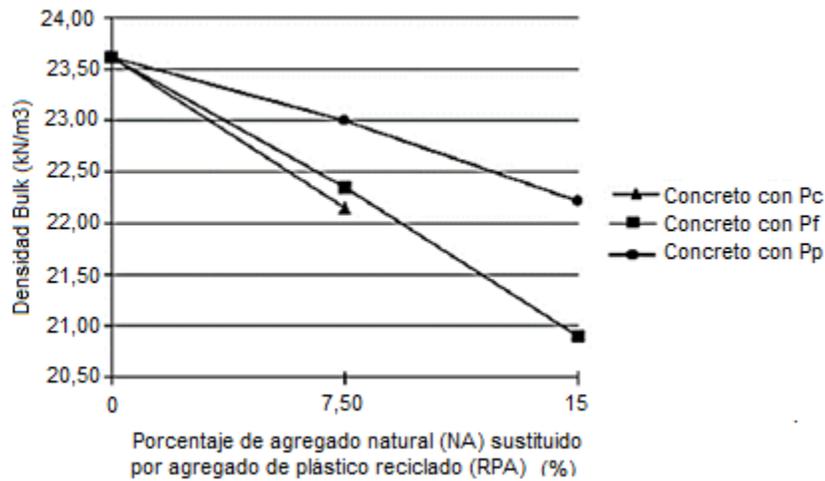


Figura 2-13: Densidad del concreto fresco en función de la incorporación de material plástico reciclado. Fuente: (34)

Luego de endurecido el concreto se realizaron ensayos a compresión a los 7, 28 y 56 días, los resultados revelaron que esta propiedad disminuye en comparación del concreto convencional independientemente del tipo de plástico incorporado y del tiempo o tipo de curado, debido a la aspereza y poca afinidad con el agua de los materiales plásticos, ya que estos repelen el agua y limitan la hidratación del cemento en la interfaz plástico reciclado/cemento matriz. (34) (35)

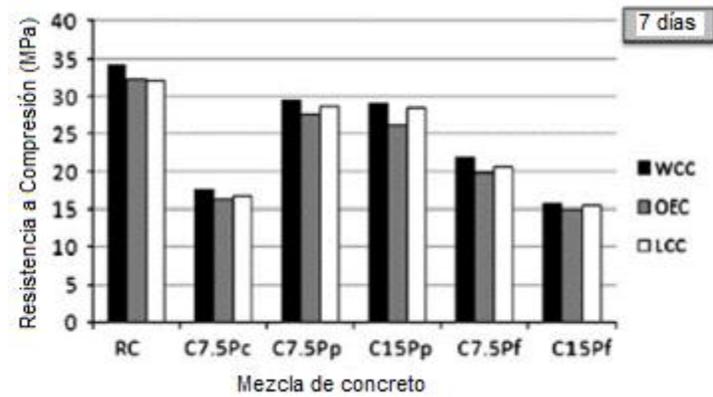
A continuación en la Tabla 2-7 se muestran los resultados promedio de la resistencia a compresión para los distintos tipos de concreto curados por medio de tres condiciones diferentes, las cuales fueron: Curado en cámara húmeda (WCC); curado al aire libre (OEC) y curado en condiciones de laboratorio (LCC).

Tabla 2-7: Resistencia a compresión en relación con la incorporación de material plástico reciclado bajo tres condiciones de curado. Fuente: (34)³

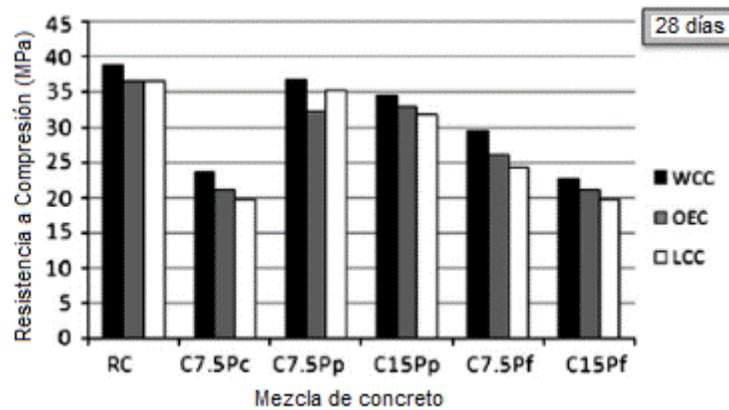
Edad de ensayo	f _c en concreto convencional (MPa)	f _c en concreto con incorporación de material Pc al 7,50% (MPa)	f _c en concreto con incorporación de material Pf al 7,50% y 15% (MPa)	f _c en concreto con incorporación de material Pp al 7,50% y 15% (MPa)
7 días	33 - 34	16 - 18	15 - 23	26 - 29
28 días	37 - 38	19 - 24	19 - 29	32 - 37
56 días	40 - 47	23 - 28	19 - 34	37 - 43

De igual forma a medida que se aumenta el porcentaje de material plástico reciclado la resistencia a la compresión disminuye para las tres condiciones de curado WCC, EOC y LCC como se aprecia en la Figura 2-14. Por otro lado el tamaño de las partículas también influye en la resistencia a compresión ya que se encontró que los concretos con material Pc al ser más grandes provocan aumento de la porosidad y disminuyen notablemente la resistencia a la compresión en comparación con el concreto con material Pf de menor tamaño pero forma similar. (34)

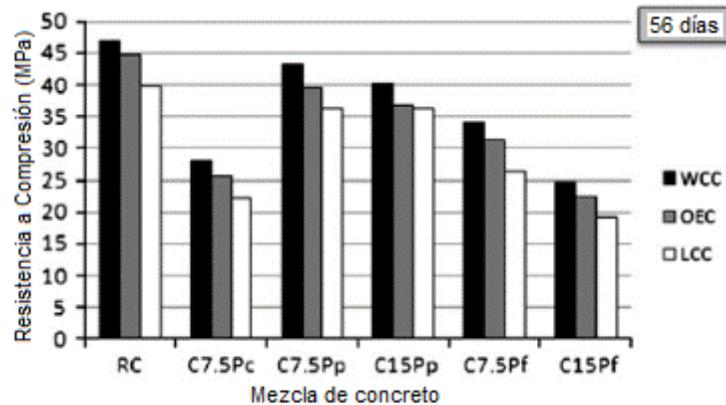
³ En la Tabla 2-7 no se discriminan las condiciones de curado: WCC Curado en cámara húmeda; OEC Curado al aire libre y LCC Curado en condiciones de laboratorio. Solo se muestra la variabilidad de las resistencias por tipo de material plástico reciclado.



(a)



(b)



(c)

Figura 2-14: Relación de esfuerzo a la compresión en concretos con materiales plásticos (a) edad de 7 días; (b) edad de 28 días y (c) edad de 56 días bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)

Otra de las propiedades estudiadas por FERREIRA (2.011) fue la resistencia a la tracción del concreto, el módulo de elasticidad y la resistencia a la abrasión, respecto a estas tres propiedades, éstos resultados disminuyeron a medida que se incrementaba el material

plástico en la mezcla como se muestra en la Figura 2-15 para resistencia a la tracción, Figura 2-16 para módulo de elasticidad y Figura 2-17 para resistencia a la abrasión. (34)

Los resultados de resistencia a tracción en concretos con material plástico variaron entre 1,60 y 2,80 MPa, pero para el concreto sin material plástico la resistencia a la tracción arrojó mayores resultados de 2,90 a 3,30 MPa. Los resultados de módulo de elasticidad en concretos con material plástico variaron entre 18 y 33 GPa, mientras para el concreto sin material plástico el módulo de elasticidad arrojó mayores resultados de 33 a 38 GPa; independientemente de las condiciones de curado, la mayor pérdida de módulo de elasticidad en términos del porcentaje de plástico incorporado lo registran los concretos con material Pc y la pérdida de módulo de elasticidad más baja se presenta para las muestras con material Pp. Esto podría reflejar las diferencias en las relaciones A / C y la consecuente discrepancia en la porosidad de las mezclas. Mientras para la resistencia a la abrasión los resultados fueron variables según la condición de curado pero aun así fueron inferiores al concreto sin material plástico. (34)

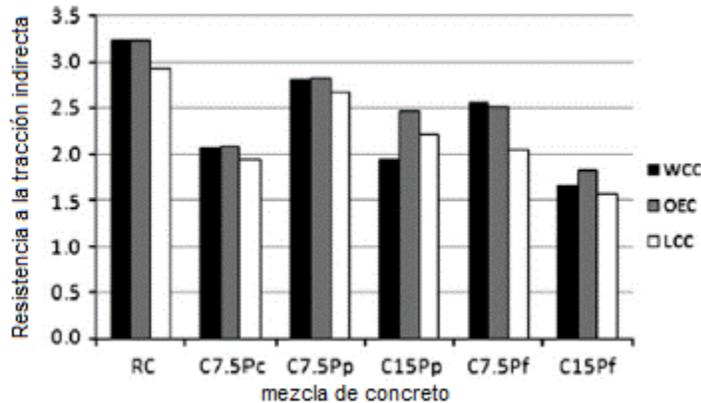


Figura 2-15: Relación de esfuerzo a la tracción indirecta en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)

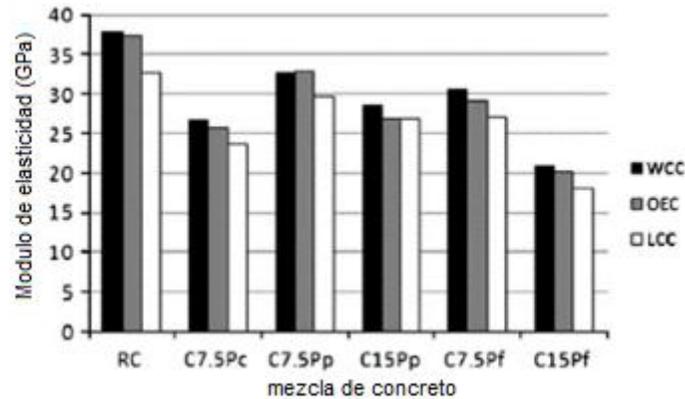


Figura 2-16: Relación de módulo de elasticidad en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)

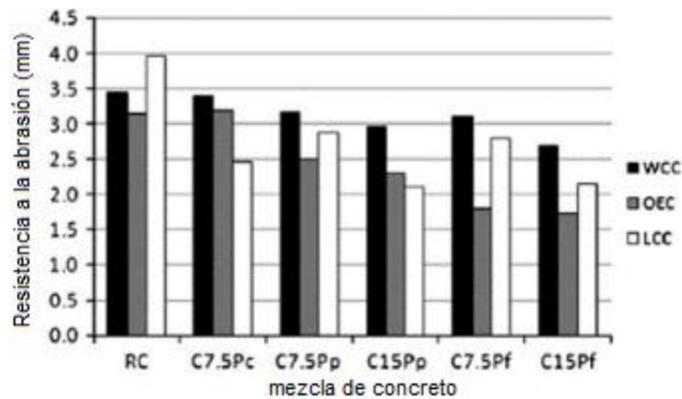


Figura 2-17: Relación de resistencia a la abrasión en concretos con materiales plásticos bajo condiciones de curado WCC, OEC y LCC. Fuente: (34)

2.3 Plástico Reciclado: Uso en elementos de madera plástica

“Con el crecimiento demográfico aumenta la demanda de numerosos productos, mientras los recursos forestales disminuyen como consecuencia de excesos de explotación, deforestación, o por la conversión definitiva a otros tipos de uso de la tierra...”. (36) Por lo tanto la madera plástica es una solución a estas necesidades ya que es un material fabricado a partir de residuos de madera o sin ella y con plásticos 100% reciclados luego de un proceso de selección de modo tal que se aprovechen las ventajas estéticas y calidez

de la madera natural pero mejorando sus propiedades de alta durabilidad sin mantenimiento al incorporar las ventajas del plástico. (37)

La madera plástica se utiliza actualmente como sustituto en sectores de transporte en el uso de estibas, en el sector de la construcción como pisos sustitutos de madera pero aun así, “la comunidad mundial está muy preocupada por el uso sostenible de los recursos naturales por parte de las generaciones presentes y futuras, y por la calidad del medio ambiente. Tiende a crearse una ética ambiental; se habla, por ejemplo, cada vez más de «usar sin abusar» los recursos; de «no forzarlos»; de «reutilizarlos»; de «hacer más con menos»” (36)

En búsqueda de un desarrollo ambientalmente sostenible, la utilización del plástico combinado con madera o la sustitución de madera por elementos plásticos ha cobrado importancia desde el siglo XX, Breslin (1998) construyó un muelle de madera en el Centro de Conservación de West Meadow, Campo Viejo, NY y solo en la pasarela o superficie superior de contacto se utilizaron tablones de madera plástica fabricados con polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado suministradas por TRIMAX, Ronkonkoma, NY, como se observa en la Figura 2-18, estudiándose las propiedades mecánicas de cada uno de los tablones de madera plástica tomando muestras de éstos, durante un periodo de dos años. Realizando un análisis dimensional de las maderas plásticas antes de instalar los tablones y posterior al uso durante dos años, se observó que la variabilidad dimensional resultó entre 4,80 y 6,40 mm menor que el valor especificado. A la superficie de los tablones se realizó ensayo de dureza determinando un valor aproximadamente de 60 ± 2 mediante un durómetro tipo D, mientras que la superficie transversal un valor aproximadamente de 30 ± 2 como se muestra en la Figura 2-19 y se observó variabilidad individual entre 22 ± 16 y 36 ± 9 , la variación de estas propiedades se atribuyó a la estructura interna porosa, la cual se vuelve más densa hacia la superficie exterior. (38)

“La presencia de estos vacíos es más probablemente el resultado de la refrigeración diferencial de los polímeros en las partes exterior e interior de la madera (madera-plástica) y la presencia de humedad en el plástico utilizado en la fabricación de la madera (madera-plástica)”. (39) “Cuando el plástico se calienta en la extrusora, el agua se vaporiza

formando burbujas en la mezcla. Como la madera extruida se enfría, la humedad vaporizada es atrapada dentro de la madera (madera-plástica)". (40)

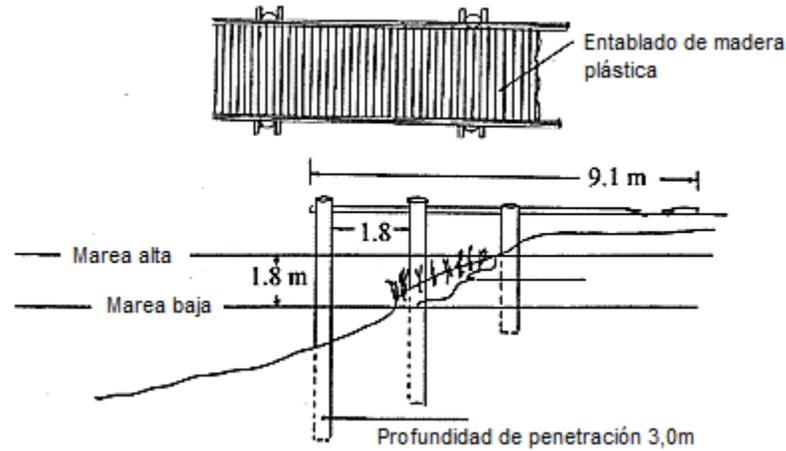


Figura 2-18: Dibujo del muelle en West Meadow, Campo Viejo, NY. Fuente: (38)

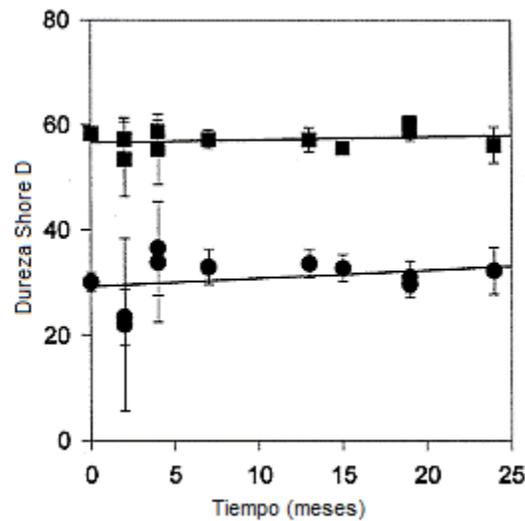


Figura 2-19: Medidas de dureza para las superficies en la sección transversal (●) y en la superficie exterior o huella (■) (superficie de tránsito) de los tableros de madera plástica en el muelle tomadas con deformímetro tipo D. Fuente: (38)

En la investigación Breslin (1.998) estudió el módulo de compresión en los dos ejes de los tableros de madera plástica, uno de los ejes era en sentido perpendicular al plano de la superficie del tablón (superficie de tránsito) y el otro en el eje perpendicular la sección transversal del tablón, los ensayos arrojaron que el módulo de compresión en el plano de

la superficie de tránsito fue de 192MPa, el cual fue en promedio entre 6 y 8 veces mayor que el de la sección transversal que arrojó un valor de 24MPa; destacando que al paso de los 2 años de estudio las muestras arrojaron un aumento significativo de éstos valores tanto en el plano de la superficie de tránsito de 417MPa como en la sección transversal de 170MPa, variando en el tiempo como se muestra en la Figura 2-20; sin embargo en la investigación se resaltan dos consideraciones; la primera es que al transcurrir 19 meses se encontraron resultados iguales a los iniciales en las muestras tomadas y la segunda es que a los 24 meses se realizó una modificación en la máquina con que se realizaron los ensayos, la cual consistió en la instalación de un sistema de carga de resolución y detección de desplazamiento superior. (38)

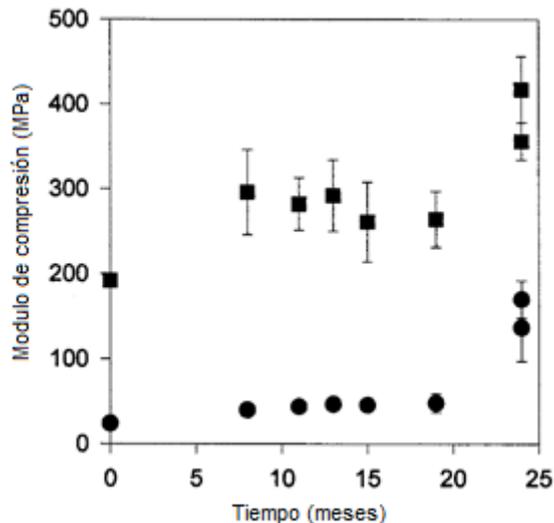


Figura 2-20: Resultados de módulos de compresión medidos en las superficies de la sección transversal (●) y en la superficie exterior o huella (■) (superficie de tránsito) de los tabloncillos de madera plástica en el muelle. Fuente: (38)

También se determinaron valores de módulo de flexión en el plano del tablón plástico de 1.400Pa, lo que fue menor en comparación con el estudiado en la sección transversal de 1.860Pa, mostrando una variabilidad para los dos módulos entre un 10% y 40%. Los resultados arrojaron que el módulo de flexión medido en la dirección en el plano de la superficie de tránsito puede disminuir de forma continua con el tiempo ya que después de la exposición de 19 meses, el módulo de flexión en el plano de la superficie de tránsito redujo a 750 Pa. (38)

Los resultados de ésta investigación demuestran una dificultad a mejorar en el uso de madera plástica, y la alta variabilidad del módulo de elasticidad y además de que tales valores son bajos en comparación con el de maderas usadas en el sector de la construcción, por lo que es una limitante para el uso de la madera plástica ante soporte de cargas. De igual forma esclarece que las propiedades de la madera plástica dependen de la composición de polímeros y aditivos. (38)

Existen diferentes aplicaciones en las cuales se puede utilizar el plástico reciclado mezclado o no con partículas de madera para formar lo que llamamos madera plástica, desde pisos hasta elementos de fachada o cubiertas; Wethyavivorn (2.011) investigó en el diseño de un elemento tipo persiana de madera plástica como fachada para un edificio, la madera plástica estaba fabricada con un 30% de aserrín de madera de caucho y 70% de plástico reciclado (polietileno de alta densidad, HDPE) usando el proceso de extrusión. La fabricación del compuesto madera y plástico investigado es un producto de la compañía ThayHybrid; por lo que Wethyavivorn (2.011) estudió el material para luego determinar las dimensiones del elemento de fachada. (41)

En la investigación llevada a cabo se estudió la resistencia a tensión del material madera – plástico utilizando 10 especímenes bajo la norma ASTM D143-09, tres de las muestras fueron excluidas por resultar defectuosas y el promedio de esfuerzo a la tensión fue de 15,89 MPa, con una elongación máxima promedio de 7,10mm y se pudo establecer un módulo de elasticidad promedio de 1.028,05 MPa determinado entre el 20% y 50% del esfuerzo a tensión; en la Tabla 2-8 se muestra en detalle estos resultados. (41)

También se estudió la resistencia a la compresión en 10 muestras con dimensiones de 38,10x38,10x152,4mm ensayadas en el sentido paralelo a las fibras bajo la norma ASTM D143-09, arrojando como valor promedio de esfuerzo a la compresión de 20,35MPa y un módulo de elasticidad de 772,54MPa, en la Tabla 2-9 se muestra en detalle estos resultados. (41)

Tabla 2-8: Resultados de ensayos a tensión en muestras de madera – plástica.

Fuente: (41)

Muestra	E (20-50% σ_t) (MPa)	Máx. Elongación (mm)	Esfuerzo a tensión
1	Defectuosa	-	-
2	Defectuosa	-	-
3	Defectuosa	-	-
4	1104,7	7,9	18,05
5	951,33	6,3	13,73
6	1317,22	6,7	16,29
7	901,26	6,6	14,95
8	1180,96	5,3	16,72
9	1317,22	5,9	16,78
10	951,33	6,9	16,07
Promedio	1028,05	0,71	15,89
Desv. estándar	108,5	0,1131	3,05

Tabla 2-9: Resultados de ensayos a compresión en muestras de madera – plástica.

Fuente: (41)

Muestra	Esfuerzo a compresión (MPa)	Módulo de elasticidad a compresión (MPa)
1	Defectuosa	-
2	Defectuosa	-
3	18,96	675,47
4	18,6	926,66
5	20,18	870,86
6	21,59	576,11
7	20,71	509,48
8	21,01	772,1
9	21,24	851,07
10	20,54	998,59
Promedio	20,35	772,54
Desv. estándar	1,06	172,33

Otra propiedad estudiada fue la resistencia a cortante paralelo y perpendicular a las fibras, utilizando 10 muestras de 50,80x50,80x63,50mm, arrojando resultados similares con un promedio de esfuerzo a cortante paralelo y perpendicular a las fibras de 8,24MPa y 10,17MPa respectivamente y desviaciones estándar de 0,33 y 0,08 respectivamente. Debido a que el elemento a fabricar iba ser usado en fachada, este estaría sometido intensivamente a cargas de viento, por lo cual Wethyavivorn (2.011) estudió el comportamiento a flexión del material basado en la norma ASTM D198-05a utilizando 5 muestras de 38,10x38,10x431,8mm, estudió la relación entre el módulo de elasticidad equivalente (E_{eq}) y la proporción de h/L con muestras de diferentes luces de $L= 330,2\text{mm}$, $355,6\text{mm}$, 381mm y $431,8\text{mm}$ y estudió el comportamiento a flexión de elementos a gran escala disponibles por el fabricante comparables con el producto establecer en la investigación; a continuación en la Tabla 2-10 se muestran los resultados arrojados de módulo de ruptura para muestras de 431,8mm. (41)

Tabla 2-10: Resultados de Módulo de ruptura en ensayos de flexión en muestras de madera – plástica de 431,8mm. Fuente: (41)

Muestra	Módulo de ruptura (MPa)
1	Defectuosa
2	31,05
3	29,9
4	29,81
5	30,99
Promedio	30,44
Desv. estándar	0,67

En la Tabla 2-11 se muestran los resultados de módulo de elasticidad equivalente para muestras con diferentes luces

Tabla 2-11: Resultados de Módulo de elasticidad equivalente en ensayos de flexión en muestras de madera – plástica de 431,8mm. Fuente: (41)

Muestra	Módulo de elasticidad equivalente E_{eq} (MPa)			
	330,2mm	355,6mm	381mm	431,8mm
1	2369	2862	2972	Defectuosa
2	3055	2843	3344	3934
3	2385	3425	2524	4121
4	2322	2605	2548	3727
5	2599	2733	Defectuosa	4078
Promedio	2546	2893	2847	3965
Desv. estándar	303,9	314,4	390,2	177,8

A continuación en la Figura 2-21 se muestra la relación entre el módulo de elasticidad equivalente y la proporción h/L

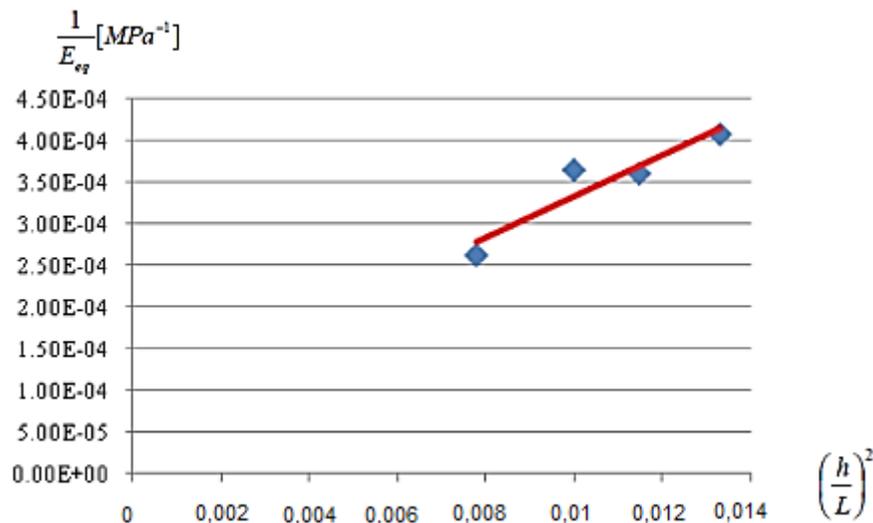


Figura 2-21: Relación de módulo de elasticidad equivalente y la proporción h/L. Fuente: (41)

Teniendo establecidas las propiedades elásticas del material, las resistencias del material y las relaciones de módulo de elasticidad y la proporción h/L; por lo cual estableció las cargas de viento de diseño como se observa en la Tabla 2-12, la deflexión máxima de L/180. (41)

Tabla 2-12: Resumen de cargas, condiciones y ejes de aplicación de viento. Fuente: (41)

Condición de viento	Dirección del Viento	
	Axial al eje X (Pa)	Axial al eje Y (Pa)
Propenso a huracanes	803,92	746,49
NO propenso a huracanes	937,69	870,71

Posterior a estas definiciones se procedió a modelar el elemento una sección definida y estudiar el comportamiento debido a las solicitaciones; los resultados arrojados por el modelo de elementos finitos demostraron que era necesario utilizar 2 perfiles metálicos tubulares de 25,4x25,4x2,30mm en medio de la matriz de madera plástica. Los resultados del análisis de elementos finitos para la sección reforzada se muestra en la Tabla 2-13 y la sección diseñada de madera plástica reforzada con perfiles tubulares de acero para ser utilizado como elemento de fachada en edificios se muestra en la Figura 2-22. (41)

Tabla 2-13: Resultado de análisis de elementos finitos con refuerzo de perfil tubular de 25,4x25,4x2,30mm. Fuente: (41)

Condición de viento	Máx. Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (ksc)		Fuerza a cortante en soportes (N)		Esfuerzo a cortante en soportes (ksc)	
		Acero	WP C	Acero	WPC	Acero	WPC
Propenso a huracanes	31	864	9,8	148,86	101,72	7	0,1629
NO propenso a huracanes	36	1016	11,4	173,63	118,65	8	0,1899

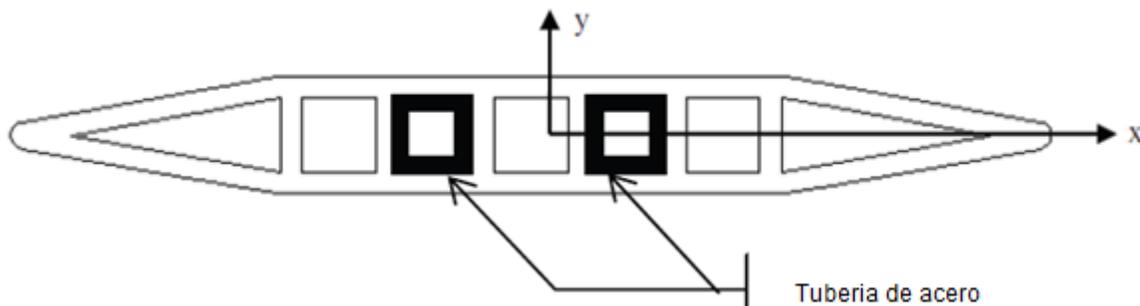


Figura 2-22: Sección diseñada de madera plástica reforzada con perfil tubular de acero, para ser utilizado en fachada de edificio. Fuente: (41)

Con los antecedentes descritos anteriormente, es notable destacar que:

- El uso del plástico reciclado como materia prima para fabricar nuevos elementos, productos o artículos es cada día más frecuente dado que reduce el costo en su fabricación.
- El uso del plástico reciclado como material que compone una mezcla de concreto o como sustituto de agregados pétreos es cada día más frecuente dado que mejora las propiedades de calefacción de una estructura y reduce costos en materiales.
- El uso de plástico reciclado como materia prima para fabricación de pisos o elementos NO estructurales es cada día más frecuente dado que mejora las propiedades de durabilidad y reduce los costos de mantenimiento.
- El uso de plástico reciclado contribuye a reducir residuos plásticos en botaderos de basura, a un desarrollo sostenible y mejora la calidad de vida de una sociedad.

La presente investigación buscó aplicar estos conceptos de aprovechamiento del residuo plástico, específicamente con el tipo de plástico reciclado PEAD (prPEAD) y validar su uso en la fabricación de elementos estructurales para la construcción de vivienda en Colombia, partiendo del enfoque de la investigación “Desarrollo de un Módulo Habitacional a Partir de Materiales Reciclados” llevada a cabo por SALAZAR MARÍN Edgar (29) y que es nombrada en el estado del arte del presente documento.

Los elementos estudiados en esta investigación fueron suministrados por la Fundación FICIDET, entidad que financió parcialmente entre 2013 y 2015, una investigación en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en Bogotá D.C., Colombia; para conocer las propiedades y comportamientos de diferentes productos como bloques Brickarp®, columnas y vigas compuestos exclusivamente con prPEAD (poli olefinas), fabricados por medio de extrusión inyectada en moldes. (42)

En los siguientes capítulos 3, 4 se describen uno a uno los elementos estudiados, los ensayos y resultados encontrados y las conclusiones y recomendaciones respecto al uso y aplicaciones del prPEAD en elementos estructurales para vivienda en Colombia, la

contribución a la sostenibilidad del medio ambiente y los beneficios a la accesibilidad a vivienda en caso de emergencia en Colombia

3. Programa experimental

3.1 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos y cubrir el alcance de la investigación fue necesaria la realización de un programa experimental que consistió en el ensayo en laboratorio de las diferentes probetas y elementos estructurales que conforman una estructura tipo vivienda y de esta forma se pudo conocer sus propiedades mecánicas y comportamiento ante cargas estáticas. También se ensayó en sitio una estructura a escala real tipo vivienda a carga lateral estática construida con los mismos tipos de elementos estudiados, la cual es ofrecida comercialmente como sistema constructivo para vivienda por la fundación FICIDET.

Inicialmente se caracterizó el material mediante ensayos a muestras o cubos plásticos extraídos de los bloques, partiendo así del ensayo del material para luego continuar con ensayos a los elementos como unidad y seguir al ensayo de los elementos como un conjunto y terminar con el ensayo de la estructura tipo vivienda a escala real.

3.2 Variables de estudio

El material y elementos estudiados son fabricados con prPEAD por medio de extrusión y debido a que el material se caracteriza como anisotrópico fue necesario estudiarlo en sus diferentes direcciones X, Y y Z. Se determinaron las variables de estudio y se establecieron las propiedades mecánicas de las probetas y de los elementos estructurales que se tuvieron en cuenta para el estudio experimental como objetivo principal de la investigación, las propiedades mecánicas estudiadas fueron la resistencia a la compresión, resistencia a compresión diagonal, resistencia tensión y resistencia a cortante. Debido a que la investigación va encaminada a estudiar el comportamiento de una estructura tipo vivienda

de prPEAD, no se toma como variable de estudio las uniones metálicas, perforaciones y pernos que acoplan los diferentes elementos estructurales que conforman la vivienda.

3.3 Caracterización de materiales y elementos

En este capítulo se presentan cada una de las probetas y elementos estructurales, la configuración del sistema estructural estudiado y los montajes de los ensayos realizados. El sistema estructural está conformado de forma similar al sistema de mampostería confinada, con la diferencia que el material que conforma cada uno de los elementos es plástico reciclado PEAD con secciones regulares y uniones metálicas.

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales fue necesario extraer muestras de materiales de los elementos tipo bloque Brickarp®; las muestras extraídas se pueden clasificar en tres:

- Tipo cubo: para ensayos a compresión
- Tipo probetas a tensión: para ensayos a tensión
- Tipo lámina: para ensayos a corte

Los elementos de prPEAD estudiados y a los cuales se les determinaron las propiedades mecánicas fueron:

- Bloque Brickarp®: ensayos a compresión
- Vigas, viguetas y vigas de sección compuesta: ensayos a flexión
- Columnas: ensayos a compresión axial
- Muretes: ensayos a compresión axial y compresión diagonal
- Muros a escala real: ensayos a carga lateral estática y carga distribuida en el plano del muro

Mientras que para la estructura tipo vivienda a escala real construida con elementos prPEAD anteriormente mencionados, fue estudiado su comportamiento ante carga lateral estática. A continuación en la Tabla 3-1 se describen los elementos a los cuales se realizaron ensayos para conocer sus propiedades, las dimensiones, cantidad de muestras, tipos de ensayo y direcciones de estudio.

Tabla 3-1: Variables de estudio de la presente investigación

Elemento	Especificación	Dimensión	Ensayo	Cant.
Muestra tipo cubo	Ensayo en dirección X	6x6x6cm	Compresión	10
Muestra tipo cubo	Ensayo en dirección Y	6x6x6cm	Compresión	10
Muestra tipo cubo	Ensayo en dirección Z	6x6x6cm	Compresión	10
Probeta a tensión	Ensayo en dirección Y	21,5x1,5x3 cm	Tensión	10
Sección de bloque	Ensayo en dirección Z	26x13x7 cm	Corte	3
Muestra tipo aleta	Ensayo a corte	52x3x1,50	Corte	3
Muestra tipo lamina	Punzón tipo 1	10x10x1.8cm	Corte	3
Muestra tipo lamina	Punzón tipo 2	10x10x1,8cm	Corte	10
Bloque tipo 1	Con perforación	52x13x7 cm	Compresión	4
Bloque tipo 2	Sin perforación	52x13x7 cm	Compresión	6
Vigas acopladas	Secc. Compacta	L=2,40m	Flexión	5
Vigas riostras	Secc. Compacta	L=1,50m	Flexión	5
Vigas remate tipo 1	Secc. Compacta	L=1,16m	Flexión	4
Vigas remate tipo 2	Secc. refuerzo tubular	L=1,16m	Flexión	
Vigas remate tipo 3	Secc. refuerzo corrugado	L=1,16m	Flexión	
Columna tipo 1	Secc. Compacta	L=2,40m	Compresión	5
Columna tipo 2	Secc. Compacta	L=1,60m	Compresión	5
Columna tipo 3	Secc. Compacta	L=0,80m	Compresión	5
Columna tipo 4	Secc. Compacta	L=0,50m	Compresión	3
Muretes ensamblado		46x40x3 cm	Compresión diagonal	2
Muros ensamblados		2,25x1,27 m	Corte	3
Muros ensamblados		2.25x1.27m	Carga uniforme	3
Estructura real	Estudio en sentido X	9x9x3.50m	Corte	1

3.3.1 Muestra tipo cubo a compresión

Las muestras tipo cubo se tomaron mediante un proceso de corte y posteriormente maquinado de las unidades de bloque Brickarp®, en forma cuadrada con dimensiones de 60 x 60 x 60 mm, los sentidos del cubo se determinaron como X, Y y Z como se observa en Figura 3-1 y Figura 3-2, al identificar sus caras laboratorio se marcaron con números del 1 (1 = sentido X); 2 (2 = sentido Y) y 3 (3 = sentido Z)⁴; y el sentido de las fibras o sentido de la extracción del material es el mismo sentido Y; mientras que los sentidos X y Z son perpendiculares a las fibras.

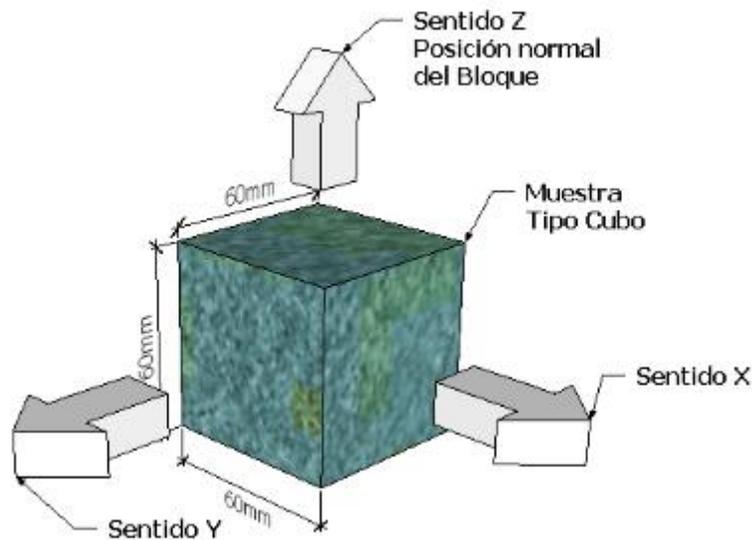


Figura 3-1: Esquema muestra tipo cubo. Fuente: Autor

⁴ El sentido de estudio de los bloques fueron X, Y y Z, los cuales también se representaron con los números 1, 2 y 3 respectivamente.



Figura 3-2: Muestra tipo cubo. Nomenclatura de identificación en laboratorio. Fuente: Autor

A continuación se realiza la descripción del montaje para el ensayo a compresión realizado en muestras tipo cubo bajo la norma ISO 604 y se muestra la instrumentación con la cual se midieron las deformaciones a medida que se aplicaba carga en la muestra se utilizó una máquina universal UH-100A.

- **Ensayo a compresión**

Para los ensayos a compresión se siguió el siguiente procedimiento:

- Se registran medidas de cada espécimen o muestra tipo cubo.
- Se marca en el cubo los tres ejes de orientación según sea el uso normal del bloque.
- Se coloca el cubo con la cara de estudio hacia arriba sobre la mesa de la máquina de ensayo.
- Cuidadosamente se alinean los ejes centroidales del espécimen y de aplicación de carga del bloque de asiento esférico o rotula y se acerca al espécimen, éste se hace rotar ligeramente a mano, de tal manera que se logre una colocación uniforme.
- Se instalan y alinean dos deformímetros longitudinales y transversales, de tal forma que los primeros formen un ángulo de 90° con la superficie de apoyo de la muestra y estén ubicados a cada lado de la muestra y los segundos con la vertical de la muestra como se observa en la Figura 3-3.

Los deformímetros transversales solo se colocan en las direcciones X y Z, ya que en la dirección Y se encuentran vacíos y poros de gran tamaño.

- Se coloca una rótula entre el plato de aplicación de fuerza y la muestra.
- Se aplica carga a una velocidad de 1mm/min y se toman deformaciones a un incremento de 2,50 kN hasta finalizar con la rotura de la muestra o hasta donde lo permitan los deformímetros para la toma de datos. La carga se aplica para cada sentido de estudio y se ensayan 10 especímenes por sentido.
- Se registra la carga máxima aplicada y/o de falla y/o terminación del ensayo.

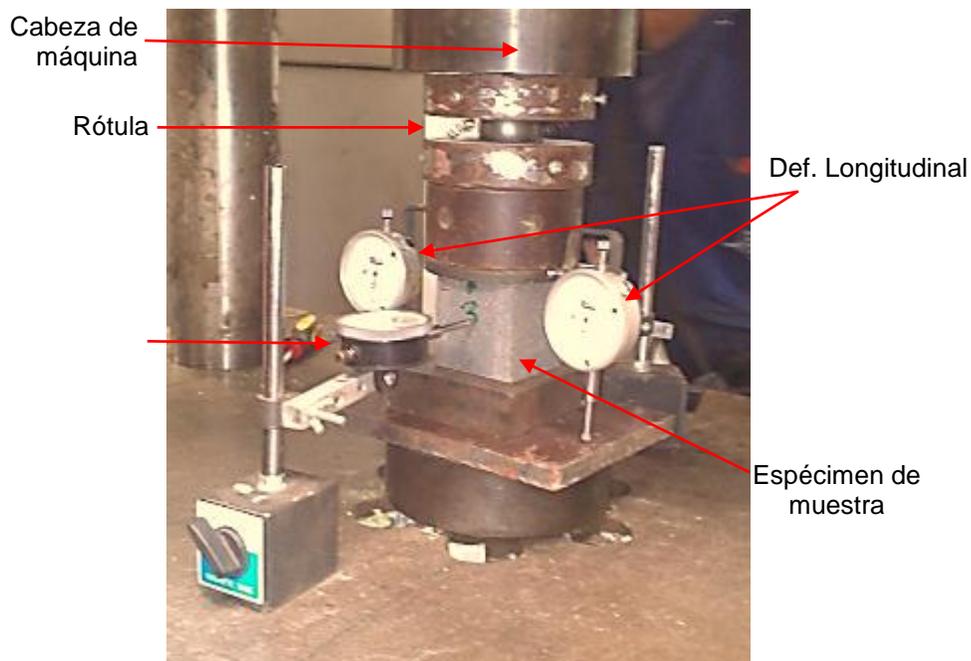


Figura 3-3: Montaje ensayo a compresión en cubo. Fuente: Autor

3.3.2 Muestra tipo probeta a tensión

Las muestras tipo probeta se tomaron mediante un proceso de corte y posterior maquinado de los bloques Brickarp®, en forma alargada con dimensiones en la longitud de ensayo de 215 x 30 x 15 mm y en los extremos de 150 x 100 x 15 mm para sujeción de las mordazas de máquina universal de ensayo como se observa en la Figura 3-4 y Figura 3-5.



Figura 3-4: Montaje Muestra tipo probeta ensayo a tensión. Fuente: Autor

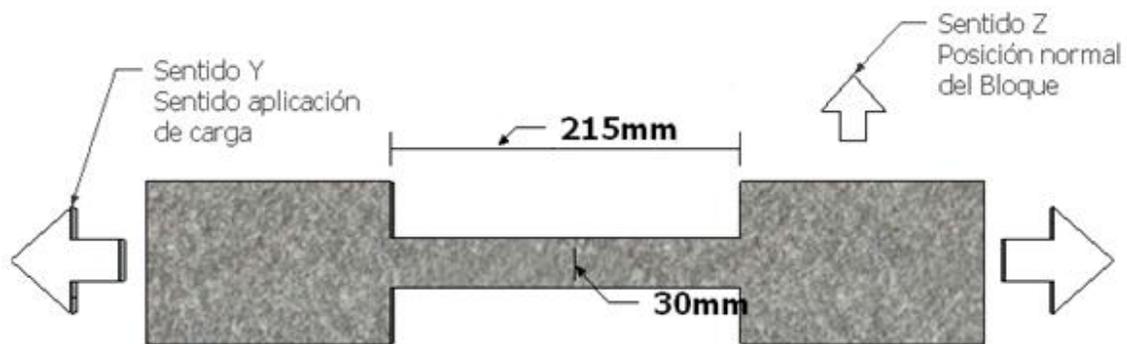


Figura 3-5: Esquema de muestra tipo probeta ensayo a tensión. Fuente: Autor

A continuación se realiza la descripción del ensayo a tensión realizado en muestras tipo probeta bajo la norma ISO 527 y se muestra la instrumentación con la cual se midieron las deformaciones a medida que se aplicaba carga en la muestra, se utilizó una máquina universal UH-100A.

- **Ensayo de tensión**

Para los ensayos a tensión se siguió el siguiente procedimiento:

- Se registran medidas necesarias y se enumera cada espécimen.
- Se monta la muestra en la máquina universal agarrada de las mordazas.
- Se instala un deformímetro longitudinal con longitud de estudio de 15 cm en medio de la muestra.
- Se inicia el ensayo a una velocidad de 3 mm/min.
- Se registra la carga cada 0.1 mm hasta llegar a la falla.
- Se registra la carga máxima o de rotura.
-

A continuación en la Figura 3-6 se observa la muestra tipo probeta sujeta con las mordazas en la máquina de ensayo



Figura 3-6: Montaje ensayo a tensión en probeta. Fuente: Autor

3.3.3 Muestra tipo corte – ensayos a cortante

Para los ensayos a cortante en materiales se usaron tres tipos de muestras de diferente forma que se obtuvieron mediante un proceso de corte y posterior maquinado en laboratorio, extrayendo el material de los elementos tipo bloque Brickarp®. Inicialmente se estudiaron 3 tipos de muestras con metodologías diferentes para determinar en cuál de ellas se producía un cortante puro sin otra clase de sollicitaciones debido al tipo de montaje o la forma de la muestra.

- **Ensayo de corte - Metodología #1: Tipo lámina**

- La metodología de la lámina fue basada en la norma ASTM-732, la cual se llevó a cabo inicialmente con el ensayo de 3 muestras, ejerciendo una fuerza en sentido X con una barra lisa de 12,7 mm de diámetro refrendada en sus dos extremos que llamamos punzón sobre una lámina cuadrada plástica de 10 x 10 x 18 mm, como se muestra en la Figura 3-7.
- Se registra el espesor de cara lámina o muestra, el diámetro del punzón y se marca la lámina indicando los diferentes ejes con los cuales se orienta el bloque.

- Se coloca la lámina con la cara de estudio arriba sobre una platina con un agujero que garantice el libre paso de material de muestra perforado por el punzón, ubicada sobre la mesa de la máquina de ensayo.
- Se coloca el punzón en el centroide de la muestra, alineando estos dos con el centro de aplicación de carga.
- Se verifica que el punzón esté vertical respecto al bloque que aplica la carga.
- Inicia el ensayo con una velocidad de carga de 1mm/min hasta llegar a la falla y registrar carga máxima o de falla.

A continuación en la Figura 3-7 se observa la muestra tipo lámina con el montaje armado para realizar el ensayo a corte.

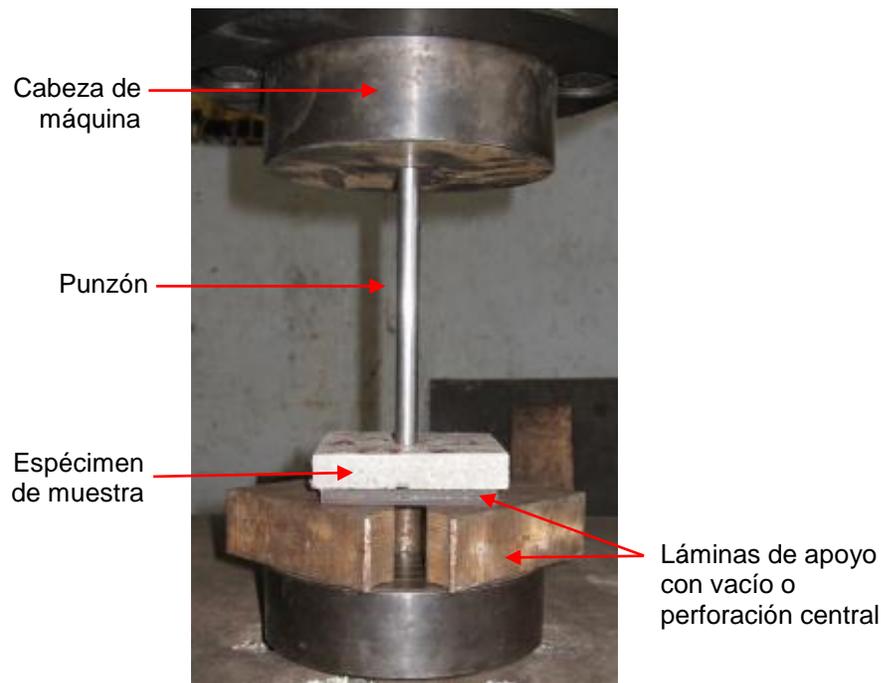


Figura 3-7: Montaje ensayo a cortante en lámina. Fuente: Autor

- **Ensayo de corte - Metodología #2: Sección de bloque**

Esta metodología se realiza ejerciendo una fuerza a compresión en ejes verticales paralelos diferentes como se indica a continuación en el esquema de montaje. Se utilizan secciones de 100mm de longitud de bloques Brickarp®, extraídos mediante corte y posterior maquinado.

- Se registra la longitud y la altura de la sección donde se producirá el esfuerzo de corte.
- Se coloca la muestra apoyada en los extremos en la parte inferior y se aplica carga en la parte superior en el centro de la sección. El apoyo inferior consta de dos elementos metálicos de gran espesor unidos con un perno roscado y ajustado al ancho de la sección de la muestra.
- Se marca la lámina indicando los diferentes ejes con los cuales se orienta el bloque.
- Inicia el ensayo a una velocidad de 1mm/min hasta llegar a la falla o carga máxima y se registra.

A continuación en la Figura 3-8 se observa la muestra tipo bloque con el montaje armado para realizar el ensayo a corte.

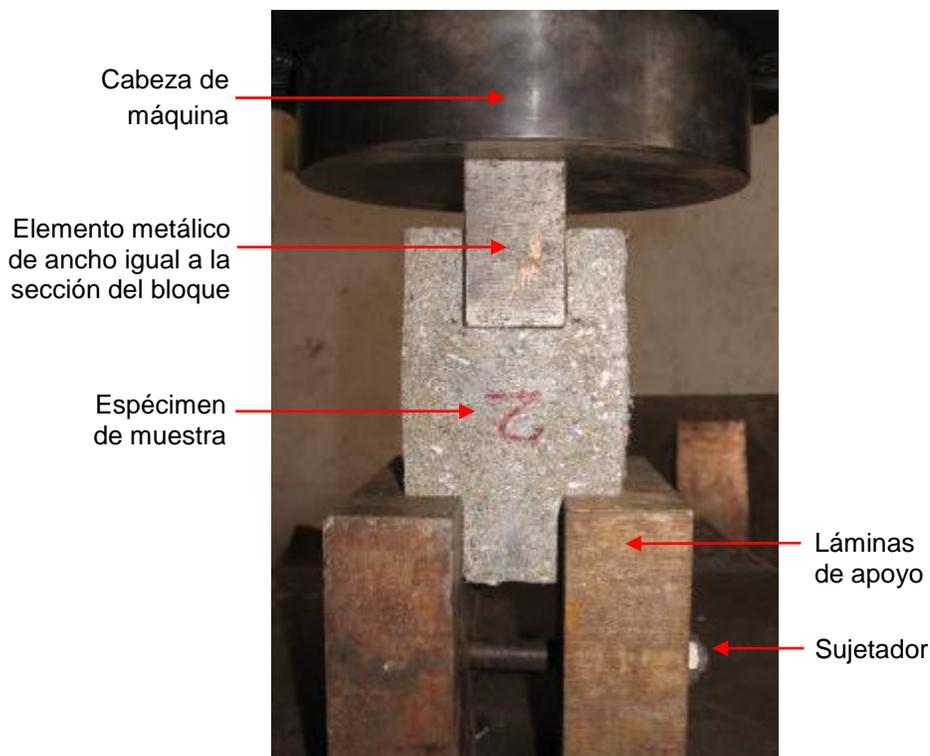


Figura 3-8: Montaje ensayo a cortante en sección de bloque. Fuente: Autor

- **Ensayo de corte - Metodología #3: Tipo aleta**

Esta metodología se realiza con muestras de forma rectangular alargadas que hacen parte de bloques Brickarp® y son elementos tipo aletas en los bloques, estas

muestras son extraídas por medio de corte y posterior maquinado. Se utilizan tres muestras con sección de 18x30x50mm. A continuación se describe el procedimiento de montaje:

- Se registran las dimensiones del elemento.
- Se coloca la muestra apoyada en los extremos con una luz de no más de 35mm.
- En la parte superior se aplica carga en la parte superior en el centro de la sección con un elemento de ancho de 33mm.
- Se marca el elemento tipo viga indicando los diferentes ejes con los cuales se orienta el bloque.
- Inicia el ensayo con una velocidad de carga de 1mm/min hasta llegar a la falla y se registra carga máxima.

A continuación en la Figura 3-9 se observa la muestra tipo aleta con el montaje armado para realizar el ensayo a corte.

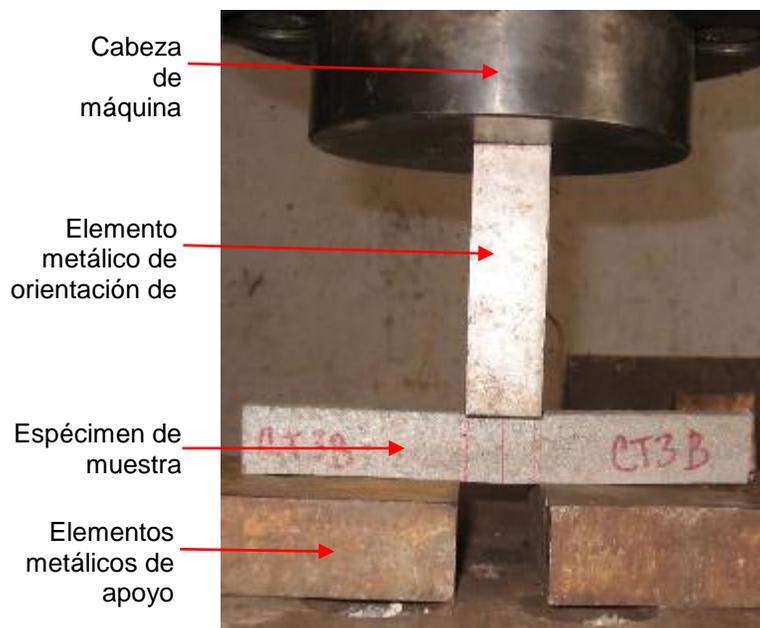


Figura 3-9: Montaje ensayo a cortante en sección alargada de bloque. Fuente: Autor

3.3.4 Bloques Brickarp®

Los bloques Brickarp® están fabricados con prPEAD y son las unidades base que conforma el sistema constructivo para vivienda en prPEAD; estos elementos tienen dimensiones de 70 x 130 x 495 mm con una forma tal que al colocar uno sobre otro y uno al lado del otro encajan a presión ayudados de golpes con martillo de goma y pueden modularse; no requiere de mano de obra calificada para el armado. A continuación en la Figura 3-10 se muestran las diferentes dimensiones teóricas y sentidos de los bloques estudiados:

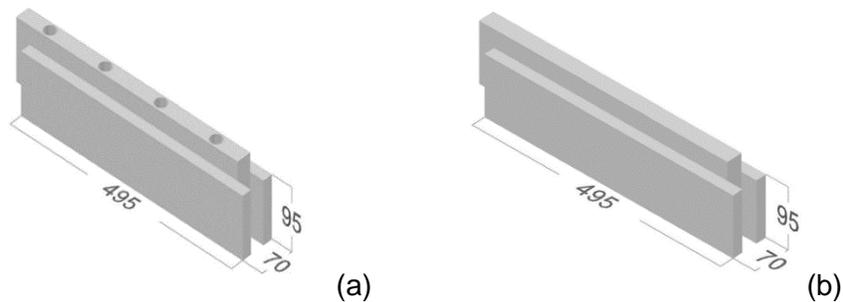


Figura 3-10: (a) Unidad de bloque Brickarp® con perforaciones. (b) Unidad de bloque Brickarp® sin perforaciones. Fuente: FICIDET

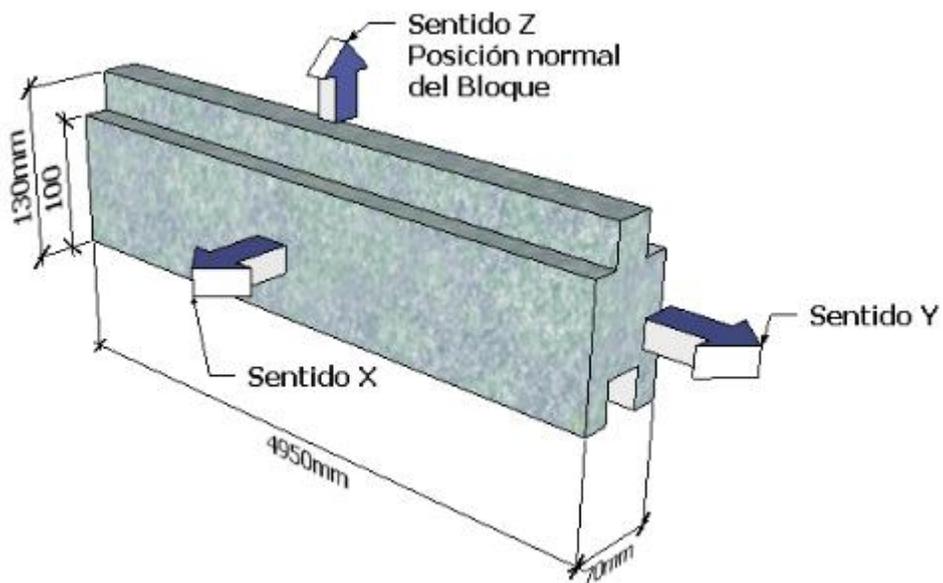


Figura 3-11: Esquema de ubicación de sentidos de estudio en unidad de Bloque Brickarp®. Fuente: Autor

- **Ensayo de compresión**

Las unidades de bloques Brickarp® fueron sometidos a ensayos de compresión, a continuación se describe el montaje de ensayo:

- Se registran medidas de cada espécimen o muestra de unidad de bloque.
- Se marca el bloque indicando los diferentes ejes con los cuales se orienta el bloque.
- Se coloca el bloque con la cara de estudio arriba sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo.
- Se instalan 2 platinas para distribuir la carga puntual de la maquina universal sobre el bloque, las platinas suman un espesor de 100mm de acero.
- Se instalan unos elementos de ajuste del mismo material en el canal inferior del bloque y en las aristas superiores a cada lado, buscando distribuir la carga e idealizando la realidad de la trasmisión de carga entre bloques.
- Cuidadosamente se alinean ambos ejes centroidales del espécimen con el centro de aplicación de carga del bloque de asiento esférico se acerca al espécimen, éste se hace rotar ligeramente a mano, de tal manera que se logre una colocación uniforme.
- Inicia el ensayo con una velocidad de carga de 3mm/min hasta llegar a la falla.
- La carga se aplica en la dirección de estudio Z, se ensayan 10 especímenes, 5 con agujeros y 5 sin agujeros.
- Se registra la carga máxima aplicada y/o de falla.

A continuación en la Figura 3-12 y Figura 3-13 se observa las unidades de bloque Brickarp® con el montaje armado para realizar el ensayo a compresión.

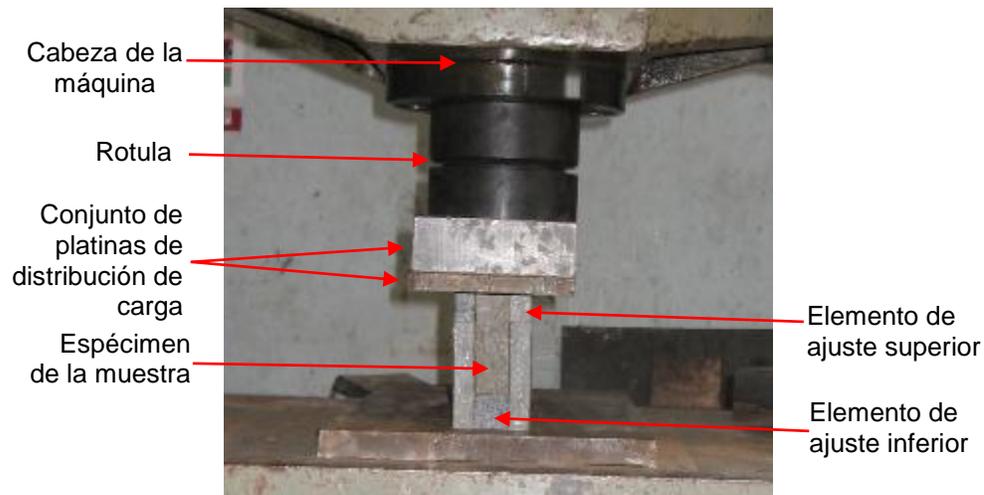


Figura 3-12: Montaje ensayo a compresión en bloques Brickarp® vista frontal. Fuente: Autor



Figura 3-13: Montaje ensayo a compresión en bloques Brickarp® vista perfil. Fuente: Autor

- El ensayo se realiza montando la columna en un marco de carga, en la Figura 3-16 se observa el montaje de una columna de 2,40m; para los otros dos tipos de columnas el montaje varia al bajar de nivel la viga superior del marco de carga.
- La forma del montaje en sentido ascendente consta de un gato hidráulico de 500 kN apoyado sobre platinas de ajuste de altura, las cuales a su vez están apoyadas sobre una viga metálica IPE de gran peralte que forma el marco de carga, una celda de carga de 1000 kN se apoya en el gato hidráulico, una rotula y la columna de ensayo.
- Se nivela y se alinea el eje centroidal de la columna con los centroides de los elementos y equipos de carga debajo de ésta.
- Se instala un deformímetro que medirá la deformación axial. Se adhieren platinas metálicas en el centro de la columna donde se instalan dos deformímetros en sentido perpendicular al sentido de aplicación de carga, es decir la dirección X y Y que medirán las deformaciones laterales.
- Se inicia el ensayo a un incremento de carga manual de 0,10 kN.
- Se registran las deformaciones y carga máxima.
- El ensayo culmina cuando al incrementar la carga esta se mantiene constante y aumentan las deformaciones; es decir continúa pandeándose sin resistir mayor carga. Por seguridad ante un colapso del montaje los ensayos no se llevan a la rotura del elemento.

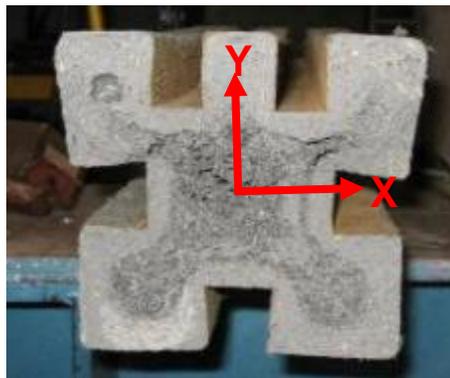


Figura 3-15: Sección típica de columna de prPEAD, sentidos de estudio. Fuente: Autor

A continuación en la Figura 3-16 se observa el montaje típico para el ensayo a compresión de las columnas estudiadas.

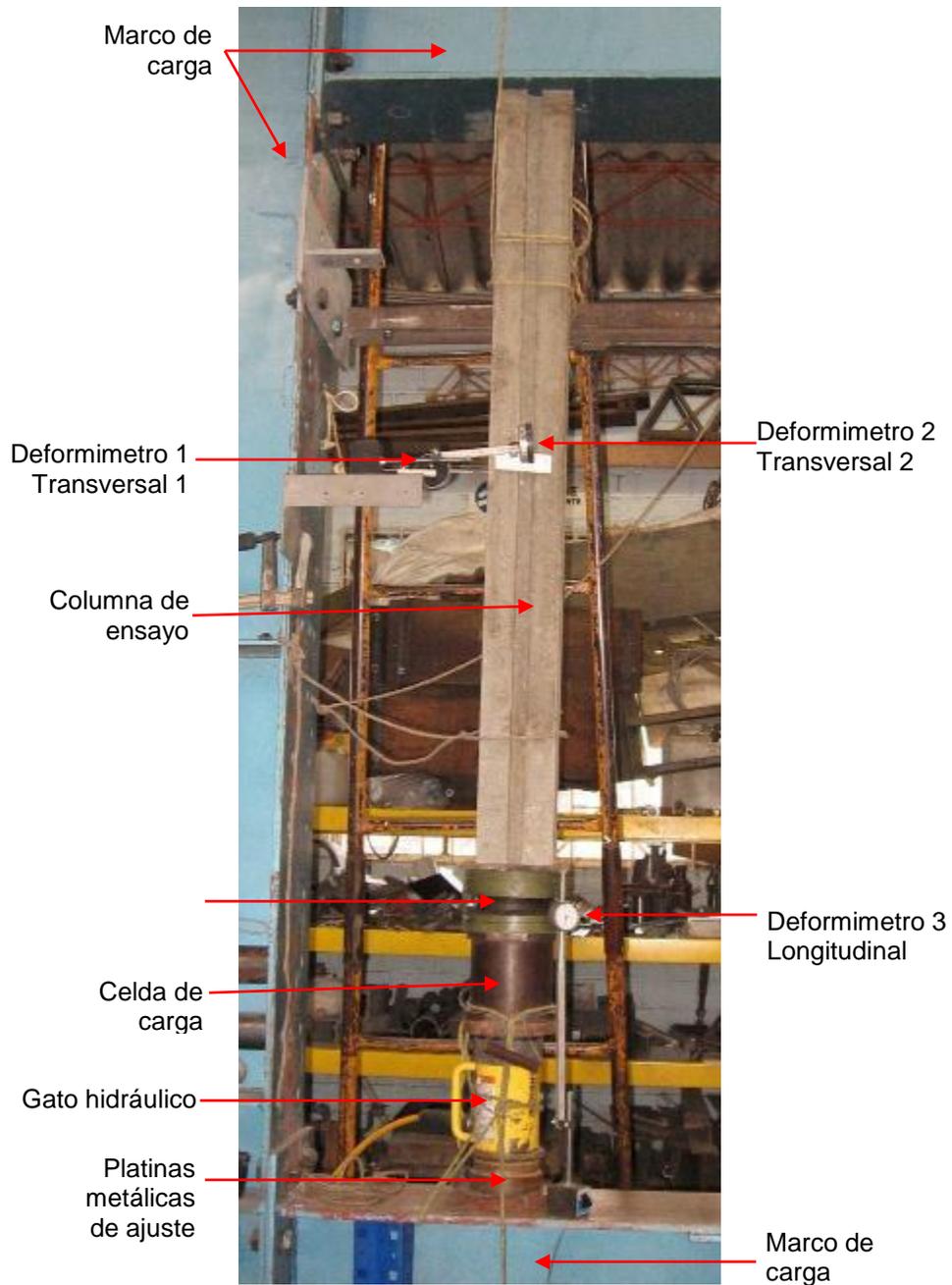


Figura 3-16: Montaje de ensayo a compresión típico en columna. Fuente: Autor

3.3.6 Vigas de cimentación y de remate con pestaña

Las vigas con pestaña son elementos de prPEAD utilizados como elementos de borde superiores o inferiores en muros, las cuales son llamadas vigas de remate o de cimentación respectivamente; estas vigas tienen pestañas y espigos de ensamble en todas las caras similares a las columnas nombradas en la sección 3.3.5 y de sección igual a las mostradas en la Figura 3-14 y Figura 3-15. Las vigas de remate también son utilizadas como vigas de amarre entre las columnas ubicadas en los muros perimetrales de la estructura y la columna central, sobre estas vigas de amarre es soportada la cercha en viguetas o riostras de prPEAD de la cubierta, por lo tanto estos elementos fueron ensayados a flexión.

Las vigas e cimentación y de remate con pestañas sometidas a ensayo de flexión fueron nombradas como VR1, VR2, VR3 y VR4, el área de la sección transversal e inercia de cada viga ensayada se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Propiedades geométricas e identificación de vigas de cimentación y de remate con pestañas sometidas a flexión. Fuente: Autor

Vigas	Área	Inercia
	(mm ²)	(mm ⁴) x 10 ⁶
VR1	18.081	33,30
VR2	18.415	34,17
VR3	18.114	32,98
VR4	20.736	42,33

- **Ensayo a flexión**

La muestra utilizada fueron 4 vigas de 1,16 m, las cuales tienen sección transversal asimétrico igual a la sección de las columnas, como se muestra en la Figura 3-15 y se identifican con los nombres de VR-1 hasta VR-4. Para el ensayo se realizó el siguiente procedimiento:

- Se registran medidas de las dimensiones de cada elemento tipo viga.
- Se marca con un nombre y se indica la dirección de aplicación de la carga, la cual es la dirección Y.
- La forma del montaje en sentido descendente consta de una rótula, un gato hidráulico de 500 kN, una celda de carga de 1000 kN, una viga metálica para distribuir la carga apoyada en dos platinas colocadas en los tercios

centrales de la viga, y la viga a ensayar apoyada en vigas IPE metálicas que a su vez se apoyan en una viga IPE de gran peralte que forma el marco de carga, como se observa en Figura 3-17.

- Se coloca la viga sobre dos apoyos, apoyada en 5cm para cada extremo.
- Se alinean los centroides de la rótula, la celda de carga y el gato hidráulico con el centro de la luz de la viga de distribución de carga.
- Se instala el deformímetro que medirá la deflexión en el centro de la luz.
- Se inicia el ensayo a un incremento de carga manual de 0,10 kN hasta que llegue a la falla.
- Se registran las deformaciones y la carga máxima.

A continuación en la Figura 3-17 se observa el montaje típico para el ensayo a flexión de las vigas estudiadas.

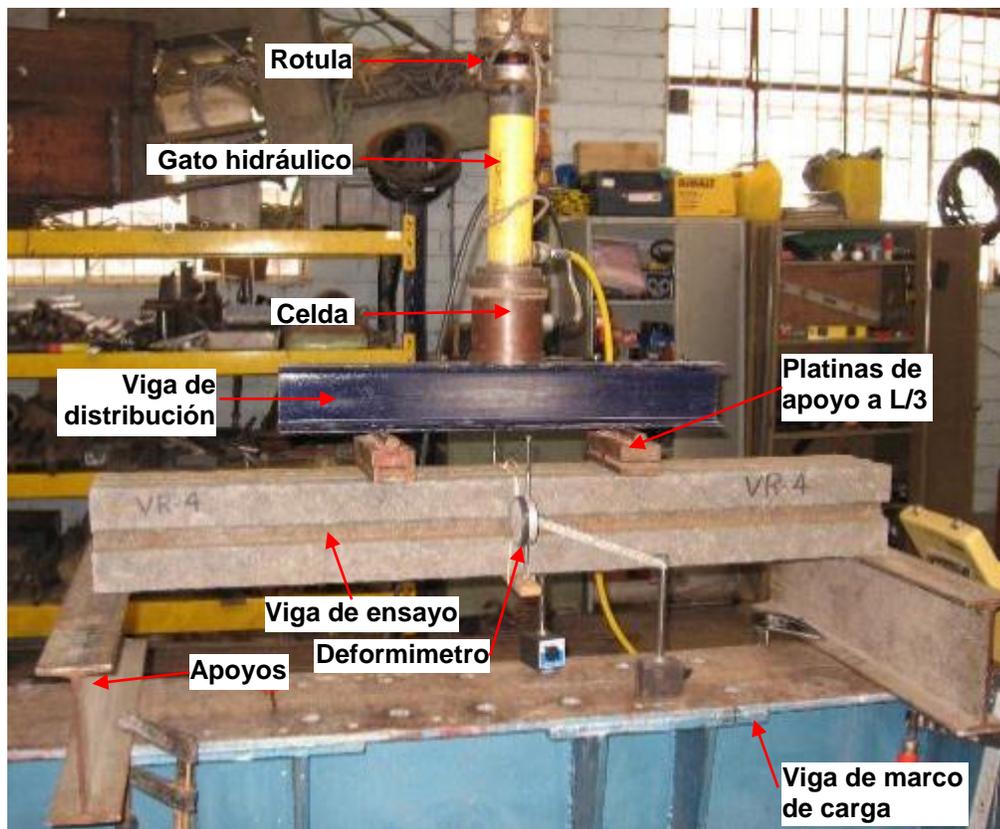


Figura 3-17: Montaje de ensayo a flexión típico en viga de cimentación y de remate. Fuente: Autor

3.3.7 Viguetas o correas

Las viguetas o correas conforman los elementos que sostienen la cubierta y se unen al resto del sistema mediante uniones metálicas, apoyándose en los muros perimetrales de la estructura. Las secciones de las viguetas o correas son de 55 x 120 mm con longitudes variables, como se muestra en la Figura 3-18.

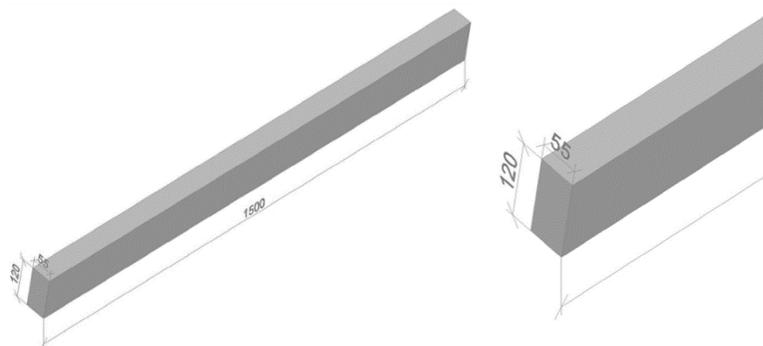


Figura 3-18: Sección teórica de viguetas o correas. Fuente: FIDICET

La propiedades geométricas de las vigas viguetas se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Propiedades geométricas de viguetas 1,50m. Fuente: Autor

Viga 1,50m	ancho (mm)	alto (mm)	Área (mm ²)	Inercia (mm ⁴) x 10 ⁶
R1	57	129	7.353	10,20
R2	53	127	6.731	9,05
R3	53	127	6.731	9,05
R4	53	127	6.731	9,05
R5	54	127	6.858	9,22

- **Ensayo a flexión**

Las muestras tipo viguetas o correas eran de 1,50m de longitud, se realizaron 5 ensayos y se identificaron los especímenes con los nombres de R-1 hasta R-5. El montaje para este elemento es igual al descrito para las vigas de cimentación y remate en la sección 3.3.6.

3.3.8 Vigas acopladas de sección compuesta

Las vigas acopladas de sección compuestas de 118x130mm y están conformadas por dos vigas macizas de prPEAD reciclado unidas con cuatro pernos roscados de acero y en medio de las dos vigas una lámina metálica de 1/8" galvanizada, como se observa en la Figura 3-19, el detalle de las dimensiones de la sección transversal se muestra en la Tabla 3-4. Estos elementos son utilizados como una segunda opción de las vigas remate, pero solo como vigas de amarre para cumplir dos funciones, como vigas de amarre entre las columnas ubicadas en los muros perimetrales de la estructura y como viga de cumbrera en la cubierta, por lo tanto estos elementos se ensayaron a flexión.



Figura 3-19: Vigas acopladas de sección compuesta. Sentidos de ubicación. Fuente: Autor

Tabla 3-4: Sección tipo de vigas acopladas de sección compuesta. Fuente: Autor.

SECCIÓN	Viga	Unidad
Plástica		
Ancho	57	mm
Altura	129	mm
Lámina Metálica		
Espesor	3,17	mm
Altura	129	mm

- **Ensayo a flexión**

Las viguetas acopladas tienen una longitud de 2,40 m se realizaron 5 ensayos y se identificaron VAC-01 hasta VAC-05. El montaje para este elemento es igual al descrito para vigas de cimentación y remate en la sección 3.3.6.

3.3.9 Muretes armados

Los muretes armados son el conjunto de bloques Brickarp®, que conforman una sección de muro de 460 x 400 x 70 mm, mediante el uso de bloques completos acoplados de 460x130x70mm, y bloques medios de 230 x 130 x 70 mm como se observa en la Figura 3-20.; estos muros cumplen la función de soportar carga vertical y servir de cerramiento a la estructura tipo vivienda de prPEAD, por lo tanto estos elementos fueron sometidos a compresión axial y compresión diagonal.



Figura 3-20: Muretes armados. Fuente: Autor

- **Ensayo a compresión**

El ensayo a compresión se realiza similar al de los bloques, colocando el elemento murete bajo carga vertical sobre su parte superior. Se ensayan nueve muestras, en la Figura 3-21 y Figura 3-22 se observa el montaje realizado. A continuación se describe el procedimiento utilizado para el ensayo:

- Se acoplan los bloques.
- Se instalan dos deformímetros en sentido vertical.
- Se usan elementos de ajuste y encaje en la parte superior del murete del mismo material prPEAD extraído de bloques Brickarp®.
- En la parte superior del murete se instalan platinas metálicas de 100mm de espesor para transmitir la carga de manera distribuida.
- Se aplica carga a una velocidad de 3 mm/min hasta llegar a la falla y se registra.

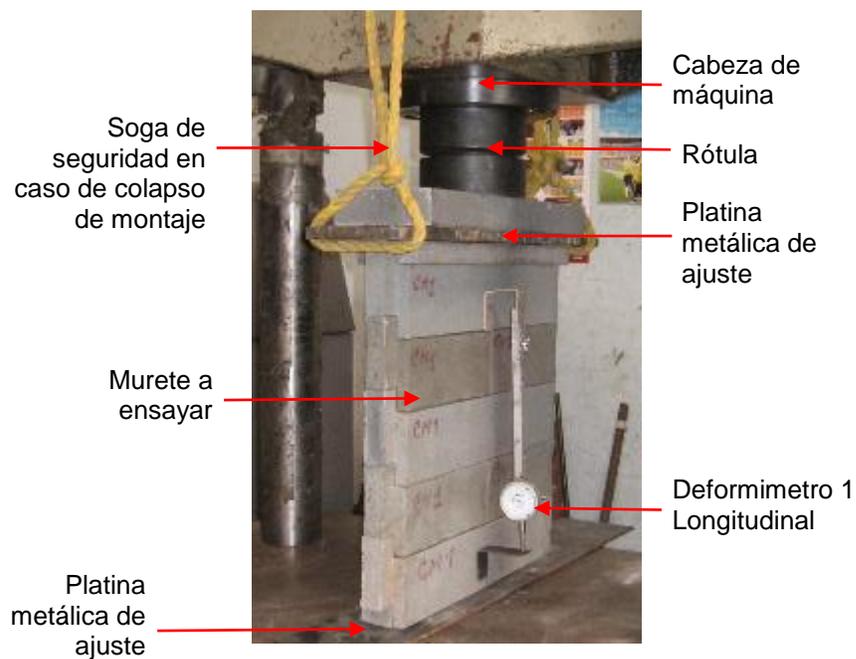


Figura 3-21: Montaje ensayo de compresión en muretes vista perfil. Fuente: Autor

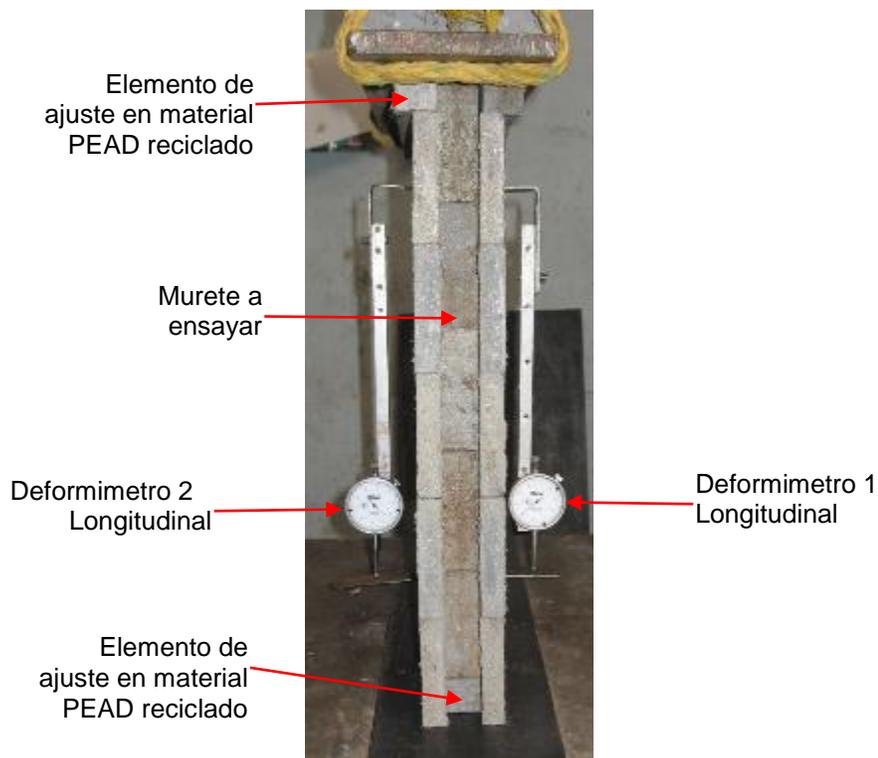


Figura 3-22: Montaje ensayo de compresión en muretes vista perfil. Fuente: Autor

- **Ensayo a compresión diagonal**

El ensayo a compresión diagonal en los muretes se realiza girando la muestra a 45° y apoyando las esquinas superior e inferior en aditamentos para generar estabilidad de la muestra sobre la máquina de ensayo, posterior a esto se ensaya la muestra, en total se ensayan 9 muestras, en la Figura 3-21 y Figura 3-22 se observa el montaje realizado. A continuación se describe el procedimiento utilizado para el ensayo:

A continuación se describe el procedimiento utilizado para el ensayo:

- Se registran medidas de las dimensiones de cada elemento tipo murete, en la Figura 3-22 se muestra la sección transversal de los muretes.
- Se marca con un nombre y se identifican con las iniciales CMT.
- Se monta el murete inclinado a 45° en la maquina universal como se muestra en la Figura 3-23.

- Se instala un deformímetro longitudinal con longitud de estudio de 40 cm en medio de la muestra.
- Se inicia el ensayo a una velocidad de 3 mm/min.
- Se inicia el ensayo a un incremento de carga manual de 2,0 kN.
- Se registran las deformaciones y carga máxima.
- Se lleva la muestra a la falla.

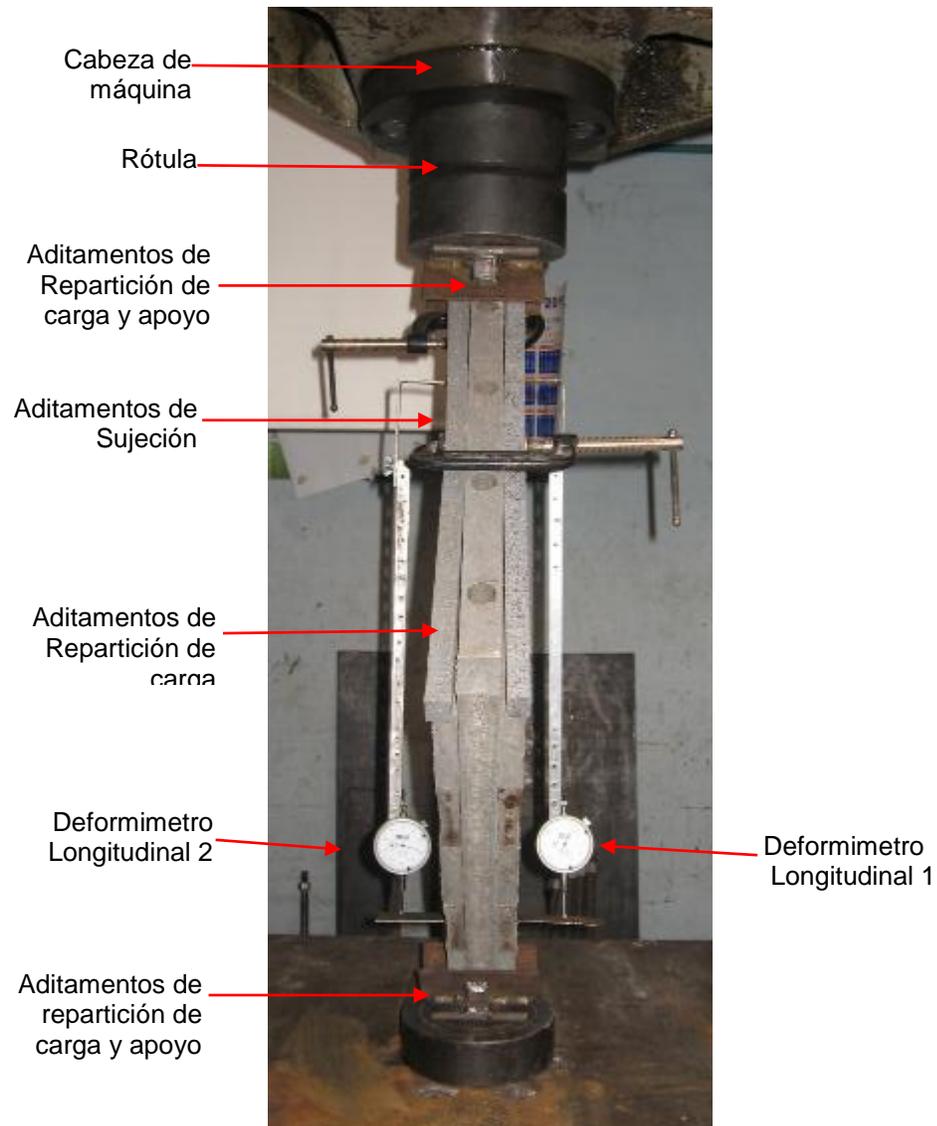


Figura 3-23: Montaje ensayo de compresión diagonal en muretes. Fuente: Autor

3.4 Ensayos en muros a escala real

Los muros a escala real tienen dimensiones de 2,25x1,27m, están conformados por el conjunto de bloques en marcados por una viga de cimentación en la parte inferior, una viga de remate en la parte superior y dos columnas en los extremos entre las dos vigas anteriormente mencionadas, el contorno del muro que forman los bloques ensamblados en las vigas y columnas, las cuales están conectadas por medio de láminas metálicas y unidas por pernos, como se muestra en Figura 3-24. El ensamblaje del muro se realiza de la siguiente forma:

- El muro consta de columnas y vigas de borde que enmarcan el conjunto de bloques plásticos PEAD reciclado de 495x95x70mm y 250x95x70mm, ver Figura 3-24.
- Los bloques se ensamblan inicialmente a presión sobre la viga de soporte.
- Luego de tener el muro ensamblado completo se procede a instalar las columnas y la viga superior de borde. Para esto fue necesario la utilización de montacargas y lubricar las ranuras.
- Se instalan platinas en las uniones viga columnas con pernos y tornillos.



Figura 3-24: Muros completos a escala real. Fuente: Autor

Los ensayos realizados a los muros buscan determinar la capacidad del muro en conjunto al verse sometido a fuerzas paralelas y perpendiculares a su plano y determinar su resistencia por unidad de longitud de muro y por área.

3.4.1 Ensayo a carga lateral estática en muros a escala real

El ensayo a cortante consiste en la aplicación de carga estática horizontal, en la parte lateral superior de una de las esquinas en sentido paralelo a su plano. Se realizaron tres ensayos, para el primero la unión viga columna se realizó con tornillos a presión, mientras que los dos ensayos siguientes se realizaron taladrando el material de prPEAD e instalando pernos roscados. A continuación se describe el procedimiento realizado para realizar el ensayo:

- Se registran medidas de las dimensiones del muro en forma global y la ubicación de los 3 deformímetros en éste.
- Se marca con un nombre y se indica la dirección de aplicación de la carga, la cual es la dirección del plano del muro.
- Se monta y sujeta el muro en el marco de carga mediante abrazaderas en los extremos de la viga de cimentación.
- Se instala en sentido horizontal una celda de carga de 1000 kN y un gato hidráulico de 500 kN ubicado en la parte superior del muro como se muestra en la Figura 3-25 y Figura 3-26. Para el análisis de datos arrojado por la celda de carga y convertir sus unidades a kilogramos se utilizó la siguiente ecuación con la cual fue calibrada:

Ecuación 1: factor de celda usado para convertir las unidades de celda en kilonewtons fue:

$$(0,0001 X^2 + 8,8127 X)/100$$

- Se instalan rieles en la h/3 de la parte superior para evitar movimientos fuera del plano.
- Se instalan tres deformímetros y una cinta métrica como se muestra en la Figura 3-25 con el objetivo de medir los desplazamientos debido al incremento de carga.

- Se inicia el ensayo con una precarga, se toman deformaciones cada dos unidades de celda.
- El ensayo finaliza por limitación del gato hidráulico.

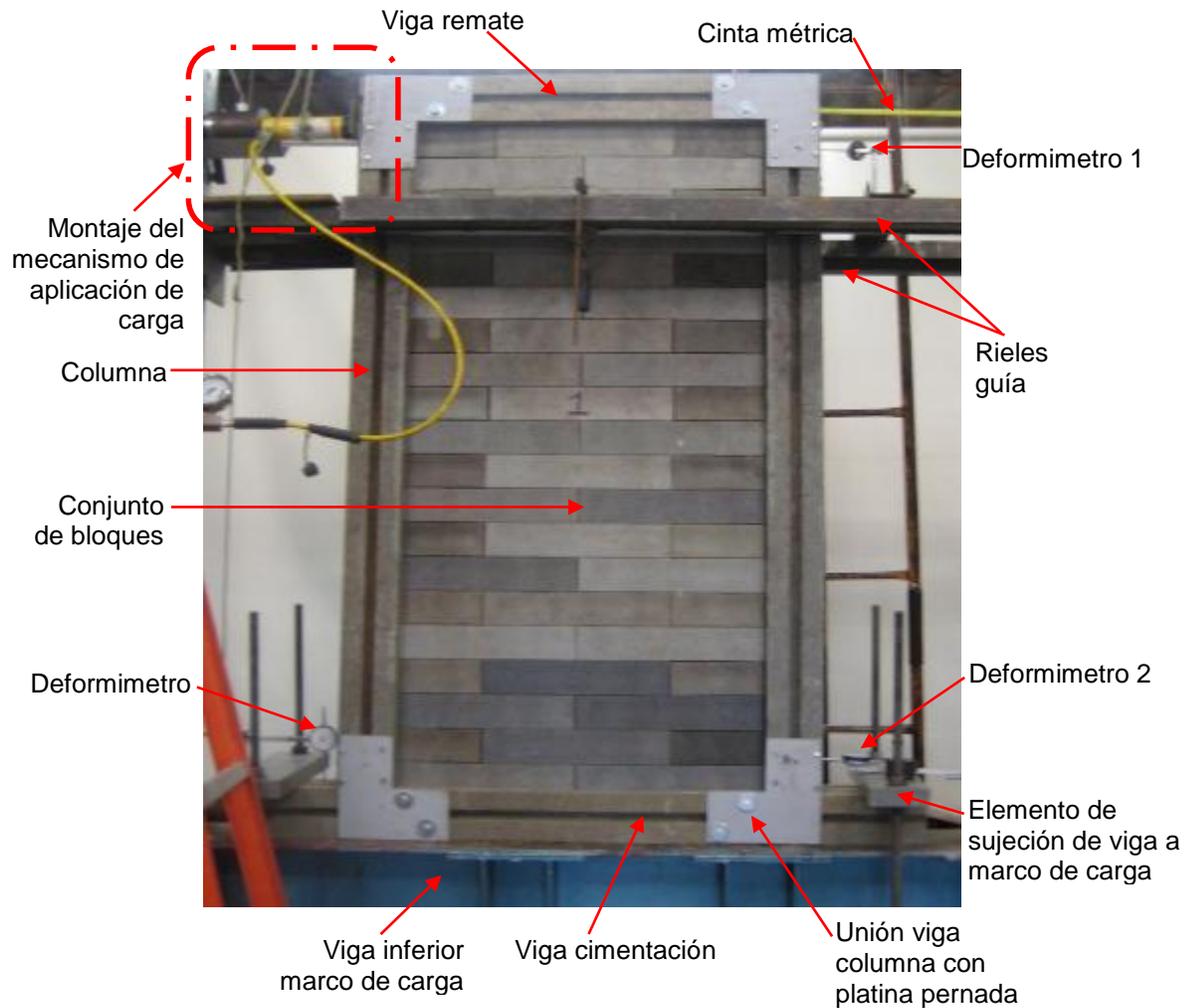


Figura 3-25: Muros completos a escala real. Fuente: Autor

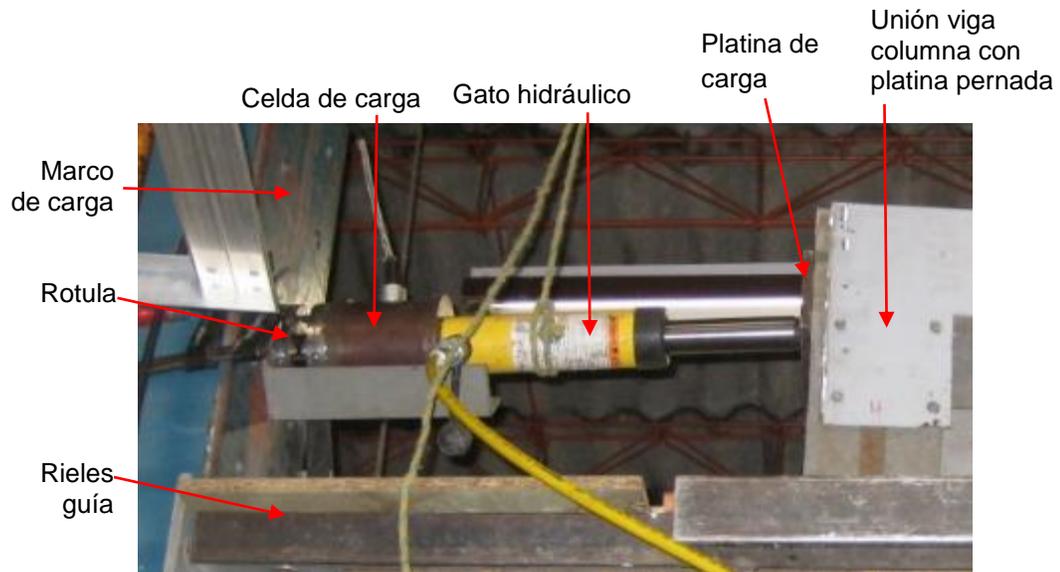


Figura 3-26: Detalle del mecanismo de aplicación de carga en ensayos en muros completos a escala real. Fuente: Autor

En la Figura 3-27 y Figura 3-28 se ilustra cómo se instalaron los tornillos y las platinas para la unión viga columna. En la Figura 3-27 se observa el desprendimiento de material debido a la no perforación previa para la instalación de los tornillos y la evidencia que no es posible darle una dirección recta y fácil a los tornillos mediante este método.

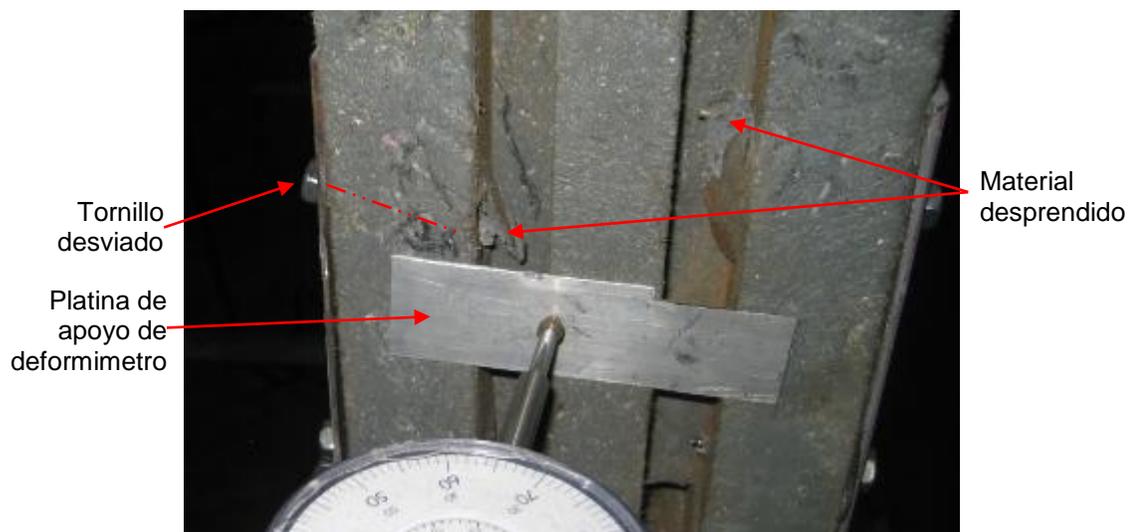


Figura 3-27: Detalle de instalación de tornillos sin perforación previa. Fuente: Autor

En la Figura 3-28 se muestra la perforación previa a la instalación de los tornillos, para este caso es posible ubicar el tornillo en la dirección deseada



Figura 3-28: Detalle de instalación de perno con perforación previa. Fuente: Autor

3.4.2 Ensayo a carga uniforme en muros a escala real

Para este ensayo se utilizan los muros completos; se busca determinar la capacidad del muro para resistir cargas distribuidas perpendiculares al plano. A continuación se describe el procedimiento llevado a cabo:

- Se ensambla el muro por completo como se describió al inicio en la sección 3.4 y se marca con un nombre.
- Se coloca el muro sobre apoyos simples donde la luz la determina la dimensión más larga del muro.
- Los apoyos consistían en bancos metálicos espaciados a 2,10 m. Es decir en el centro de las vigas como se muestra en la Figura 3-29 y Figura 3-31

- La carga uniforme se aplicó en etapas mediante sacos de arena de 15 kg previamente pesados siguiendo la secuencia indicada en la Figura 3-30.
- El incremento de carga se realiza luego de verificar que se han estabilizado los deformímetros.
- Se mide la deformación en tres puntos ubicados a $L/2$ espaciados en el centro de la sección transversal y los otros dos en los extremos de la misma; en $L/4$ se colocan 2 deformímetros uno en cada extremo como se muestra en la Figura 3-29.
- Por seguridad no se lleva la muestra a falla y se finaliza el ensayo cuando llega a una determinada deformación.

A continuación en la Figura 3-29 se muestra un esquema del montaje del ensayo:

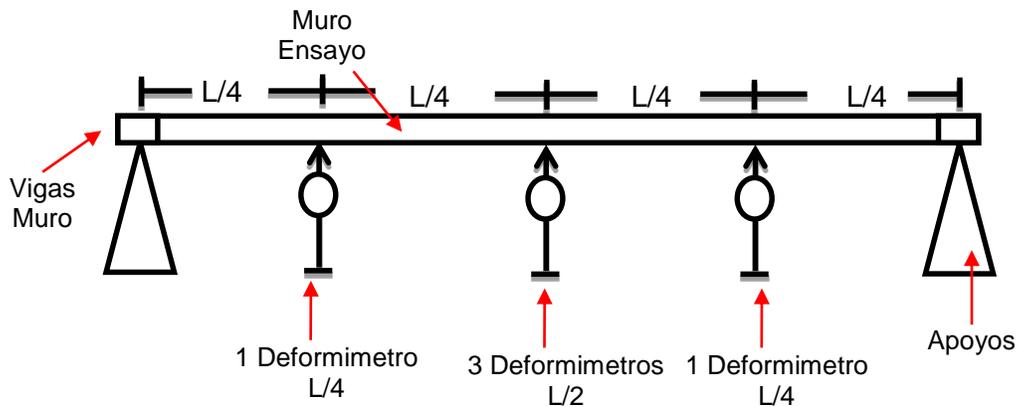


Figura 3-29: Esquema de montaje y ubicación para ensayo de carga distribuida.

Fuente: Autor

A continuación se muestra un esquema de la secuencia de carga para el ensayo, el esquema representa la vista en planta del muro acostado y los números representan la posición y secuencia de los sacos:

2	6	4	7	3
5	8	1	8	5
3	7	4	6	2

Figura 3-30: Secuencia de carga de ensayo de carga distribuida. Fuente: Autor



Figura 3-31: Montaje ensayo de carga uniforme sobre muros completos. Fuente: Autor

3.5 Ensayos sobre estructura tipo vivienda de prPEAD a escala real

Utilizando cada uno de los elementos descritos en las secciones 3.3 y 3.4 se puede construir una estructura de un nivel tipo vivienda habitable para una familia de 36m²,

destinada principalmente para refugios en casos de emergencia o vivienda para personas de bajos recursos.

Los ensayos realizados a la estructura buscan conocer su comportamiento bajo carga horizontal estática, el cual se simuló mediante un montaje que tiene una cercha adosada a una viga remate de prPEAD de la estructura en la parte superior por medio de pernos, como se observa en la Figura 3-32, Figura 3-33 y Figura 3-34 esta cercha superior está apoyada en el otro extremo en puntales tubulares metálicos anclados a la losa de cimentación construida en concreto. Del extremo de la cercha superior donde se apoya el puntal es colgada por medio de cadenas una bandeja de carga, de tal manera que se logra producir una fuerza horizontal en la parte superior de la casa.

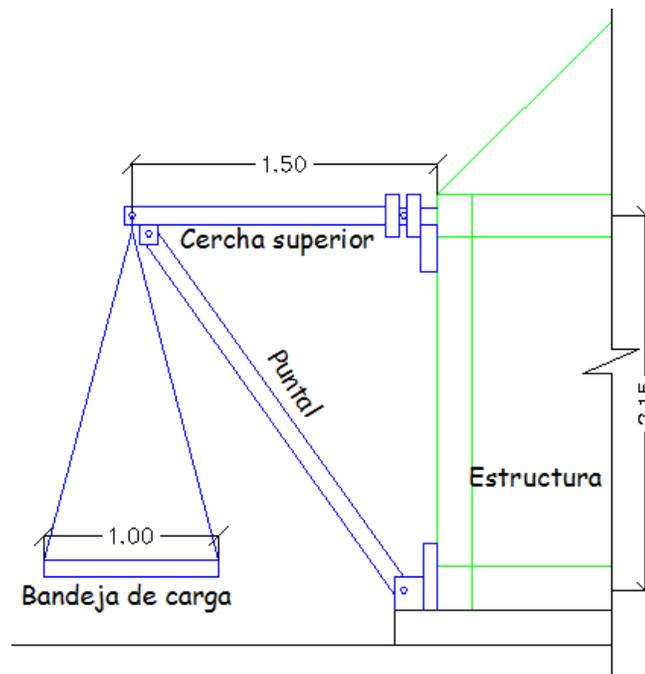


Figura 3-32: Esquema de montaje en estructura a escala real. Fuente: Autor



Figura 3-33: Montaje instalado en estructura a escala a escala real. Fuente: Autor



Figura 3-34: Montaje, unión de viga metálica de cercha superior a estructura a escala real. Fuente: Autor

El ensayo de carga lateral realizado a la estructura se realizó al aire libre con una temperatura promedio de 30°C en una finca propiedad de la fundación FICIDET ubicada en el municipio de Vijes en el departamento de Valle del Cauca al sur occidente de

Colombia; el ensayo buscaba evaluar el comportamiento general de los elementos y las diferentes conexiones. El ensayo a la estructura se realiza en una sola dirección, en el sentido paralelo a los pórticos 1, 2 y 3, como se observa en la Figura 3-35.

3.5.1 Prueba de carga lateral estática

En este capítulo se describen en detalle cómo estaba conformada la estructura tipo vivienda de prPEAD, el protocolo de carga utilizado para el ensayo a carga lateral y el montaje utilizado para medir los desplazamientos a medida que se incrementaba la carga.

3.5.1.1 Descripción de la estructura

La estructura es de forma cuadrada con dimensiones de 6,33 x 6,33 x 3,50 m y pesa aproximadamente 85 kN (Fuente: FICIDET) (42), la estructura consta de un sistema de resistencia similar al de mampostería confinada, los muros están conformados por un conjunto de bloques Brickarp®, columnas, vigas de cimentación y de remate unidas por medio de ranuras y pestañas; el conjunto de bloques enmarcados por vigas y columnas de prPEAD forman los muros. El conjunto de muros o el amarre de columnas por medio de vigas prPEAD conforman pórticos, la estructura estudiada está conformada por 5 pórticos como se observa en la Figura 3-35.

Las conexiones de los pórticos se realizaron por medio de pernos y láminas metálicas, los pórticos unidos forman la estructura principal que soporta la cubierta, la cual está formada por cerchas de elementos de prPEAD llamados viguetas o vigas acopladas de sección compuesta y tejas de eternit #6.

La estructura se conecta a una losa de cimentación en concreto reforzado de f'_c 210 MPa por medio de pernos y platinas metálicas en forma de ángulos con dimensiones de 250 x 500 x 2,50 mm conectadas a vigas de prPEAD llamados vigas de cimentación, estas uniones se instalan cada 500mm como se observa en la Figura 3-36.

En la Tabla 3-5 se muestra la cantidad y longitudes de columnas y vigas de remate y cimentación que conforman la estructura tipo vivienda:

Tabla 3-5: Cantidad de columnas y vigas de remate y cimentación que conforman la estructura tipo vivienda de prPEAD. Fuente: Autor.

Elemento	Cant.	Longitud (m)	Observación
Columna	9	2,40	9 Columnas en muros perimetrales y 1 columna central
Vigas de cimentación	12	2,80	Base de muros perimetrales
Vigas de remate	12	2,80	Parte superior de muros perimetrales

A continuación en la Figura 3-35 se muestra la planta estructural, el sentido de carga y la ubicación de los pórticos:

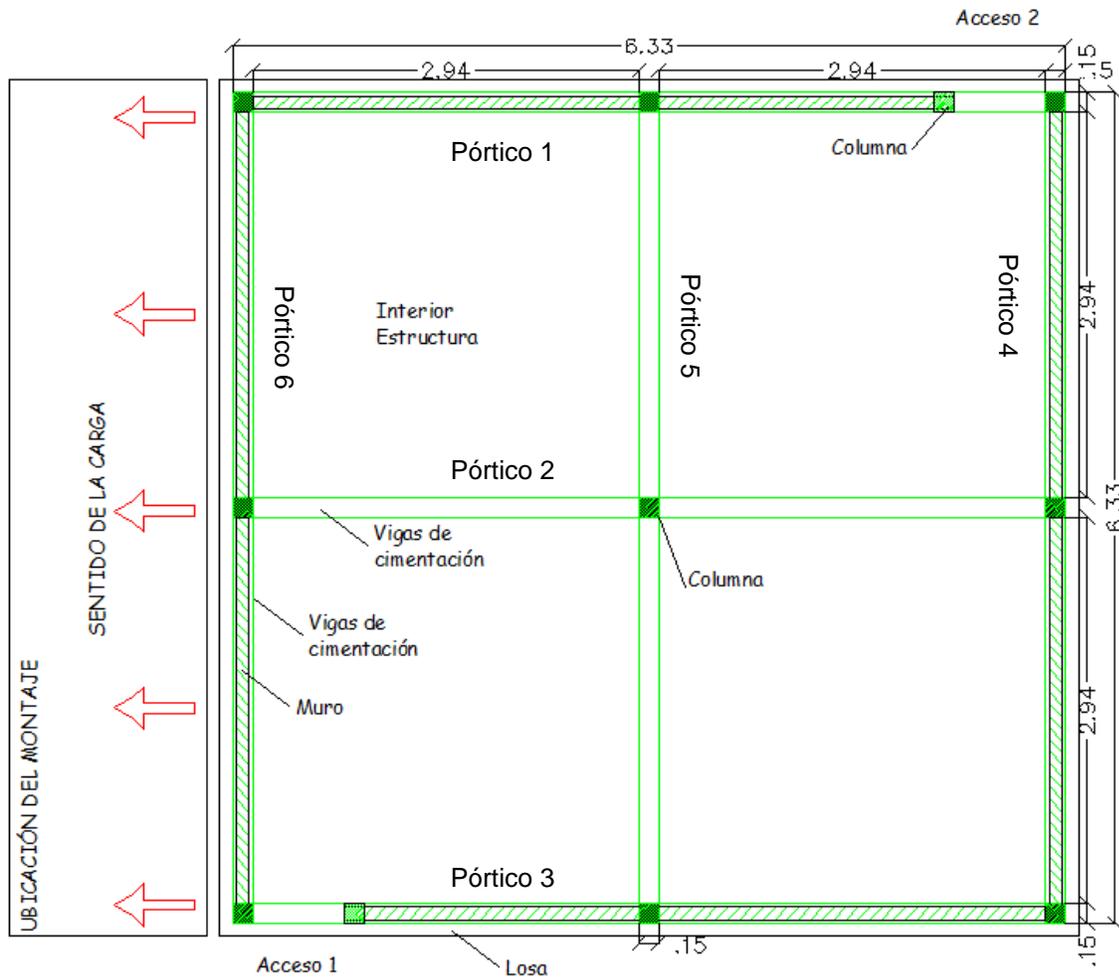


Figura 3-35: Planta estructural de estructura a escala real, sentido de carga y ubicación de pórticos. Fuente: Autor.



Figura 3-36: Vigas de cimentación ancladas a la losa de cimentación en estructura a escala real Fuente: Autor.

3.5.1.2 Protocolo de carga

A continuación se describe el protocolo de carga con el cual se ensayó la estructura tipo vivienda de prPEAD a carga lateral estática:

- Para la prueba de carga se utilizan 50,7 kN de arena, empacada en bolsas de 0,30 kN más el peso propio del montaje que era de 8,50 kN aproximadamente, en total la carga fue de 59,2 kN.
- La carga se colocará en 5 ciclos, los ciclos del 1 al 4 serán de 10,5 kN cada uno, el quinto ciclo será de 8,70 kN.

- La carga reposará sobre una bandeja de carga metálica colgada de cadenas sujetas de una cercha metálica anclada a la vivienda en la parte superior. La bandeja de carga se marcó mediante cuadrículas de acuerdo a la posición de la carga para cada ciclo establecido. A continuación se muestra un esquema del ciclo de carga:

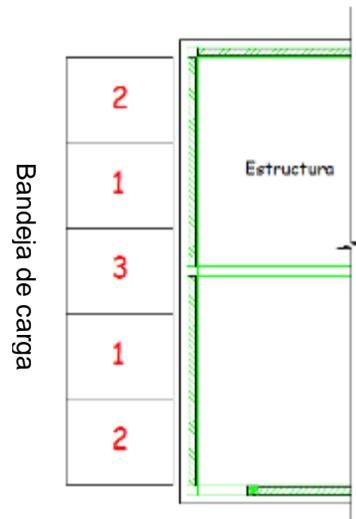


Figura 3-37: Esquema de ciclo de carga dibujado en la bandeja de carga. Fuente: Autor.

- La carga real aplicada en forma horizontal a la estructura es calculada por medio trigonometría del triángulo rectángulo, como se muestra a continuación en la Figura 3-38 y Figura 3-39.

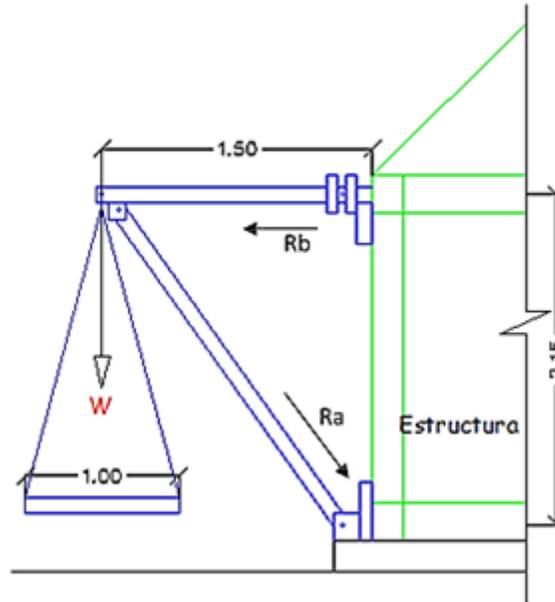


Figura 3-38: Esquema de fuerzas actuantes durante prueba de carga lateral. Fuente: Autor.

A continuación para calcular las fuerzas actuantes se establece un diagrama de cuerpo libre (DCL) que representa el montaje, la estructura y las cargas actuantes en la Figura 3-39:

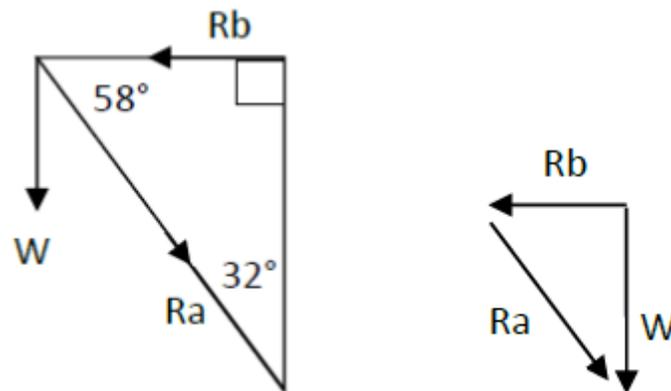


Figura 3-39: Esquema de DCL como representación de las cargas actuantes en el montaje hacia la estructura tipo vivienda de prPEAD. Fuente: Autor.

Para la carga máxima aplicada W de 59,2k N, R_a y R_b resultan ser 66,99 kN y 31,37 kN respectivamente; por lo tanto la fuerza en sentido horizontal X aplicada a la estructura es $R_b = 31,37$ kN.

3.5.1.3 Montaje de ensayo en estructura a escala real

A continuación se describe el montaje con el cual se ensayó la estructura tipo vivienda de prPEAD a carga lateral estática:

- El montaje consta de una bandeja de carga rectangular con dimensiones de 1 x 6,10 m, la cual consta de un marco colgado en el plano horizontal en vigas IPE 120 con viguetas en ángulos de 10,16mm (4"), la cual está suspendida con 6 tramos de cadena de 3/8" por 1,90m desde la cercha superior con 8 grilletes tipo Lira de 9,52mm (3/8") y 3 de 15,87mm (5/8"), como se observa en la Figura 3-33.
- La cercha superior en uno de sus extremos se encuentra apoyada en 4 puntales tubulares metálicos de 76,2mm (3") de diámetro y 7,94mm (5/16") de espesor con 2,68m mediante apoyos de articulación con tornillos de 25,4mm (1") grado 8 con restricciones de desplazamiento en 4 soportes tipo patín de 12,7mm (1/2"), como se observa en la Figura 3-34.
- Los soportes de los puntales en la parte inferior descansan y se ancla sobre la losa de cimentación de concreto y luego se unen a la viga de amarre inferior metálica en perfil canal u de 152,4mm (6") con longitud de 6,25m que hace parte del montaje y ésta a la vez se une con la viga de cimentación de prPEAD de la estructura, mediante pernos de 12,7mm (1/2") grado 8, como se observa en la Figura 3-40. Se destaca que el elemento de apoyo descansa sobre la losa de cimentación en concreto.

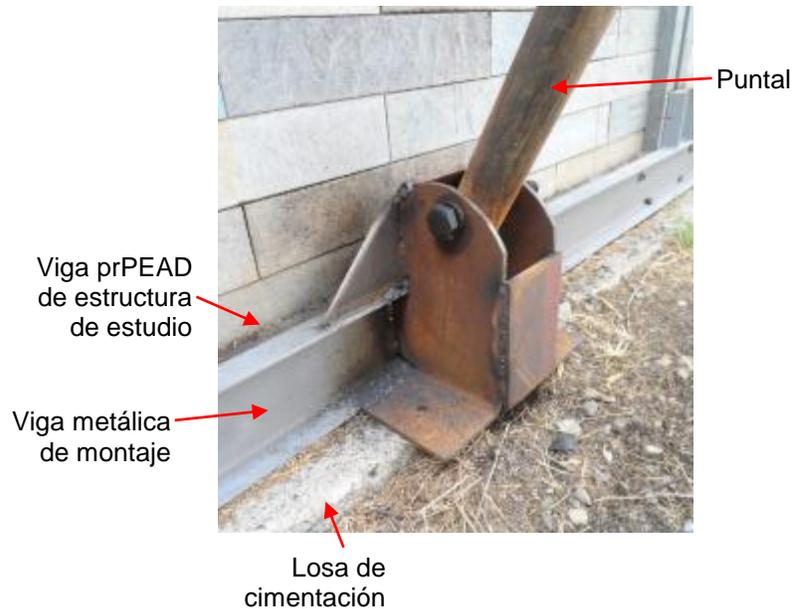


Figura 3-40: Apoyo de puntales en montaje. Fuente: Autor.

- La carga se transmite mediante una cercha superior fabricada con perfiles canal tipo U de 10,16mm (4") con dimensiones de 1,32x6,25m unida a una viga metálica en perfil u de 152,4mm (6") con longitud de 6,25m mediante 4 bisagras de 19,05mm (3/4") con pasadores de 25,4mm (1") y está a la vez unida a la estructura plástica en la viga superior mediante 8 pernos en 4 puntos a 200mm de cada columna, como se muestra en la Figura 3-33.
- El desplazamiento horizontal debido a la carga sobre la estructura se midió en cuatro puntos de la estructura ubicados en los pórticos 4 y 6 mediante el uso de plomadas, en la Figura 3-41, Figura 3-42 y Figura 3-43 se muestran los esquemas de ubicación y colocación de las plomadas y en la Figura 3-44 se muestra las plomadas ubicadas en la estructura a escala real de prPEAD.

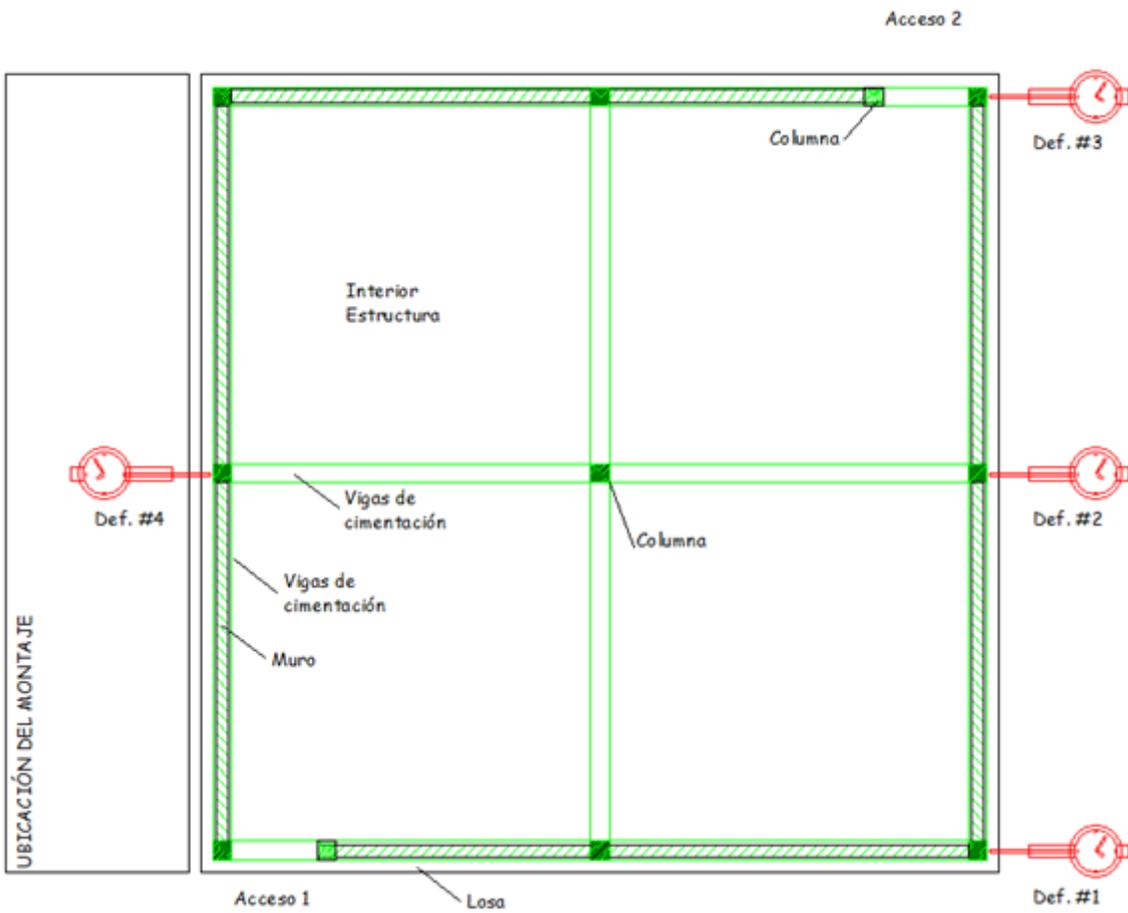


Figura 3-41: Ubicación de deformímetros en la estructura a escala real. Fuente: Autor.

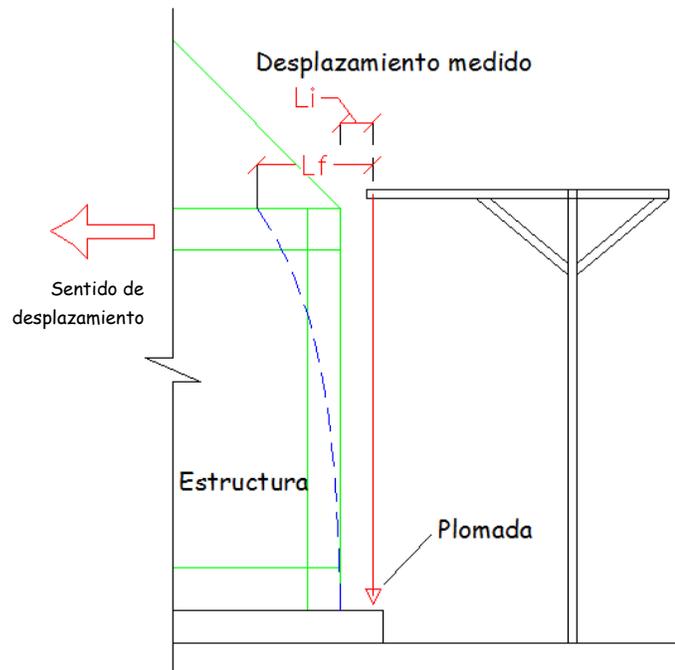


Figura 3-42: Esquema de sistema de medición de desplazamiento con plomadas en pórtico 4. Fuente: Autor.

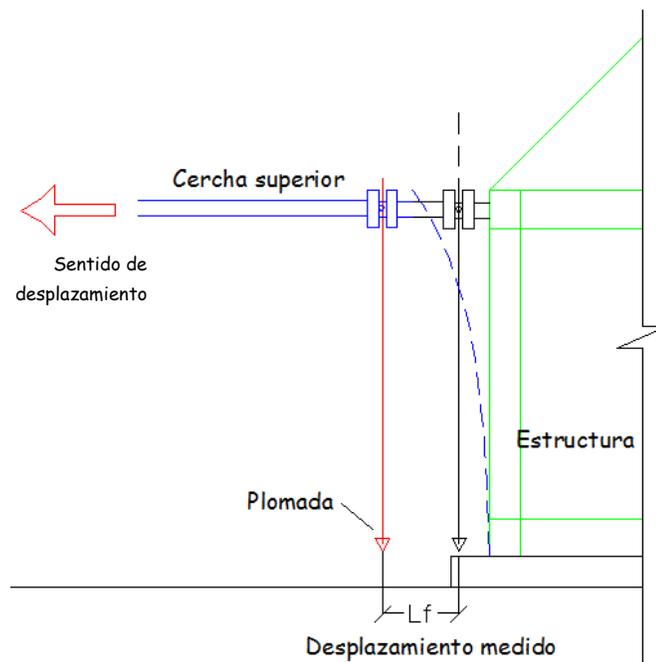


Figura 3-43: Esquema de sistema de medición de desplazamiento con plomadas en pórtico 6.



Figura 3-44: Plomadas utilizadas para medición de desplazamientos durante ensayo.

Fuente: Autor.

- Posterior al montaje e instalación de plomadas se marcan líneas de referencia de color rojo en los muros y en las uniones viga-columna para identificar de manera rápida desplazamientos locales de estas zonas de la estructura como se observa en la Figura 3-44, posterior a esto se toman las lecturas iniciales de las plomadas y se coloca la carga saco a saco en el sentido de ubicación descrito en la Figura 3-37 hasta completar cada ciclo de carga.



Figura 3-45: Marcas de referencia para medir desplazamientos locales. Fuente: Autor.

- Luego de cada ciclo de carga se esperan 5 minutos y se toman lecturas de desplazamientos para cada plomada, así hasta completar el quinto ciclo de carga, luego se esperó 1,50 horas para tomar nuevamente lectura de desplazamiento e iniciar el procedimiento de descarga, la cual se realiza con el mismo número de

ciclos, pero siguiendo el proceso contrario de colocación de bultos realizado en el momento de carga; es decir se descargó la estructura en el sentido contrario al cual se cargó y se tomaron lecturas de desplazamientos luego de cada ciclo de descarga hasta finalizar la prueba.

4. Resultados y análisis

En este capítulo se presenta cada uno de los resultados de los ensayos realizados a los materiales, elementos y estructuras utilizados en la investigación. Inicialmente se muestran los resultados de la caracterización de materiales y elementos individuales fabricados con prPEAD, luego se presentan los resultados de los ensayos a corte en estructuras tipo muros mediante la aplicación de carga horizontal estática y carga sobre el plano y con estos se muestra el análisis sísmico y de viento para las tres zonas de amenaza sísmica y zonas propensas y no propensas a huracanes según la NSR-10. También se muestran los resultados de ensayo a escala real de la estructura tipo vivienda donde se realizó una prueba de carga, para este caso se realizó un análisis sísmico según la NSR-10 según la localización donde se realizó el ensayo; adicionalmente se muestran graficas del comportamiento de la estructura en diferentes puntos estudiados durante el ensayo. Finalmente se realiza un análisis de costos para una vivienda convencional de un área similar a la construida con elementos prPEAD; su aporte a la sostenibilidad y a la accesibilidad a vivienda en Colombia.

4.1 Resultados de la caracterización de materiales y elementos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos a los materiales y elementos individuales utilizados en la investigación. Los ensayos realizados incluyeron resistencia a la compresión, compresión diagonal, cortante, tensión y flexión.

4.1.1 Muestra tipo cubo

Los resultados y análisis de los ensayos de compresión en las muestras tipo cubo se muestran a continuación para cada dirección de estudio.

- **Ensayo a compresión en muestras tipo cubo:**

- **Dirección de estudio X:**

El valor promedio del esfuerzo a compresión de las muestras ensayadas en la dirección X fue de 9,77MPa y valor característico de 4,65 MPa con un coeficiente de variación de 40%. La Figura 4-1 y Figura 4-2 muestra las fallas de dos muestras distintas al finalizar el ensayo.

El módulo de elasticidad pudo determinarse mediante las gráficas creadas a partir del comportamiento lateral de cada muestra, el valor promedio del módulo es 213,8 MPa y valor característico de 157 MPa con un coeficiente de variación de 17%. En la Figura 4-3 se puede observar el comportamiento de las muestras en sentido X, pero estas gráficas no llegan a la carga máxima debido a que los deformímetros llegaron al límite de extensión durante el ensayo.

Los resultados detallados del ensayo a compresión en muestras tipo cubo se presentan en el anexo A.



Figura 4-1: Fallas de dos muestras tipo cubo al finalizar ensayo a compresión en dirección X. Fuente: Autor.



Figura 4-2: Modos de fallas de dos muestras tipo cubo en ensayo a compresión en dirección X. Fuente: Autor.

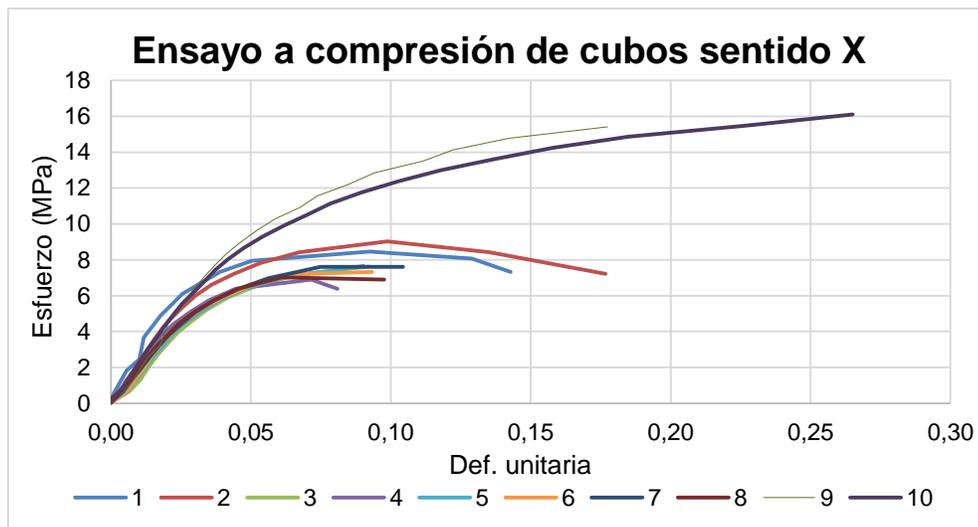


Figura 4-3: Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido X. Fuente: Autor.

○ **Dirección de estudio Y:**

El valor promedio del esfuerzo a compresión de las muestras ensayadas en la dirección Y fue de 10,98MPa y valor característico de 5,76 MPa con un coeficiente de variación de 53%. La Figura 4-4 muestra la falla típica de una muestra tipo cubo ensayada.

El módulo de elasticidad pudo determinarse mediante las gráficas creadas a partir del comportamiento lateral de cada muestra, el valor promedio del módulo

de elasticidad fue de 114,3 MPa y valor característico de 66 MPa con un coeficiente de variación de 28%. En la Figura 4-5 se puede observar el comportamiento de las muestras en sentido Y.

Los resultados detallados del ensayo a compresión en muestras tipo cubo se presentan en el anexo A.



Figura 4-4: Modo de falla de muestra tipo cubo en ensayo a compresión en dirección Y. Fuente: Autor.

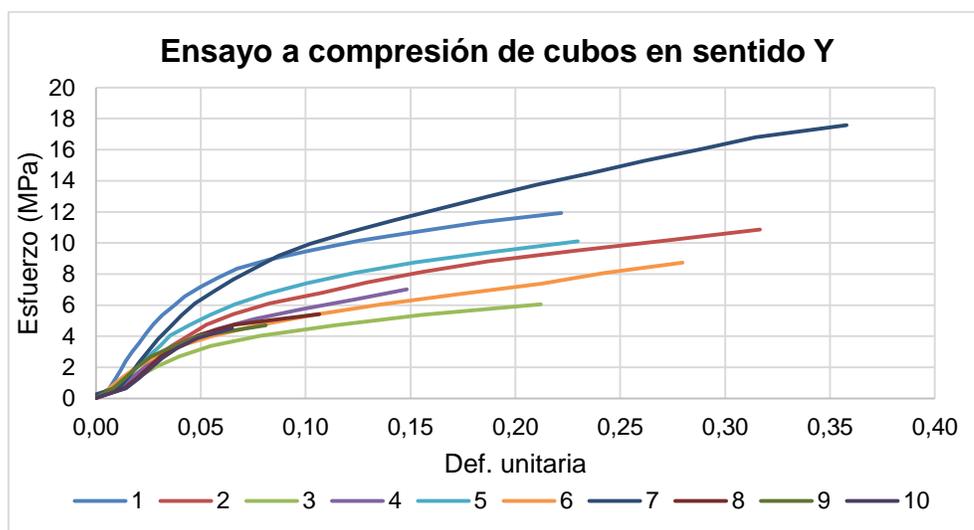


Figura 4-5: Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido Y. Fuente: Autor.

○ **Dirección de estudio Z:**

El valor promedio del esfuerzo a compresión de las muestras ensayadas en la dirección Z fue de 4,16 MPa y valor característico de 2,40 MPa con un coeficiente

de variación de 26%. La Figura 4-6 muestra la falla típica de dos muestras tipo cubo ensayadas.

El módulo de elasticidad pudo determinarse mediante las gráficas creadas a partir del comportamiento lateral de cada muestra, el valor promedio del módulo es 52,90 MPa y valor característico de 33 MPa con un coeficiente de variación de 20%. En la Figura 4-7 se puede observar el comportamiento de las muestras.

Los resultados detallados del ensayo a compresión en muestras tipo cubo se presentan en el anexo A.



Figura 4-6: Modo de falla de muestras tipo cubo en ensayo a compresión en dirección Z. Fuente: Autor.

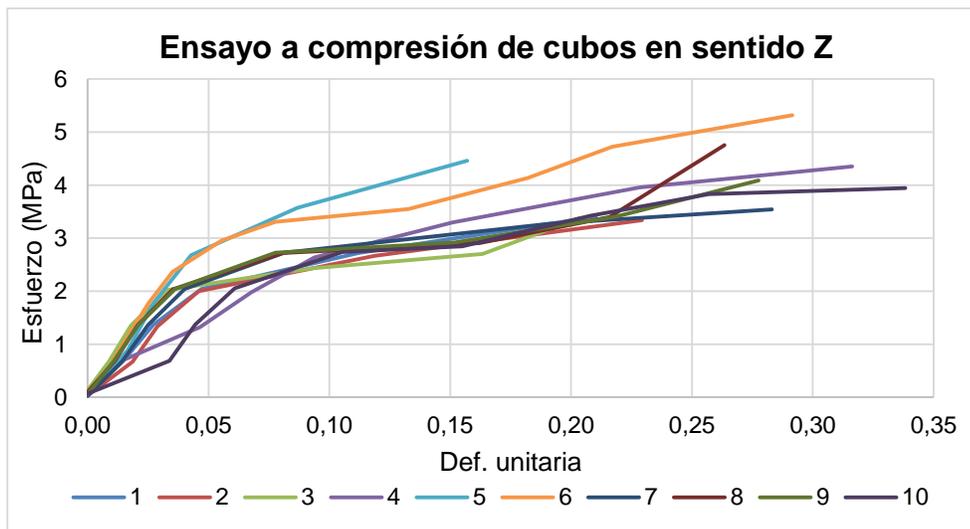


Figura 4-7: Comportamiento de muestras durante ensayo a compresión en sentido Z. Fuente: Autor.

Mediante los resultados de los diferentes ensayos en las tres direcciones de estudio se pudo analizar y comprobar que el material es anisótropo y heterogéneo, también se encontraron vacíos y poros de gran tamaño a lo largo del sentido Y en todas las muestras, similar a lo encontrado por Nosker (1.992) (39), Zarillo G (1.993) (40) y Breslin (1.998) (38) y documentado en el estado del arte en la sección 2.3, donde dicen que cuando el plástico se calienta en la extrusora, el agua se vaporiza formando burbujas en la mezcla y luego cuando se enfría, la humedad vaporizada es atrapada dentro del elemento plástico.

Se pudo analizar que el material en el sentido de estudio Y presenta mayor variabilidad de los resultados con una 53% y una desviación estándar 5,77 MPa sin embargo en este sentido de estudio se encontró el máximo esfuerzo promedio 10,98MPa.

Los resultados encontrados en el sentido de estudio X muestran para el valor promedio 9,77MPa una disminución del 11% respecto al sentido Y.

Mientras que para el sentido de estudio Z el cual es el sentido normal para la ubicación del bloque los resultados fueron menores en comparación con los otros sentidos de estudio, hasta un 57% menor que el sentido X y un 62% menor que el sentido Y. Sin embargo en este sentido se presenta la menor desviación estándar de 1,06MPa.

En el sentido Z se presentó un modo de falla característica, en donde el cubo se deformó o falló en gran medida hacia un costado; de lo cual, se analizó que la ubicación de los vacíos y poros en los bloque influyen en el modo de falla del material, por lo que al incrementarse la carga el elemento fallará hacia el costado más débil con mayor cantidad de vacíos. En el 50% de las muestras se observa entre 2,50MPa y 3,50MPa de esfuerzo gran deformación en donde se reacomoda el material y vuelvan a soportar carga, de lo cual se infiere que se produce un reacomodamiento del material donde se encuentran los vacíos, también se produce un calentamiento del material reacomodándose.

Al realizar los ensayos se observó salida de agua, según investigación se infiere que es propio del proceso de producción ya que luego de la extrusión en moldes el material se enfría rápidamente al sumergirlos en agua fría, no se encontró relación entre el contenido de agua y los resultados obtenidos.

4.1.2 Muestra tipo probeta a tensión

Las muestras tipo probeta son extraídas de los bloques individuales y el sentido de aplicación de carga es el Y. A continuación se describen los resultados de los ensayos a tensión en muestras tipo probetas

- **Ensayo a tensión en muestras tipo probeta:**

Para los ensayos a tensión el resultado promedio del esfuerzo de falla de las muestras fue de 5,71 MPa y valor característico de 4,57 MPa con un coeficiente de variación de 10,5% de 9 de 10 muestras ensayadas; la muestra 3 se deslizó en las mordazas de la máquina durante el ensayo y no pudo llegar a la falla por lo cual fue descartada, en la Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10 se muestran fallas de las muestras ensayadas.

Los resultados detallados de los ensayos a tensión en muestras tipo probeta se muestra en el anexo B.

Tabla 4-1: Resultados de resistencia a tensión en muestras tipo probeta. Fuente: Autor.

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.	Módulo de Elasticidad
		(kN)	(MPa)	(MPa)
1	T-01	3,32	6,54	389,00
2	T-02	3,23	6,49	428,99
3	T-03			
4	T-04	2,65	5,19	304,22
5	T-05	2,75	5,93	308,86
6	T-06	2,55	5,18	317,80
7	T-07	3,01	6,24	416,36
8	T-08	2,83	5,31	309,51
9	T-09	2,71	5,03	291,60
10	T-10	2,57	5,45	304,25
Promedio:		2,845	5,708	341,177
Desviación estándar:		0,280	0,598	54,118
Coeficiente de variación		9,85%	10,5%	15,8%
<u>Valor característico</u>			<u>4,57</u>	<u>251,14</u>

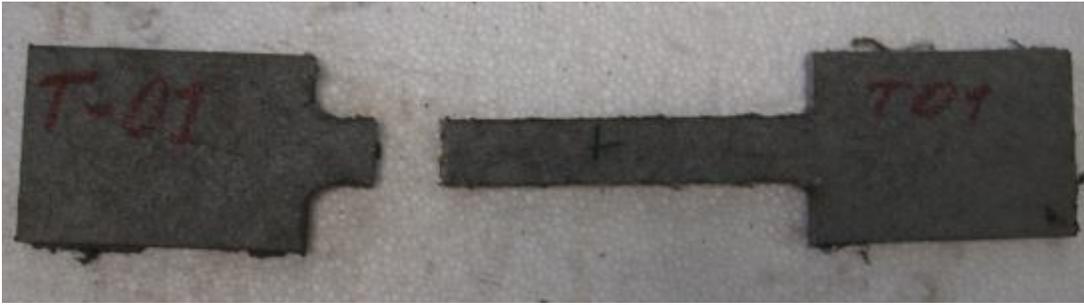


Figura 4-8: Modo de falla en extremo de muestra tipo probeta, ensayo a tensión.
Fuente: Autor



Figura 4-9: Modo de falla en centro de muestra tipo probeta, ensayo a tensión. Fuente: Autor



Figura 4-10: Modo de falla a 1/3 de la longitud de muestra tipo probeta, ensayo a tensión. Fuente: Autor

Todas las muestras fallaron en la zona estrecha establecida para fallar, sin embargo se obtuvieron diferentes modos de fallas. Seis de las muestras fallaron en el centro de la

muestra, dos en el extremo y para las dos últimas las muestras se deslizaron en las mordazas durante el ensayo y no se pudo llevar a la falla.

No se observó reducción de la sección en la zona de falla ni alargamiento significativo del material en esta misma zona, por lo que se puede inferir que el tipo de falla es relativamente frágil.

En la Figura 4-11 se observa el comportamiento de las muestras ensayadas a tensión y de la cual se puede inferir que el material presenta gran deformación a medida que aumentan las cargas, el esfuerzo máximo resistido fue de 6,52MPa.

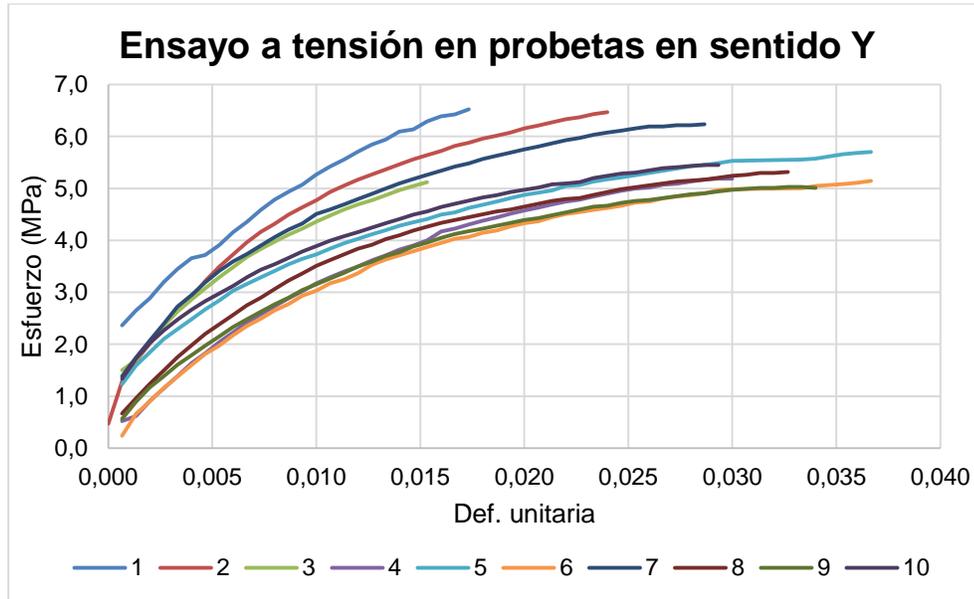


Figura 4-11: Comportamiento de muestras durante ensayo a tensión. Fuente: Autor

4.1.3 Muestra tipo corte – ensayos a cortante

En esta sección se muestran los resultados de las tres metodologías seguidas para determinar la resistencia a corte del material prPEAD y al final se muestran los resultados de la metodología escogida y vuelta a ensayar.

Las muestras tipo corte son extraídas de los bloques individuales, las de la metodología del punzón la aplicación de la carga es en sentido X, la metodología de sección de bloque y de sección de aleta de bloque es en sentido Z.

Los resultados detallados de los ensayos a corte para cada metodología se presentan en el anexo C.

Los ensayos de cortante en el material extraído de los bloques individuales para cada metodología ensayada se muestran a continuación:

- **Ensayo de corte - Metodología #1: Tipo lámina**

Para los ensayos a corte mediante el uso del punzón en sentido de estudio X, bajo la norma ASTM-732 el valor característico de esfuerzo a cortante para tres muestras ensayadas fue de 5,60 MPa, con un coeficiente de variabilidad de 8,14%. En la Tabla 4-2 se muestran los resultados de los 3 ensayos realizados, mientras que en la Figura 4-12 se muestra la falla característica de las muestras tipo lámina.

Tabla 4-2: Resultados de resistencia a corte en muestras tipo lámina. Fuente: Autor.

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1	4,35	7,45
2	CT-2	3,74	6,39
3	CT-3	4,34	7,29
Promedio:		4,14	7,04
Desv. estándar:		0,349	0,571
Coeficiente de variación		8,43%	8,14%
<u>Valor característico</u>		<u>3.30</u>	<u>5.60</u>



Figura 4-12: Modo de falla punzón perfora lamina, ensayo a corte 1. Fuente: Autor.

En cada muestra ensayada se podía observar estiramiento de las fibras en el perímetro del área de corte y perforación de la lámina en donde fue cargada bajo el punzón metálico sin desprender porción de material, como se observa en la Figura 4-12.

- **Ensayo a corte metodología de sección de bloque:**

Se ensayaron 3 muestras en sentido Z. El valor característico de esfuerzo cortante determinado bajo el ensayo a corte fue de 2,58 MPa con un coeficiente de variación de 8,10%. En la Tabla 4-3 se muestran los resultados mientras que en la imagen Figura 4-13 se muestra el modo de falla característico.

Tabla 4-3: Resultados de resistencia a corte en muestras tipo bloque. Fuente: Autor.

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx. (kN)	Esf. Máx. (MPa)
1	CT-1 B	2490	3,64
2	CT-2 B	2192	3,17
3	CT-3 B	2167	3,17
Promedio		2.283	3,33
Desv. Estándar		179,7	0,271
Coeficiente de variación		7,8%	8,1%
<u>Valor característico</u>			<u>2,58</u>



Figura 4-13: Modo de falla sección de bloque ensayada a cortante. Fuente: Autor.

Se observa un modo de falla característica en dos muestras ensayadas, de forma curva en comparación con al sentido de la carga. Al analizar estos resultados puede inferirse que el material central al recibir carga se abulta hacia los costados del bloque como se muestra en la Figura 4-14, durante este comportamiento el material experimenta calentamiento por la fricción del reacomodamiento.

Una de las muestras ensayadas presenta un modo de falla tal que el material central ó sección central sufre aplastamiento y desgarrar el material de las aletas a los costados provocando una línea de falla paralela a la carga. El cizallamiento producido solo es producido hasta donde el aplastamiento se produce.

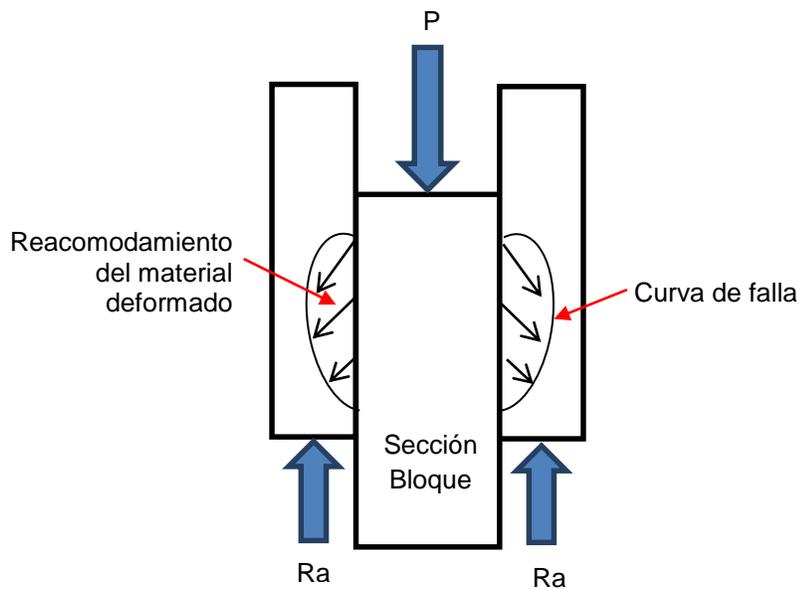


Figura 4-14: Hipótesis del comportamiento del material durante ensayo a cortante.

Fuente: Autor.

- **Ensayo a corte metodología de sección de aleta de bloque:**

El modo de falla de las tres muestras ensayadas no se considera corte puro, ya que la falla es similar al ser ensayada a flexión porque la falla se presenta en el centro de la luz, por lo que los resultados no reflejan la capacidad del material a resistir esfuerzos cortantes, en la Figura 4-15 se observa el modo de falla característico.

Los apoyos del montaje son de primer orden y se pudo observar durante el ensayo pequeños movimientos de éstos en sentido horizontal, lo que pudo haber influenciado en los resultados obtenidos.



Figura 4-15: Modo de falla en el centro de luz, ensayo a cortante. Fuente: Autor.

- **Ensayo de corte para metodología escogida por resultados - Metodología #1:**

- Tipo lámina:**

De las tres metodologías ensayadas para determinar la resistencia a corte en el material de prPEAD, en la que se observó corte puro sin anomalías en la forma de transferencia de carga fue en la metodología 1 tipo lámina, por lo cual se realizó ensayo a corte a 7 muestras más iguales a las primeras 3 ensayadas, para tener un total de 10 ensayos a corte. En la Tabla 4-4 se muestran las resistencias a cortante arrojadas de las 10 muestras ensayadas con la metodología 1.

Según la Tabla 4-4 el valor promedio de esfuerzo máximo resistente a cortante en el material de prPEAD estudiado es de 6,42 MPa para una carga a corte resistente de 3,78 kN con un coeficiente de variación de 18,5% y valor característico de 3,90 MPa.

Tabla 4-4: Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a cortante por metodología escogida tipo lámina

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1	4,35	7,45
2	CT-2	3,74	6,39
3	CT-3	4,34	7,29
4	CT-4	2,44	4,17
5	CT-5	2,56	4,38
6	CT-6	4,34	7,32
7	CT-7	4,04	6,99
8	CT-8	4,12	6,95
9	CT-9	3,74	6,28
10	CT-10	4,1	6,97
Promedio:		3,78	6,42
Desviación estándar:		0,709	1,191
Coeficiente de variación		18,7%	18,5%
<u>Valor característico</u>			<u>3,90</u>

4.1.4 Bloques Brickarp®

Los bloques Brickarp® se ensayan a compresión y se aplica la carga en sentido Z como se mencionó en la sección Bloques Brickarp®.

- **Ensayo a compresión en bloques con y sin agujeros verticales:**

El valor promedio de esfuerzo a compresión en bloques individuales sin agujeros fue de 4,81 MPa con coeficiente de variación de 26,1% y valor característico de 2,58 MPa.

El valor promedio de esfuerzo a compresión en bloques con agujeros es de 6,60 MPa con coeficiente de variación de 9,56% y valor característico de 3,32 MPa. En total se ensayaron 5 muestras con agujeros y 5 muestras sin agujeros. En la Tabla 4-5 y Tabla 4-6 se muestran los resultados de los ensayos en bloques Brickarp® con y sin agujeros, mientras que en la Figura 4-16 muestra la falla de característica al finalizar el ensayo.

En el anexo D se muestran los resultados en detalle de los ensayos a compresión en bloques Brickarp® con y sin agujeros.

Tabla 4-5: Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a compresión por bloques Brickarp con agujeros en ensayo a compresión. Fuente: Autor

Nº de Ensayo	Tipo de muestra	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.
			(kN)	(MPa)
1	Con agujeros	CB-1	261,5	8,23
2	Con agujeros	CB-2	212,5	6,67
3	Con agujeros	CB-3	261,8	8,32
4	Con agujeros	CB-4	134,2	4,22
5	Con agujeros	CB-5	178,1	5,58
Promedio			209,62	6,60
Desv. Estándar			55,01	1,755
Coeficiente de variación			26,2%	26,1%
<u>Valor característico</u>			<u>102,6</u>	<u>3,15</u>

Tabla 4-6: Valores de esfuerzo y carga máxima resistido a compresión por bloques Brickarp sin agujeros en ensayo a compresión. Fuente: Autor

Nº Ensayo	Tipo de muestra	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.
			(kN)	(MPa)
6	Sin agujeros	CB-6	144,5	4,52
7	Sin agujeros	CB-7	178,0	5,59
8	Sin agujeros	CB-8	154,0	4,80
9	Sin agujeros	CB-9	151,9	4,74
10	Sin agujeros	CB-10	141,1	4,42
Promedio			153,9	4,81
Desv. Estándar			14,47	0,461
Coeficiente de variación			9,40%	9,57%
<u>Valor característico</u>			<u>122,5</u>	<u>3,85</u>



Figura 4-16: Fallas de dos muestras tipo cubo al finalizar ensayo a compresión en dirección Z. Fuente: Autor.

Se encontró la mayor variabilidad en las muestras con agujeros CB-1 a CB-5 y en ellas se obtuvieron los mayores y menores esfuerzos máximos a compresión en comparación con las muestras sin agujeros que tuvieron una menor variabilidad en sus resultados.

La falla característica fue por aplastamiento del material y expansión lateral (sentido X) del material a partir de una altura promedio de 6,30cm medidos desde la base del bloque y expansión del material por aplastamiento en sentido Y, es decir se observó que el material interno falló y trató de salir hacia afuera en todo el perímetro del bloque como se observa en la Figura 4-16.

Al inicio de cada ensayo y para ajustar la carga en toda el área en planta del bloque se instalaron elementos de ajuste de prPEAD cortados de otros bloques y durante el inicio del ensayo los datos pudieron ser variables debido al ajuste y acomodamiento de estos elementos.

Al comparar los resultados de esfuerzo máximo promedio de ensayos a la compresión en muestras tipo cubo en sentido Z con resultados de 4,16 MPa y elementos tipo bloques individuales con resultados de 4,94MPa se puede observar la similitud de los resultados sin embargo la variabilidad en el resultado de los cubos fue mayor. Se plantea la hipótesis que al fabricar los bloques individuales el material compacto queda muy cercano a la superficie del elemento e internamente el material es poroso y con vacíos, por lo tanto al

realizar el corte de los bloques los resultados varían dependiendo de la zona donde se ubiquen los vacíos en el proceso de fabricación.

4.1.5 Columnas con canales y espigos de ensamble

Para los elementos tipo columnas con canales y espigos de ensamble de prPEAD se ensayaron 15 elementos con dimensiones de 2,40m, 1,60m y 0,80m a compresión axial (5 columnas por cada dimensión), a continuación se describen los resultados y se muestra el análisis realizado para cada tipo de columna.

- **Ensayo a compresión en columnas de 2,40m:**

Para las columnas con canales y espigos de ensamble de 2,40m el valor promedio del esfuerzo máximo a compresión fue de 3,89MPa para cinco muestras con coeficiente de variación de 8% y valor característico de 3,17 MPa; en la Tabla 4-7 se muestran los resultados.

Tabla 4-7: Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 2,40m ensayadas a compresión. Fuente: Autor

Columnas	Carga Máxima	Esfuerzo Máximo
	(kN)	(MPa)
CC-01	74,0	4,07
CC-02	70,5	3,90
CC-03	76,9	3,71
CC-04	64,0	3,50
CC-05	78,3	4,26
Promedio	72,7	3,89
Desviación Estándar	5,75	0,30
Coeficiente de variación	8%	8%
Valor característico	<u>59,3</u>	<u>3,17</u>

En la Figura 4-17 se puede observar la falla característica por pandeo, mientras que en la Figura 4-18 se muestra el comportamiento de la muestra CC-01 durante el incremento de carga, en esta gráfica se muestran los cambios de deformación sufridos por la muestra en sentido longitudinal y lateral y se considera falla o culminación de los ensayos cuando al incrementar la carga esta se mantiene constante y aumentan las deformaciones en gran medida ya que por seguridad los ensayos no se llevan a la rotura del elemento.

Los resultados en detalle de cada tipo de columna sometidos a compresión axial se muestran en el anexo D.



Figura 4-17: Modo de falla por pandeo de columna de 2,40m en ensayo a compresión.

Fuente: Autor.

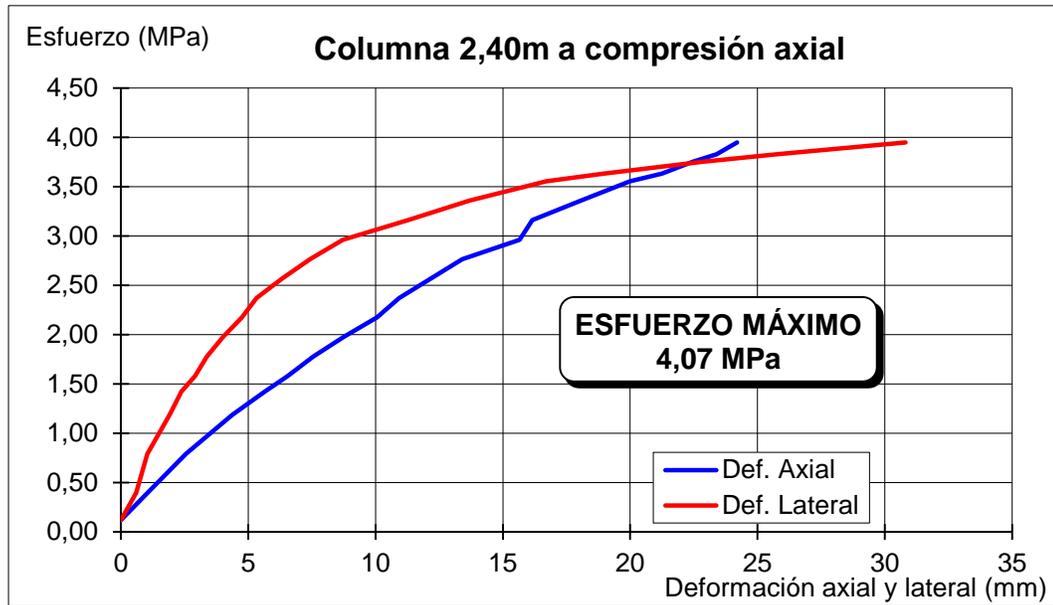


Figura 4-18: Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC-01 ensayo a compresión en columnas de 2,40m. Fuente: Autor.

• **Ensayo a compresión en columnas de 1,60m:**

El valor promedio del esfuerzo máximo a compresión fue de 5,64 MPa para cinco muestras con coeficiente de variación de 8% y valor característico de 4,63 MPa; en la Tabla 4-8 se muestran los resultados.

Tabla 4-8: Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 1,60m ensayadas a compresión. Fuente: Autor

Columnas	Carga Máxima	Esfuerzo Máximo
	(kN)	(MPa)
CC-06	100,6	5,52
CC-07	105,6	5,85
CC-08	104,9	5,05
CC-09	99,8	5,46
CC-10	116,3	6,32
Promedio	105,4	5,64
Desviación Estándar	6,60	0,47
Coeficiente de variación	6%	8%
<u>Valor característico</u>	<u>91,1</u>	<u>4,63</u>

En la Figura 4-19 se puede observar la falla característica por pandeo, mientras que en la Figura 4-20 se muestra el comportamiento de la muestra CC-06 durante el incremento de carga; en esta gráfica se muestran los cambios de deformación sufridos por la muestra en sentido longitudinal y lateral.

Los resultados en detalle de cada tipo de columna sometidos a compresión axial se muestran en el anexo D.



Figura 4-19: Modo de falla por pandeo de columna de 1,60m en ensayo a compresión.

Fuente: Autor.

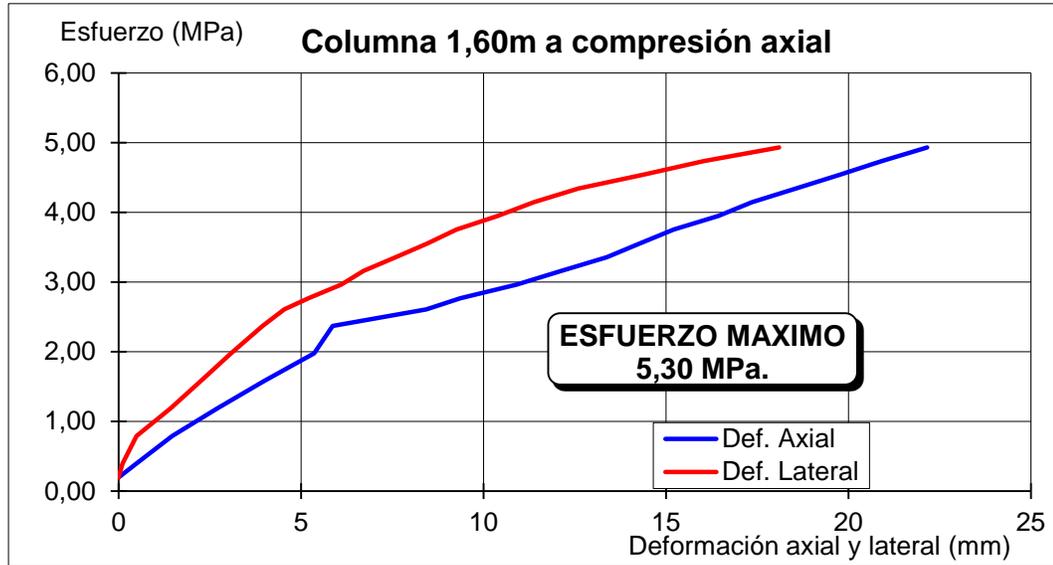


Figura 4-20: ⁵Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC-06 ensayo a compresión en columnas de 1,60m. Fuente: Autor.

• **Ensayo a compresión en columnas de 0,80m:**

El valor promedio del esfuerzo máximo a compresión fue de 8,09 MPa para cinco muestras con coeficiente de variación de 7% y valor característico de 6,81 MPa, en la Tabla 4-9 se muestran los resultados.

Tabla 4-9: Resumen y análisis estadístico de resultados de carga máxima y esfuerzo máximo de muestras de columnas de 0,80m ensayadas a compresión. Fuente: Autor

Columnas	Carga Máxima	Esfuerzo Máximo
	(kN)	(MPa)
CC-11	140,6	7,72
CC-12	141,4	7,83
CC-13	157,1	7,57
CC-14	160,7	8,79
CC-15	157,1	8,54
Promedio	151,4	8,09
Desviación Estándar	9.580	0,54
Coeficiente de variación	6%	7%
<u>Valor característico</u>	<u>130,6</u>	<u>6,81</u>

⁵ El esfuerzo máximo que se indica en la Figura 4-20 se observó durante el ensayo luego de retirar los deformímetros ya que habían llegado a su límite de medición.

En la Figura 4-21 se puede observar la falla característica por pandeo, mientras que en la Figura 4-22 se muestra el comportamiento de la muestra CC-11 durante el incremento de carga; en esta gráfica se muestran los cambios de deformación sufridos por la muestra en sentido longitudinal y lateral.

Los resultados en detalle de cada tipo de columna sometidos a compresión axial se muestran en el anexo D.



Figura 4-21: Modo de falla por pandeo de columna de 0,80m en ensayo a compresión.

Fuente: Autor.

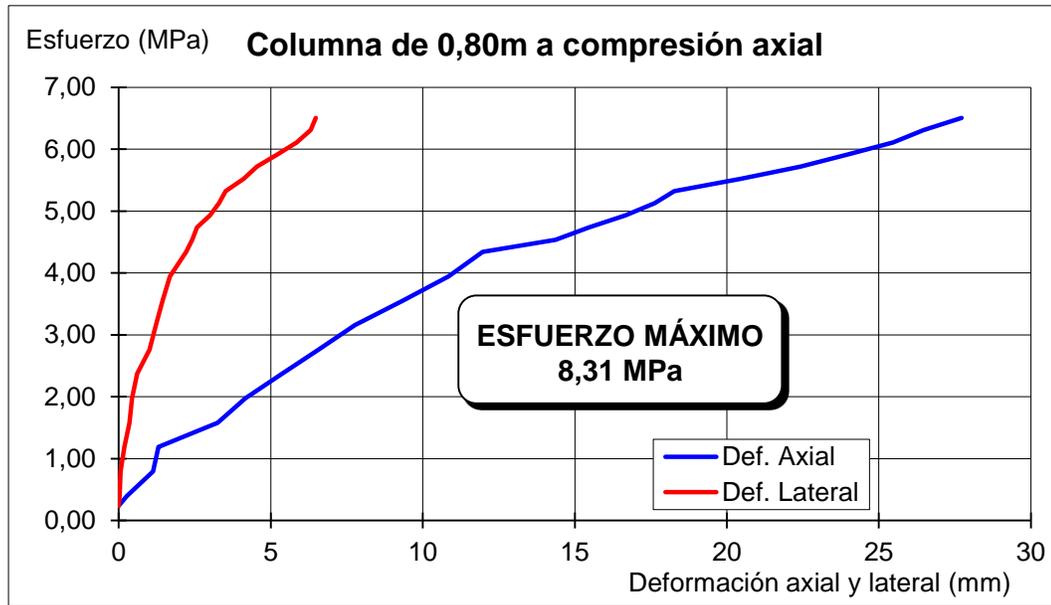


Figura 4-22: ⁶Comportamiento esfuerzo vs deformación axial y lateral en muestra CC-06 ensayo a compresión en columnas de 0,80m. Fuente: Autor.

De los resultados obtenidos para los ensayos a compresión para los tres tipos de columnas se puede inferir que la cantidad de carga y esfuerzo resistente son directamente proporcionales a la longitud del elemento, teniendo en cuenta que las secciones de las muestras son constantes.

Todos los modos de falla fueron por pandeo lateral, no es posible determinar una carga crítica a la inestabilidad del elemento mediante el modelo matemático de Euler para elementos esbeltos ya que el material no cumple la Ley de Hooke y el material es heterogéneo y anisótropo.

Las columnas de 0,80m tienen una resistencia a la compresión de 1,53 y 1,32 veces la resistencia de las columnas de 2,40m y 1,60m respectivamente. Como se observa en la Tabla 4-10.

⁶ El esfuerzo máximo que se indica en la Figura 4-22 se observó durante el ensayo luego de retirar los deformímetros ya que habían llegado a su límite de medición.

Las columnas de 1,60m alcanzaron una resistencia promedio máxima a la compresión de 1,32 veces la resistencia de las columnas de 2,40m.

En la estructura a construir tipo vivienda el uso de las columnas principales serán de longitudes de 2,40m, la cuales tuvieron una resistencia a la compresión variable entre 3,50MPa y 4,26MPa; mientras que las deformaciones laterales variaron entre 12mm y 24mm debido al pandeo lateral.

En la Figura 4-8 se muestra un resumen de los valores promedio de resistencia a la compresión de cada tipo de columna.

Tabla 4-10: Resumen de resultados de valores característicos de esfuerzos máximos de cada tipo de columna sometida a ensayo a compresión. Fuente: Autor

	Columnas de 2,40m		Columnas de 1,60m		Columnas de 0,80m	
	Carga Máxima	σ máx.	Carga Máxima	σ máx.	Carga Máxima	σ máx.
	(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)
Promedio	72,7	3,89	105,4	5,64	151,4	8,09
Desviación Estándar	5,75	0,3	6,6	0,47	9,580	0,54
Coefficiente de variación	8%	8%	6%	8%	6%	7%
Valor característico	59,3	3,17	91,1	4,63	130,6	6,81

4.1.6 Vigas de cimentación y de remate con pestañas

Las vigas de cimentación y de remate son utilizadas como elementos de borde superior e inferior en muros de prPEAD de la vivienda, estas vigas tienen una sección transversal igual que las columnas como se describió en la sección 3.3.6; se estudiaron 4 vigas a flexión y se enumeraron como VR1 hasta VR4; a continuación se muestran los resultados y análisis de los ensayos.

- **Ensayo a flexión en vigas con pestaña de 1,16m:**

Para los ensayos a flexión de vigas de 1,16 m de cimentación y de remate con pestañas el momento resistente último promedio en el centro de la luz fue de 1,87 kN*m con un coeficiente de variación de 14% y valor característico de 1,28 MPa.

El módulo de elasticidad calculado del material arrojado por en los ensayos dio como valor promedio 6,30 MPa con coeficiente de variación de 22%, el valor de módulo de elasticidad se calculó deduciéndolo de la ecuación de deflexión en el centro de la luz de la Ecuación II para un patrón de carga como se muestra en la Figura 4-23, los resultados de cada muestra ensayada se pueden observar en la

Tabla 4-11, mientras que en el anexo E se muestra en detalle los resultados de ensayo a flexión en vigas de cimentación y remate con pestaña.

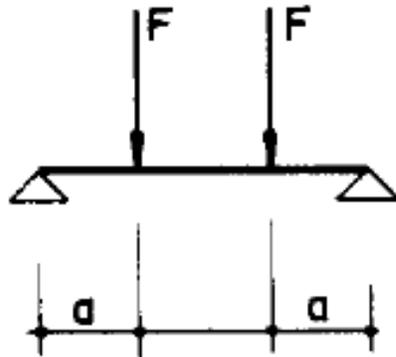


Figura 4-23: Patrón de carga utilizado en ensayo a flexión en vigas. Fuente: Autor.

Ecuación II: Deflexión en centro de viga para patrón de carga en $L/3$ y $L/3$ con apoyos simples

$$\delta_{max} = \frac{Fa(3L^2 - 4a^2)}{24EI}$$

Tabla 4-11: Resumen de resultados de carga máxima, momento máximo en centro de luz y módulo de elasticidad para vigas de 1,16m⁷. Fuente: Autor

VIGAS	Carga Máxima	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de Elasticidad (Ez)
	kN	kN*m	MPa
VR1	17,6	2,18	638
VR2	21,6	1,56	825
VR3	15,8	1,87	522
VR4	20,2	1,87	537
Promedio	18,8	1,87	630
Desviación Estándar	2,61	0,26	139
Coeficiente de variación	14%	14%	22%
<u>Valor característico</u>	<u>13,6</u>	<u>1,28</u>	<u>353</u>

A continuación en la Figura 4-24 y Figura 4-25 se puede observar la flexión en la viga y modo de falla respectivamente durante ensayo a flexión en las vigas estudiadas.



Figura 4-24: Flexión en viga de cimentación y remate con pestaña de 1,16m durante ensayo a flexión. Fuente: Autor.

⁷ La carga máxima en la tabla es menor a la carga máxima de falla de las muestras, a las cuales no pudo medírseles las deformaciones ya que los deformímetros llegaron a su límite de extensión durante el ensayo



(a)



(b)

Figura 4-25: (a) y (b) Modo de falla en centro de luz de la viga durante ensayo a flexión en viga 1,16m de cimentación y remate con pestaña. Fuente: Autor.

El comportamiento de las vigas durante el ensayo de deflexión se observa en la Figura 4-26, durante los ensayos los deformímetros llegaron a su límite de extensión y por lo cual no se tabuló deformación más allá de lo mostrado en las gráficas, pero no se pudieron medir deformaciones hasta llegar a la falla porque la extensión de los deformímetros llegó a su límite de medida, lo cual provocó que se continuaran los ensayos hasta fallar las muestras a flexión sin medir deformaciones.

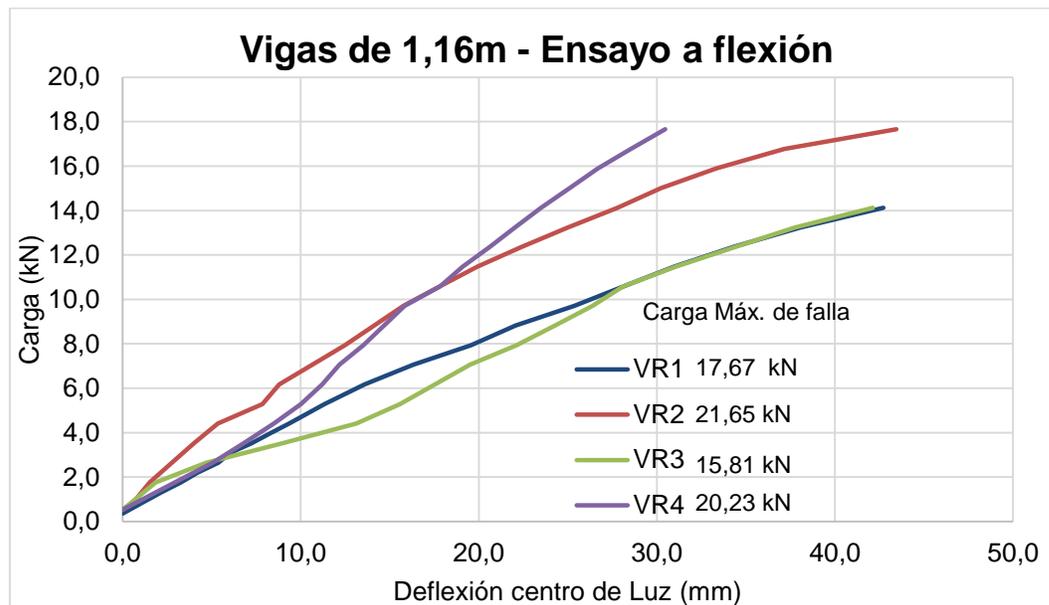


Figura 4-26: Comportamiento a flexión de vigas remate y cimentación de 1,16m.
Fuente: Autor.

En la Figura 4-27 se grafica momento elástico vs deformación en el centro de la luz y se indica el momento máximo elástico presente en la sección de la viga, el momento se calculó mediante la Ecuación III para solicitaciones en el rango elástico del material, el cual se determinó mediante la identificación de una pendiente tangente en las gráficas de la Figura 4-26.

Ecuación III: Momento flector

$$M = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} * I}{c}$$

El esfuerzo de límite de proporcionalidad se calculó con la última carga aplicada en el rango elástico determinado con la pendiente anteriormente mencionada, dividida entre el área de la sección transversal, para luego con este esfuerzo determinar el momento de límite de proporcionalidad.

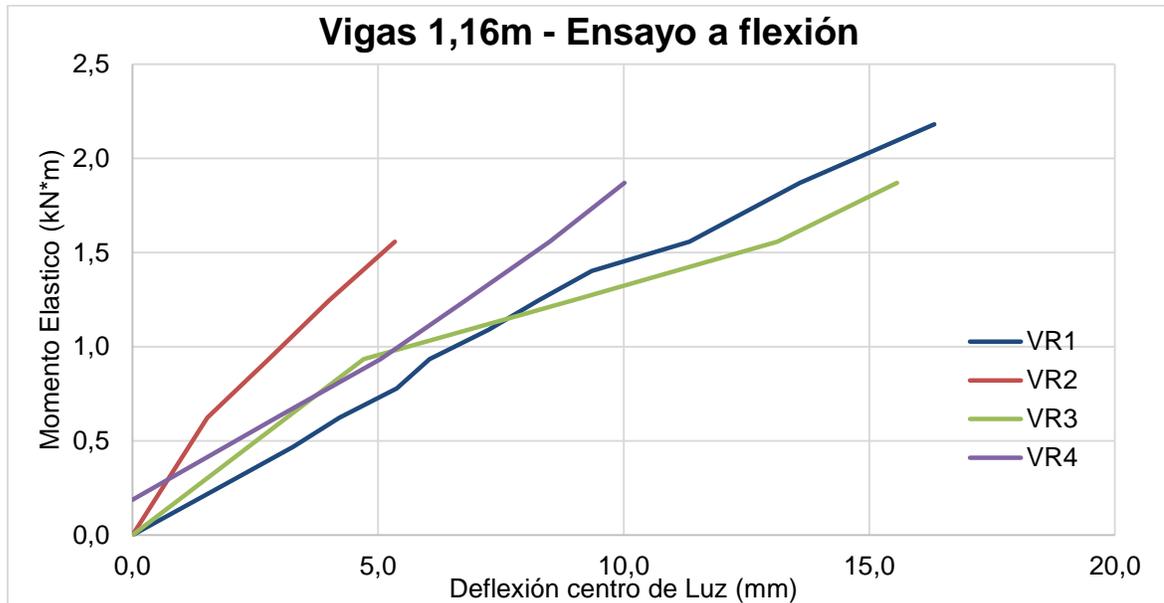


Figura 4-27: Comportamiento del Momento elástico vs deflexión en el centro de la luz de vigas de 1,16m durante ensayo a flexión. Fuente: Autor.

Del comportamiento de las muestras durante el ensayo a flexión se puede inferir que el material sufre grandes deformaciones debido al incremento de carga, también se puede observar que para el momento máximo resistido existe un coeficiente de variabilidad de 14%.

4.1.7 Viguetas o correas

Las viguetas o correas son utilizadas como elementos que conforman las cerchas que soportan la cubierta de la vivienda, estas vigas tienen una sección transversal de 55 x 120 mm y longitud variable como se describió en la sección 3.3.7; se estudiaron 5 elementos a flexión y se enumeraron como R1 hasta R5, la longitud de los elementos estudiados fue de 1150mm; a continuación se muestran los resultados y análisis de los ensayos.

- **Ensayo a flexión:**

Para los ensayos a flexión de viguetas de 1,50 m el momento resistente último promedio en el centro de la luz fue de 1,04 kN*m con un coeficiente de variación de 29% y valor característico de 0,46 kN*m.

Mediante el análisis del comportamiento de las vigas durante el ensayo y modelos matemáticos pudo determinarse el módulo de elasticidad del material dando como valor promedio 1,68 MPa con un coeficiente de variación de 18% y valor característico de 1,10 MPa, todos estos resultados se muestran en la Tabla 4-12, mientras que en la Figura 4-28 y Figura 4-29 se puede muestra la flexión de la viga y el modo de falla respectivamente.

En el anexo E se muestra en detalle los resultados de ensayo a flexión en viguetas o correas.



Figura 4-28: Flexión en viga vigueta de 1,50m ensayo a flexión. Fuente: Autor.

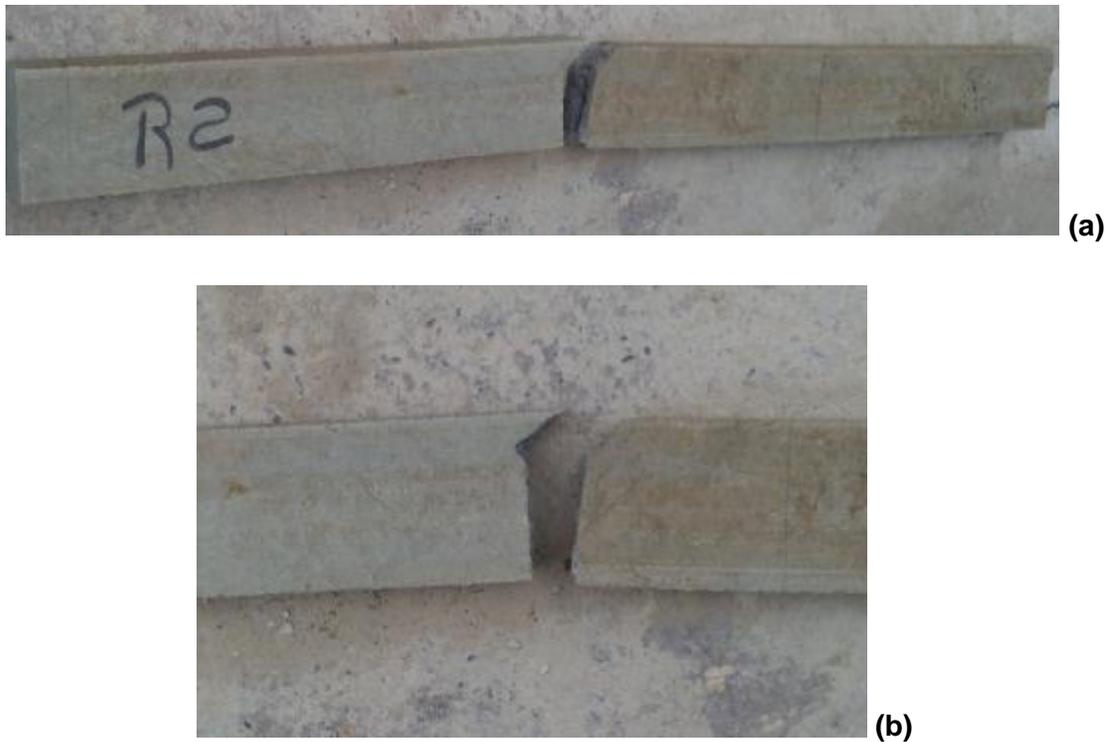


Figura 4-29: (a) y (b) Modo de falla en viga vigueta de 1,50m sometida a flexión.

Fuente: Autor.

En la Figura 4-30 se grafica la carga aplicada vs deformación en el centro de la luz y se indica la carga máxima soportada por la viga antes de la falla, se puede observar que los datos hasta la carga máxima no están graficados esto es porque la extensión de los deformímetros es limitada y no pudo registrarse más datos de deformación luego de la última carga en la gráfica.

El momento se calculó mediante la Ecuación III para solicitaciones en el rango elástico del material, el cual se determinó mediante la identificación de una pendiente recta en la Figura 4-30

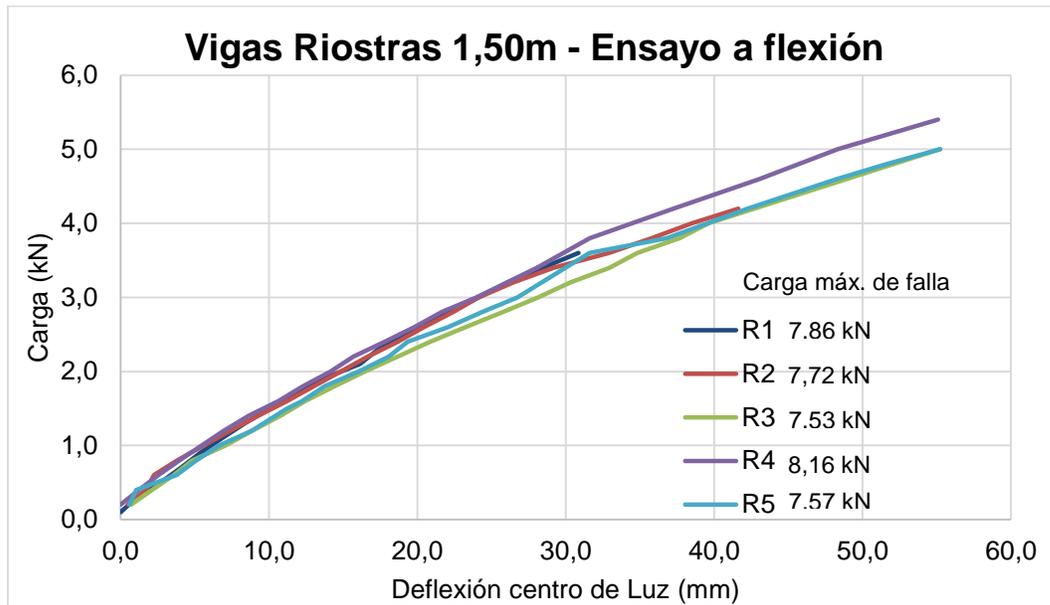


Figura 4-30: Comportamiento a flexión de viga vigueta 1,50m, muestra R-1. Fuente: Autor.

En la siguiente Figura 4-31 se grafica momento vs deformación en el centro de la luz.

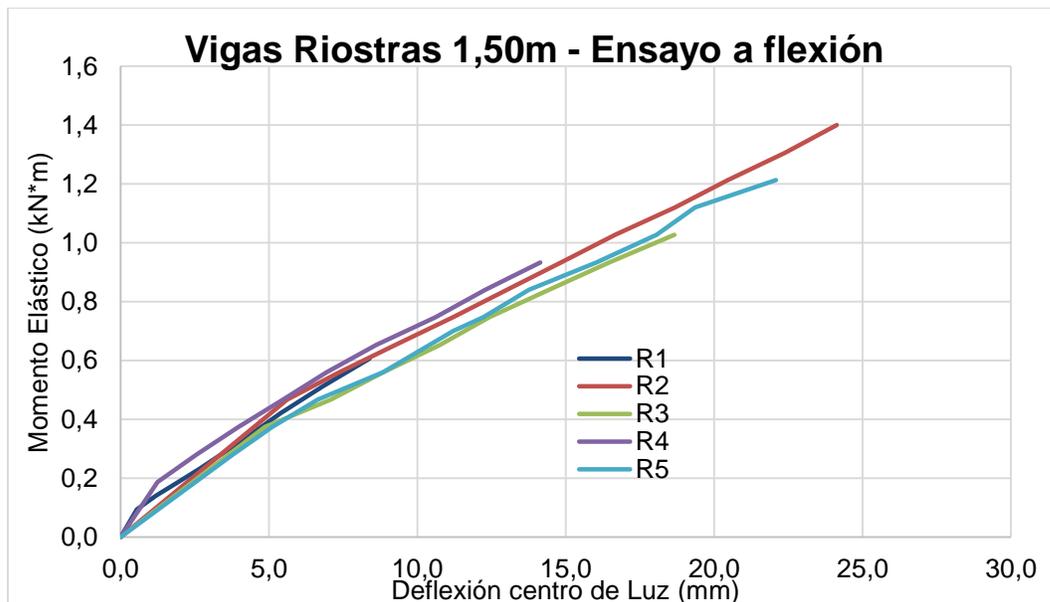


Figura 4-31: Momento vs deflexión en el centro de la luz de vigueta 1,50m a flexión, muestra VR-1. Fuente: Autor.

Se realizó un análisis estadístico de los resultados de los ensayos a flexión y se muestran en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12: Resumen de resultados de carga máxima, momento máximo en centro de luz y módulo de elasticidad para viguetas de 1,50m. Fuente: Autor

VIGUETA 1,50m	Carga máxima	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de elasticidad Ez
	kN	kN*m	MPa
R1	7,86	0,61	1560
R2	7,72	1,40	1510
R3	7,53	1,03	1430
R4	8,16	0,93	2050
R5	7,57	1,21	1420
Promedio	7,77	1,04	1680
Desviación estándar	0,26	0,30	310
Coefficiente de variación	3,34%	28,8%	18,4%
<u>Valor característico</u>	<u>7,22</u>	<u>0,46</u>	<u>1100</u>

Se encontró que las vigas con pestañas soportan 44% más momento flector que las viguetas.

El módulo de elasticidad en sentido Z promedio es 1,55 mayor para las vigas viguetas de sección cuadrada superando a las vigas con pestañas, sin embargo estos valores son muy variables para los dos tipos de elementos, una hipótesis de estos resultados pueden ser explicados con el proceso de fabricación ya que estos elementos de prPEAD al ser reciclados pueden contener todo tipo de plástico adicional y esto puede ocasionar una variabilidad en los resultados.⁸

4.1.8 Vigas acopladas de sección compuesta

Las vigas acopladas tienen una sección compuesta por dos viguetas cuadradas, una lámina metálica en medio y unidos por cuatro pernos en su longitud de 2,40m, se

⁸ La materia prima para los elementos ensayados es el PEAD reciclado de todo tipo de artículo (envases, tubería entre otros) por lo tanto las características de los diferentes lotes pueden variar.

ensayaron 5 muestras a flexión y se identificaron desde VAC-1 a VAC-5. A continuación se muestran los resultados y análisis de los ensayos a flexión en vigas acopladas.

- **Ensayo a flexión:**

Para los ensayos a flexión de vigas acopladas de 2,40m el momento resistente último promedio en el centro de la luz fue de 4,19 kN*m con un coeficiente de variación del 21% y valor característico de 2,47 MPa.

Mediante el análisis del comportamiento de las vigas durante el ensayo y modelos matemáticos pudo determinarse el módulo de elasticidad del material dando como valor promedio 3,29 MPa con coeficiente de variación de 25% y valor característico de 1,79 MPa, todos estos resultados se muestran en la Tabla 4-12.

En la Figura 4-32 y Figura 4-33 se puede observar la flexión de la viga y el modo de falla respectivamente.

En el anexo E se muestra en detalle los resultados de ensayo a flexión en vigas.



Figura 4-32: Flexión en viga vigueta de 2,40m ensayo a flexión. Fuente: Autor.

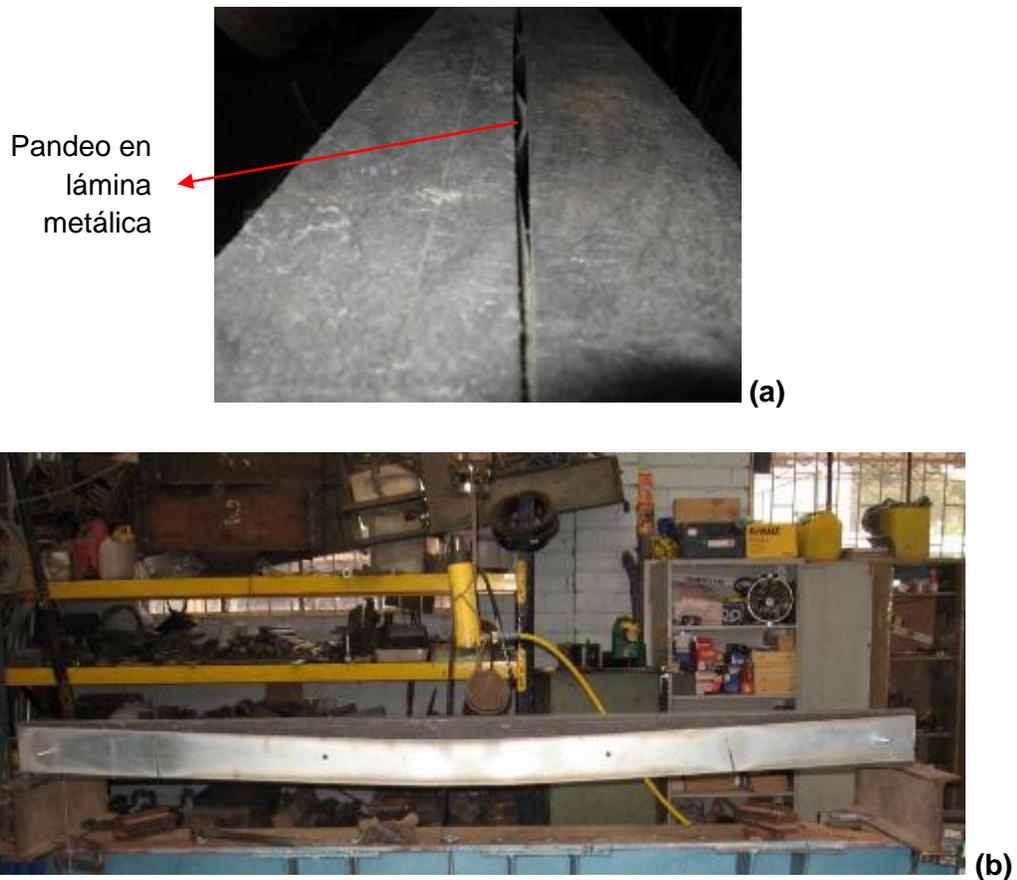


Figura 4-33: (a) y (b) Modo de falla en viga acoplada 2,40m sometida a flexión. Fuente: Autor.

En la Figura 4-34 se grafica carga aplicada vs deformación en el centro de la luz y se indica la carga máxima soportada por la viga antes de la falla, se puede observar que los datos hasta la carga máxima no están graficados esto es porque la extensión de los deformímetros es limitada y no pudo registrarse más datos de deformación luego de la última carga en la gráfica.

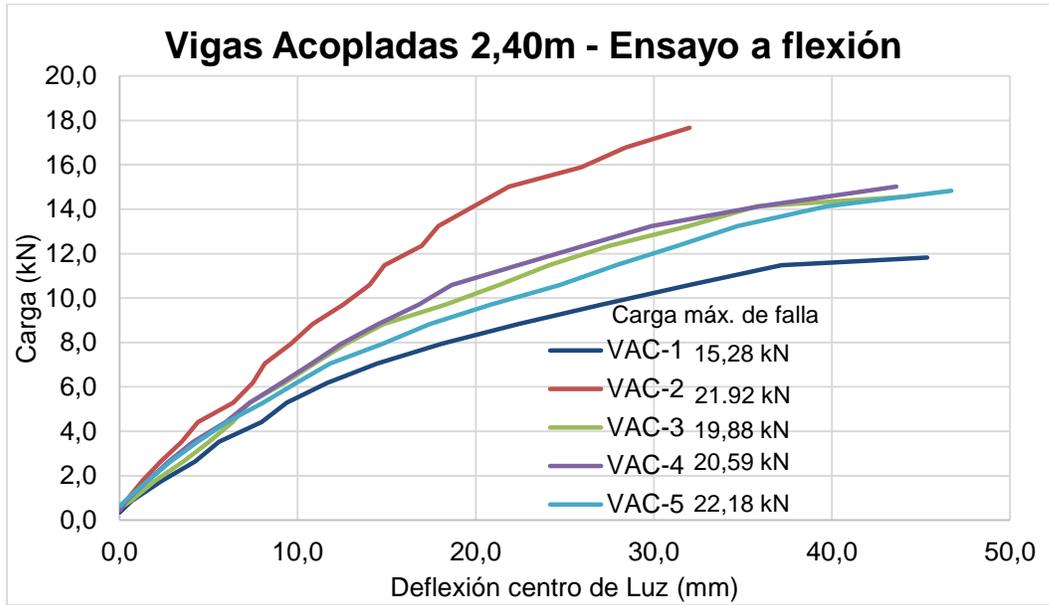


Figura 4-34: Comportamiento a flexión de viga acoplada 2,40m, muestra VAC-1.

Fuente: Autor.

A continuación en la Figura 4-35 se observa el comportamiento en función del momento elástico y las deformaciones en el centro del a luz de la viga a medida que aumenta el momento.

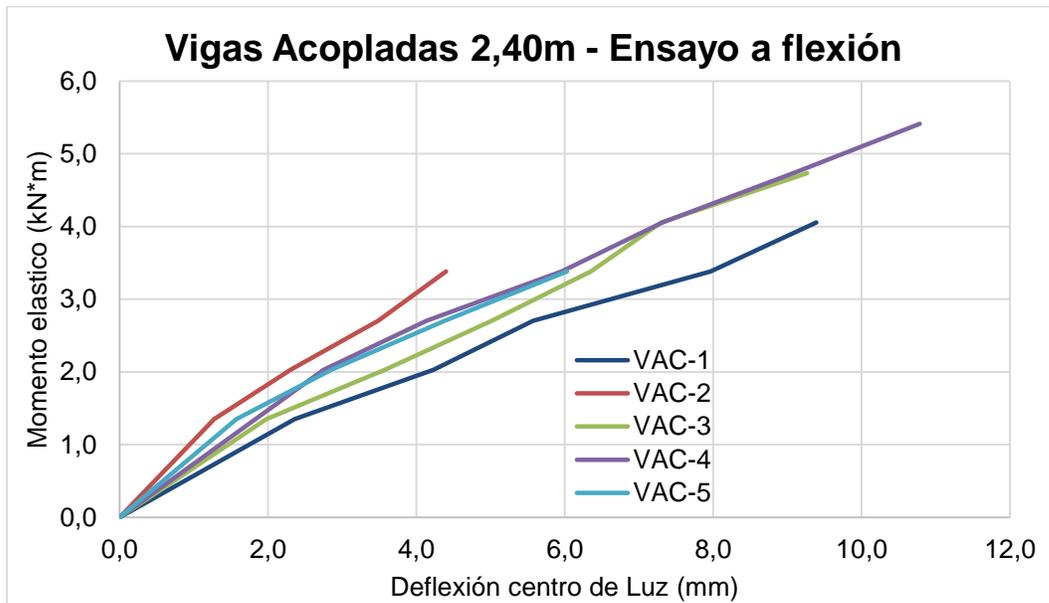


Figura 4-35: Momento elástico vs deflexión en el centro de la luz de vigas acopladas 2,40m a flexión. Fuente: Autor.

El momento se calculó mediante la Ecuación III para solicitaciones en el rango elástico del material, el cual se determinó mediante la identificación de una pendiente tangente a las curvas que representan el comportamiento de las vigas durante el ensayo en la Figura 4-34.

El área de la sección transversal de las vigas se muestra en la Tabla 4-13 y debido a que la sección transversal de las vigas está conformada por la unión de dos secciones plásticas y en medio de ellas unidas con perno una lámina metálica, se hace necesario determinar por medio del método de las secciones la inercia de la viga acoplada. Las propiedades geométricas de las vigas se muestran en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Propiedades físicas del material y propiedades geométricas de las vigas acopladas 1,50m de sección compuesta. Fuente: Autor

Módulo de Elasticidad			Factor de transformación			
Acero:	200	GPa	n: 188,68			
Plástico prPEAD:	1,06	GPa				
SECCIÓN	VAC1	VAC2	VAC3	VAC4	VAC5	UN
Plástica						
Ancho	57	53	53	53	54	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Lámina Metálica						
Ancho	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Secc. Transformada						
Ancho	639	634,8	634,8	634,8	635,8	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Inercia	114.276.424	108.360.427	108.360.427	108.360.427	108.531.126	mm ⁴

Para determinar la inercia de las vigas acopladas de sección compuesta se determinó el factor de transformación utilizando el módulo de elasticidad del acero de 200 G Pa y para las vigas acopladas se tomó 1,06 GPa obtenido en los ensayos de flexión en viguetas, ya que estas viguetas son similares a las que conforman las vigas acopladas.

En la Tabla 4-14 se resumen los resultados de las muestras ensayadas para carga máxima, momento flector en el centro de la luz, módulo de elasticidad en sentido Z.

Tabla 4-14: Resumen de resultados de carga máxima y momento máximo en centro de luz para vigas de 2,40m. Fuente: Autor

VIGAS 2,40m	Carga máxima	Momento máximo (centro de luz)
	kN	kN*m
VAC1	15,28	4,06
VAC2	21,92	3,38
VAC3	19,88	4,73
VAC4	20,59	5,41
VAC5	22,18	3,38
Promedio	19,97	4,19
Desv. Estándar	2,79	0,88
Coeficiente de variación	14%	21%
<u>Valor característico</u>	<u>13,64</u>	<u>2,47</u>

La carga máxima resistida fue el para el ensayo VAC-5 con una carga máxima 22,18 kN, mientras que las otras muestras variaron entre 3,38 kN y 4,73kN.

El momento flector determinado es superior a los dos tipos de vigas anteriormente estudiadas (vigas de cimentación y de remate con pestañas y viguetas o correas) a pesar del aumento de longitud entre apoyos, sin embargo en este tipo de viga existe un elemento metálico que aporta inercia significativamente, sumado a los elementos unidos en forma de sándwich mediante pernos, esto crea un elemento compuesto capaz de soportar hasta 5,41 kN*m de momento máximo en el centro de la luz.

A continuación en la Tabla 4-15 se muestra el resumen de los resultados promedio de cada tipo de viga de prPEAD y el análisis de la comparación entre ellas a pesar de su diferencia en sección, forma y longitud.

Tabla 4-15: Resumen de los valores característicos de vigas a flexión. Fuente: Autor

VIGAS prPEAD	Carga máxima promedio	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de elasticidad Ez
	kN	kN*m	MPa
Vigas con pestañas o de cimentación y remate 1,16m	13,6	1,28	353
Viguetas o correas 1,50m	7,22	0,46	1100
Vigas acoplada 2,40m	13,64	2,47	-

4.2 Resultados en muretes

Los muretes con sección de 460 x 400 x 70 mm son elementos formados por bloques Brickarp® ensamblados entre sí, este grupo de elementos son utilizados para formar muros en la vivienda de prPEAD, se ensayaron 10 muestras a compresión axial y se identificaron como CM-01 hasta CM-10 y se ensayaron 2 muestras a compresión diagonal y se identificaron como CMT01 hasta CMT02, a continuación se muestran los resultados y análisis de los ensayos.

- **Ensayo a compresión axial en muretes:**

Mediante los ensayos a compresión en muretes armados se encontró una resistencia a compresión promedio de 6,08 MPa con un coeficiente de variación de 41% y valor característico de 5,22 MPa; en total se ensayaron 10 muestras. En la Figura 4-36 se muestra el modo de falla característico de los muretes.

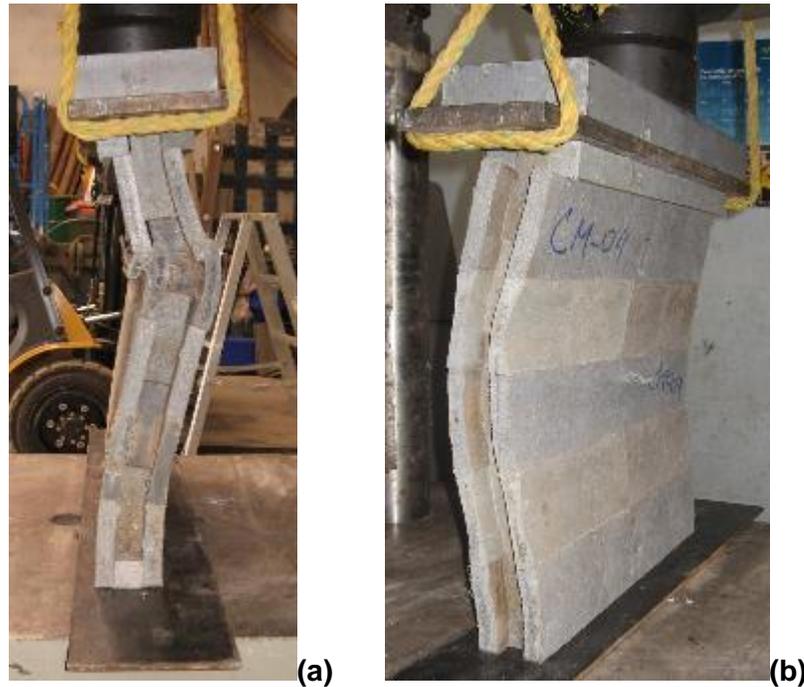


Figura 4-36: (a) y (b) Modo de falla por pandeo de murete de prPEAD en ensayo a compresión. Fuente: Autor.

Debido a la altura de la muestra, se considera esbelto en uno de sus sentidos, por lo tanto el elemento al ser sometido a compresión fallará en el sentido de menor inercia. Se destaca

que además del pandeo de la muestra, existió aplastamiento en los elementos que lo conforman.

- **Ensayo a compresión diagonal en muretes:**

En total se ensayaron 2 muretes. Debido a que los bloques no tienen restricción a desplazarse en el plano horizontal al darles una inclinación de 45° para instalarlo en la maquina universal, su solo peso hace que se note un desplazamiento de los bloques, más aun cuando se agrega una carga al murete antes de comenzar el ensayo, debido a esto el murete no es capaz de soportar carga biaxial.

Los elementos de ajuste fueron aportantes de restricción en el plano horizontal de los bloques Brickarp®; lo que provocó que la muestra mostrara un pequeño soporte de carga, como se observa en la Figura 4-37, pero estos elementos de ajuste no existen en el diseño real de la vivienda lo que ocasiona divergencia en los resultados respecto a la realidad.

Se intentó realizar el ensayo sin elementos de sujeción a los bordes y el resultado fue el desplazamiento continuo de los bloques hasta el colapso o desarme del murete sin resistencia alguna de carga; por lo tanto se llegó a la conclusión antes de ensayar los muros a escala real que los bloques necesitan restricción ante el desplazamiento horizontal entre ellos, ya que si llegasen a soportar carga laterales o sísmicas estos bloques se desplazarían libremente hasta donde el marco columnas vigas se lo permitiesen.

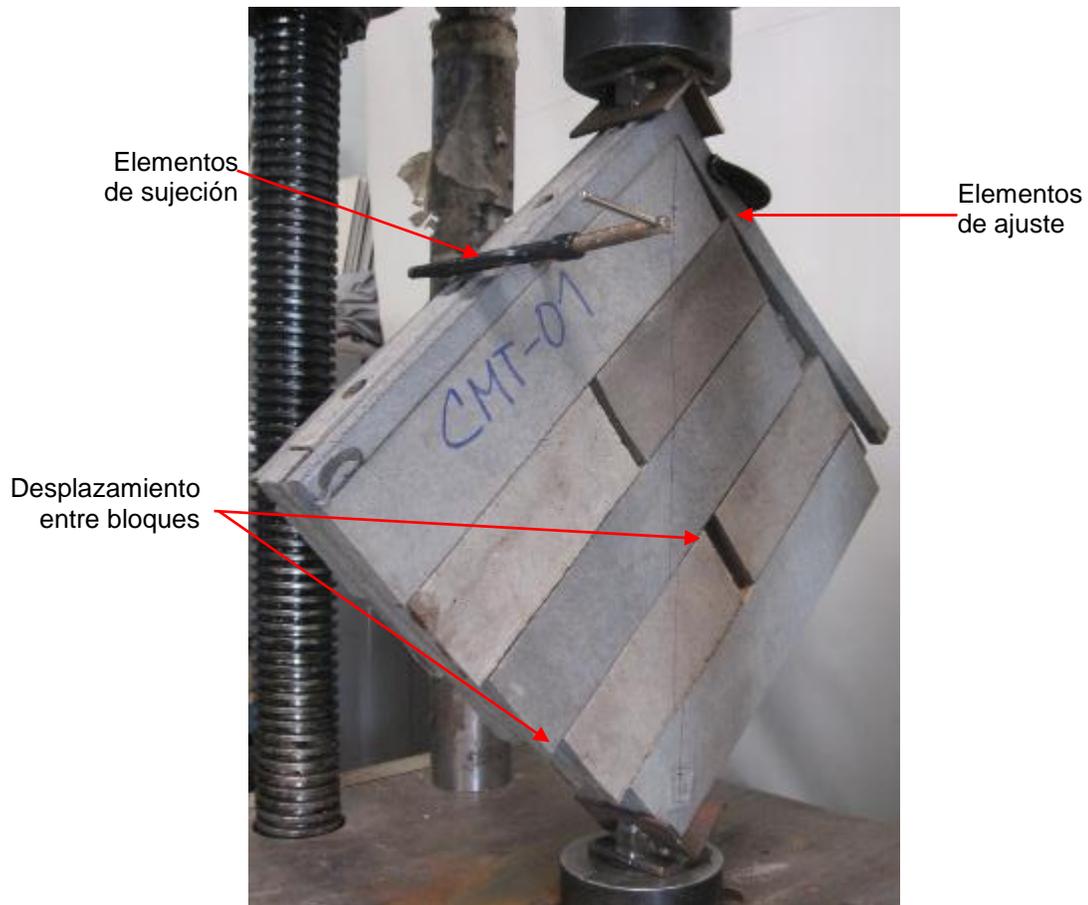


Figura 4-37: Modo de falla por desplazamiento de bloques individuales de prPEAD ensayo a compresión axial en muretes. Fuente: Autor.

Los bloques deben estar enmarcados por elementos que impidan el desplazamiento horizontal (sentido Y), como lo están en los muros a escala real; por lo tanto para los muretes los resultados de compresión axial son nulos.

4.3 Resultados de muros ensamblados a escala real

Los muros ensamblados a escala real son utilizados en la vivienda de prPEAD como muros divisorios y hacen parte del sistema de resistencia, por lo cual se ensayan a carga lateral estática y carga uniforme en su plano para simular sollicitaciones sísmicas y de viento.

4.3.1 Ensayo a carga lateral estática

Se ensayaron tres muros ensamblados a escala real, se sometieron a carga lateral estática y arrojaron como resultado la resistencia de una fuerza cortante promedio de 2,83 kN y se produjo un desplazamiento promedio de 74 mm con un coeficiente de variación de 15,4% y valor característico de 1,69 MPa; mientras que los desplazamientos de los muros variaron desde 49,99 mm hasta 120,34 mm; en la Figura 4-38 se muestra el comportamiento del muro M1 durante el ensayo y en la Tabla 4-16 se muestran el análisis estadístico.

Los resultados en detalle de los ensayos a corte en muros a escala real se muestran en el anexo H.

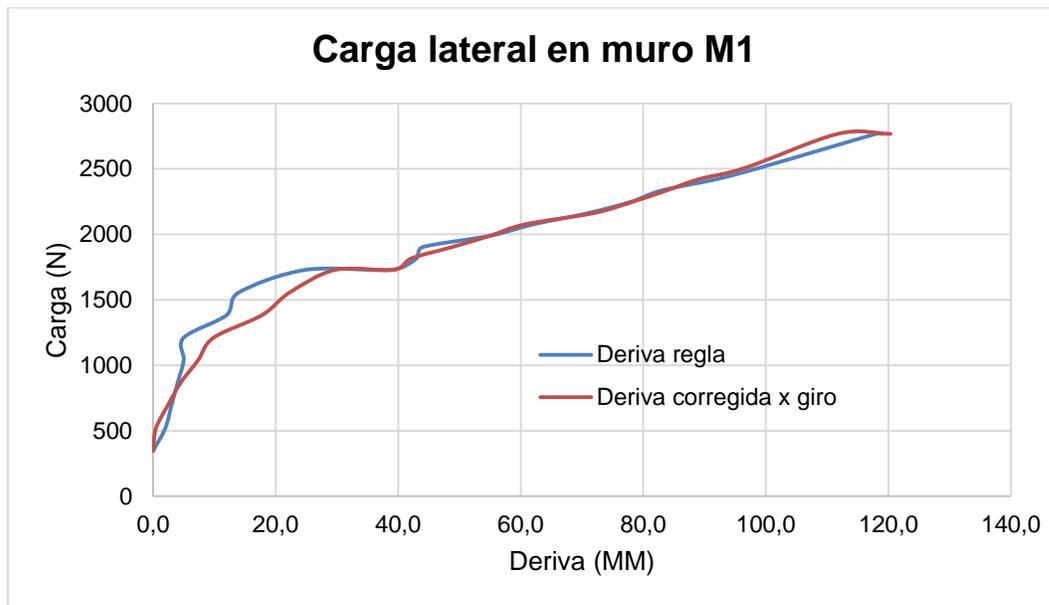


Figura 4-38: ⁹Comportamiento del muro durante ensayo a carga lateral estática a escala real. Muestra M1. Fuente: Autor.

⁹ Se midieron los desplazamientos del muro por medio de deformímetros, estos desplazamientos fueron corregidos debido al giro producido en el muro. En la gráfica se muestra en color rojo; también se midió usando una reglilla aferrada al montaje y en la gráfica se muestra en color azul

Tabla 4-16: Resumen de resultados carga y desplazamiento máximos resistidos por muros a escala real durante ensayo a carga lateral estática. Fuente: Autor

MUROS	Carga máxima resistida (kN)	Desplazamiento máximo (mm)
1	2,77	120
2	2,42	50,2
3	3,29	50,0
Promedio	2,83	73,4
Desviación Estándar	0,435	-
Coefficiente de variación	15,4%	-
<u>Valor característico</u>	<u>1,69</u>	-

En la Figura 4-39 se muestra el comportamiento de los muros relacionando la deriva y el incremento de carga durante el ensayo de carga lateral, la máxima resistencia de carga lateral fue para el muro 3 con una carga de 3,29kN; para el muro 2 y 3 las perforaciones de los pernos que conforman la unión viga-columna, fueron realizados con taladro, mientras que para el muro 1 no se hicieron perforaciones ya que se usaron tornillos auto perforantes.

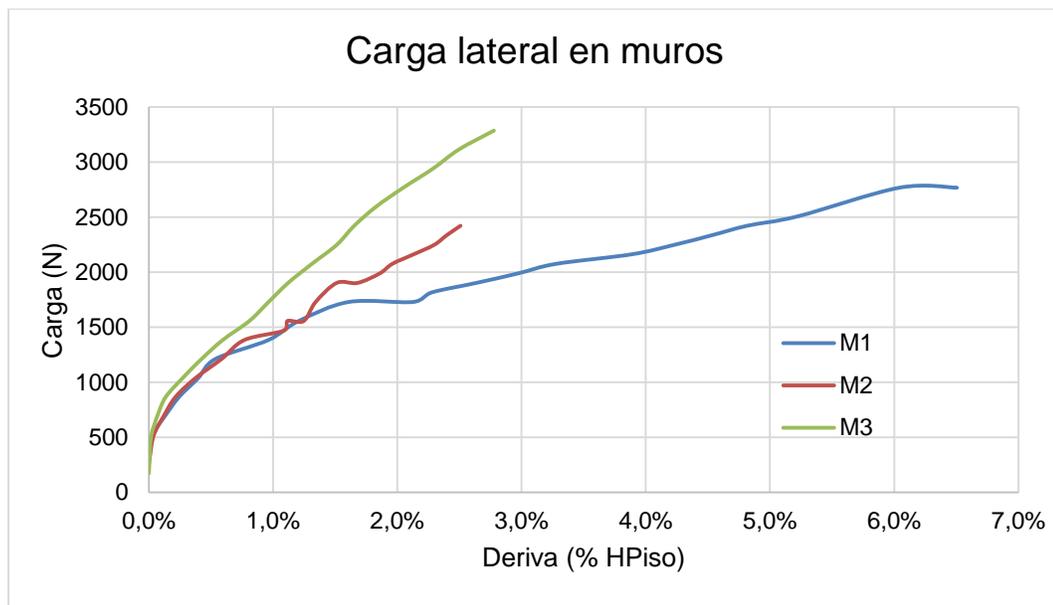


Figura 4-39: Deriva de los muros durante ensayo a carga lateral estática a escala real. Fuente: Autor.

La carga máxima resistida por los muros fue de 3,29 kN, debido a que el gato hidráulico con el cual se aplicaba la carga en los tres ensayos llegó al límite de extensión, por lo que no fue posible aplicar más carga. Sin embargo como se observa en la Figura 4-40 y Figura 4-41 durante los ensayos las columnas que enmarcan el muro se deflectaron y debido a esto los bloques individuales que conformaban el muro se deslizaban en sentido horizontal, similar a lo sucedido durante los ensayos de compresión axial en muretes además de que se separaban unos de otros en la zona inferior derecha o zona extrema a la zona de carga.

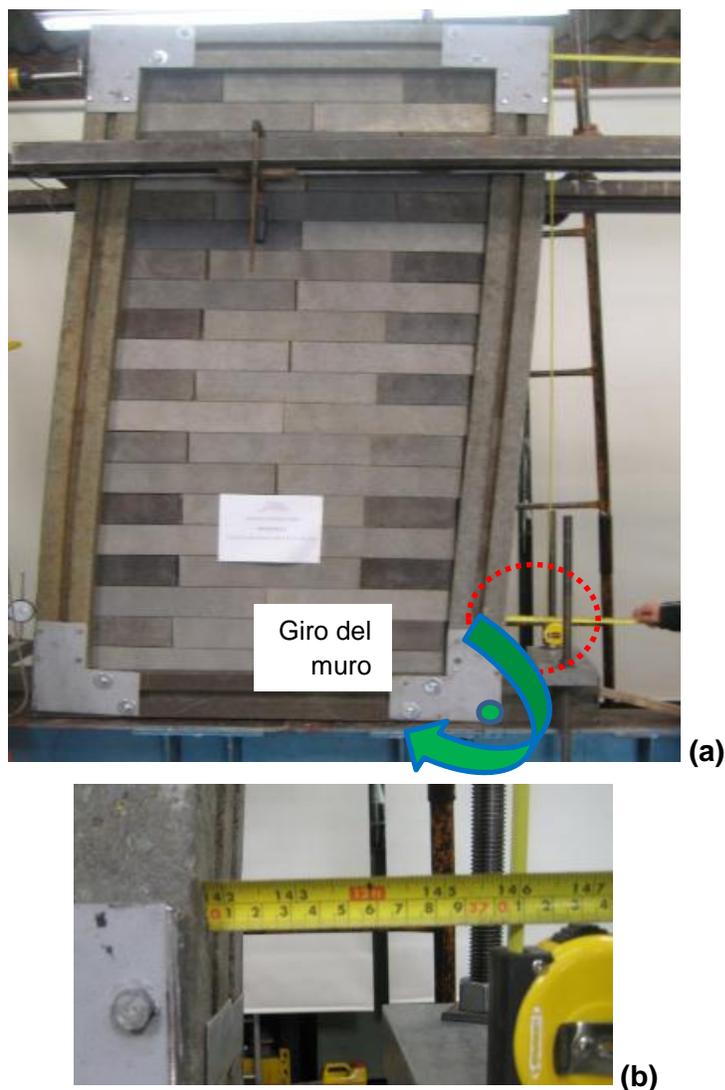


Figura 4-40: (a) Modo de falla de muro a escala real sometido a fuerza cortante y representación del giro ocurrido en el muro. Muestra M1. (b) Zoom detalle de desplazamiento medido. Fuente: Autor.



Figura 4-41: Desplazamiento de bloques individuales que conforman el muro, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.

Otro comportamiento ocurrido durante el ensayo es el giro del muro en el sentido como se indica en la Figura 4-40 y por lo tanto un levantamiento en la parte inferior de la columna izquierda, la carga del ensayo es aplicada en esta misma columna pero en la parte superior, también debido a esto se produce la deflexión negativa de la viga inferior o viga de cimentación del muro prPEAD la cual se encuentra sujeta al marco de carga en los extremos, como se observa en Figura 4-42 y Figura 4-43.



Figura 4-42: (a) (b) Detalle de comportamiento de viga inferior, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.

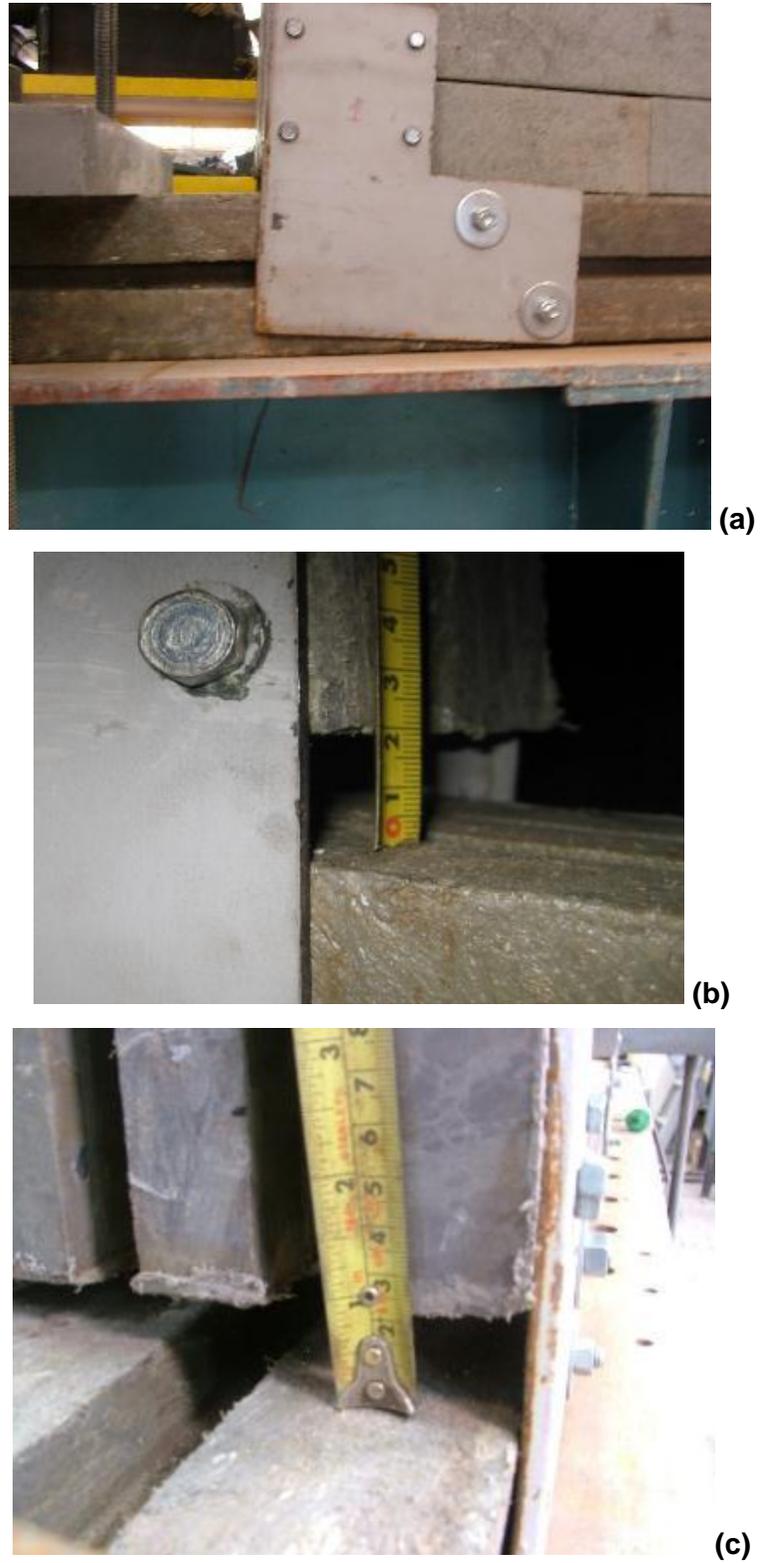


Figura 4-43: (a) (b) y (c) Detalle de giro en unión viga inferior - columna, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.

En los tornillos ubicados en las uniones de vigas – columnas mediante platinas metálicas se observan movimiento o desplazamientos de su condición inicial, también se observa levantamiento o giro en el sentido de carga de las platinas, como se observa en la Figura 4-43 (a) y Figura 4-44.



Figura 4-44: (a) Detalle comportamiento de uniones metálicas viga superior - columna
(b) Detalle comportamiento de uniones metálicas viga inferior - columna, muro a escala real sometido a fuerza cortante. Muestra 2. Fuente: Autor.

4.3.2 Ensayo a carga uniforme sobre el plano del muro

En total se ensayaron 3 muros completos de 1,27 x 2,25m. Mediante un protocolo definido tanto en cantidad de carga como tiempo y secuencia de aplicación se sometió el muro a carga distribuida en su plano, para la carga se usaron bolsas de arena, mientras que el muro se apoyaba en sus dimensiones más cortas, es decir en su parte inferior y superior donde se ensamblan las vigas de cimentación y de remate. En la Figura 4-45 se muestra la carga sobre el muro colocada durante ensayo, mientras que los modos de falla se muestran en la Figura 4-46 y Figura 4-47.



Figura 4-45: Colocación de carga sobre muestra 1 para ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.



Figura 4-46: Deflexión del muro sometido a ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.



Figura 4-47: Modo de falla separación de bloques en el área interna del muro sometido a ensayo de carga uniforme perpendicular al plano del muro. Fuente: Autor.

En la Figura 4-46 se observa la gran deflexión producida por la colocación de la carga sobre el plano del muro; mientras que en Figura 4-47 se observa como los bloques prPEAD se separan unos de otros en la parte central del muro y disminuyen su separación a medida que se acerca al marco conformado por columnas y vigas prPEAD (este fenómeno se observa al ver el muro por la parte de abajo).

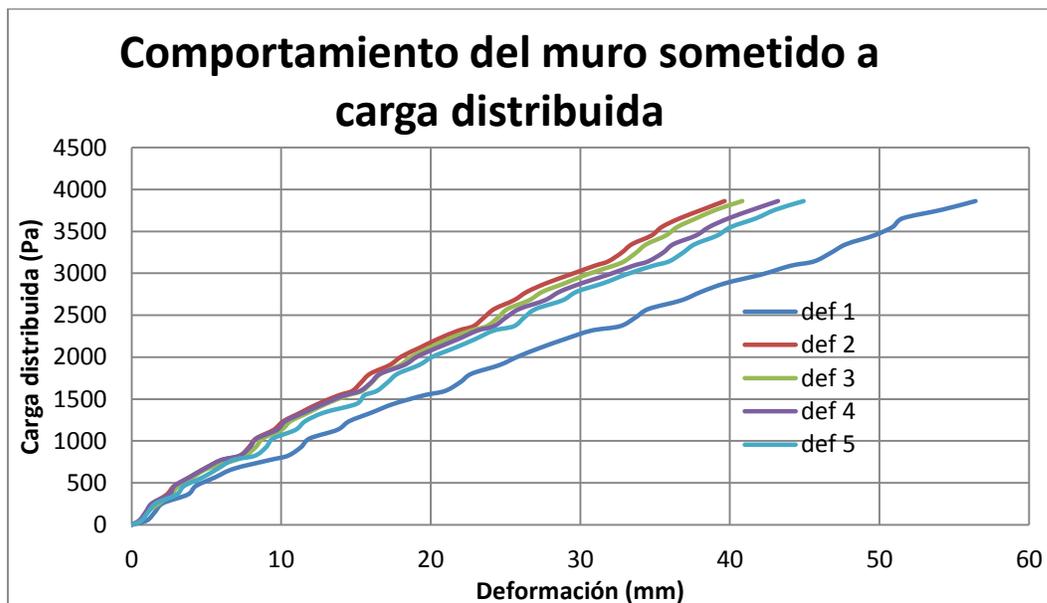


Figura 4-48: Deformación del muro durante ensayo a carga distribuida, medidos con cinco deformímetros. Ensayo 3. Fuente: Autor.

En la gráfica 2.25 se muestra la gráfica de flexión en donde se muestran las deformaciones de las 5 etapas de carga, el eje horizontal de la gráfica relaciona la posición de los 3 deformímetros ubicados a $L/4$ y $L/2$ y los apoyos de la longitud más larga; por lo tanto se observa en estas la deformada real del muro.

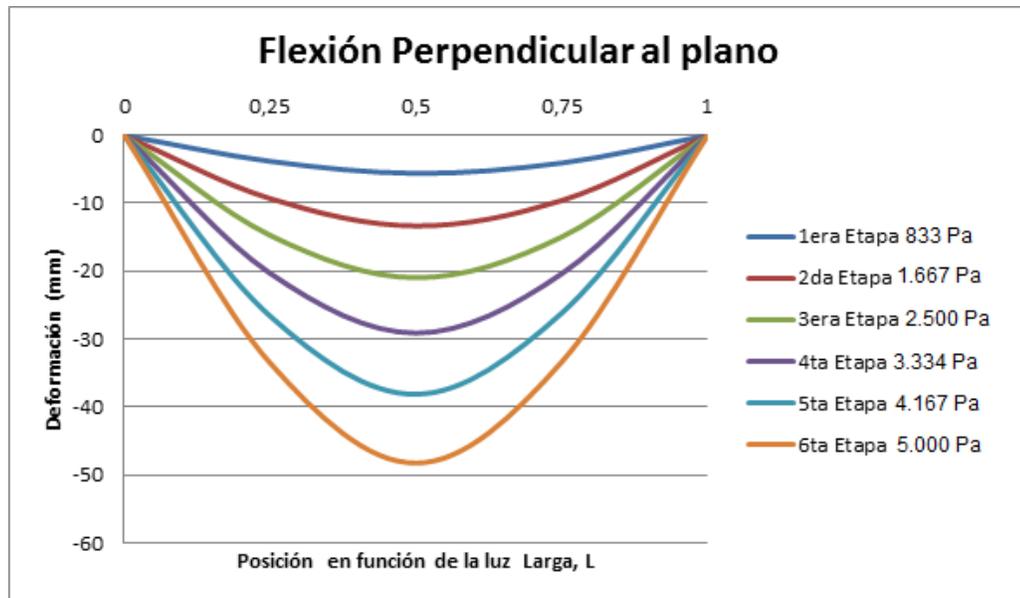


Figura 4-49: Flexión perpendicular al plano en función de la longitud más larga del muro ensayo 3 carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.

En la gráfica 2.26 se muestra la gráfica de flexión en donde se muestra las deformaciones de las 5 etapas de carga, el eje horizontal de la gráfica relaciona la posición de los 3 deformímetros ubicados a 0, $L/2$ y L de la longitud más corta; por lo tanto se observa en estas la deformada real del muro en su sección transversal media.

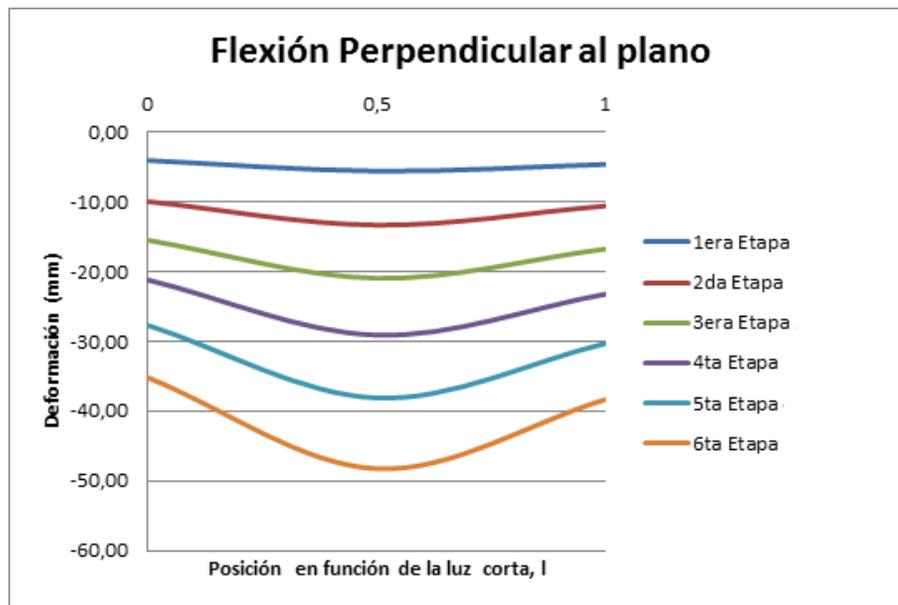


Figura 4-50: Flexión perpendicular al plano en función de su longitud más corta ensayo 3 carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se resumen los resultados, el análisis estadístico y los valores característicos de carga máxima (W máx.) y carga distribuida (q máx.).

Tabla 4-17: Análisis estadístico de resultados de cargas máximas para los tres ensayos de carga distribuida sobre muros completos. Fuente: Autor.

MUROS	W máx. (kN)	q máx. (kN/m ²)
1	12,95	4,53
2	11,04	3,86
3	13,24	4,63
Promedio	12,41	4,34
Desviación Estándar	1,19	0,42
Coeficiente de variación	9,6%	9,7%
<u>Valor característico</u>	<u>8,98</u>	<u>3,14</u>

El valor promedio de carga distribuida resistido para los tres ensayos es de 4,34 kN/m²; el muro pudo resistir más carga pero por razones de seguridad y estabilidad del montaje no se pudieron seguir cargando, no se presentó falla en ningún elemento más allá del

deslizamiento de los bloques entre sí de manera notable en el centro del muro y casi nulo al acercarse a las vigas o columnas que lo enmarcan.

4.4 Análisis de solicitaciones sísmicas y de viento según la NSR-10 para los muros ensamblados a escala real

Para el análisis de solicitaciones de la estructura tipo vivienda de prPEAD bajo la configuración estructural como se muestra en la Figura 4-50, se estudiará su comportamiento bajo cargas máximas de viento y se supondrá la ubicación de la estructura para cargas de viento en la región 5 (ciudades principales Barranquilla, Cartagena, Santa Marta, San Andrés Islas) y se estudiará para cargas de sismo para tipo de suelo E y se estudiarán las solicitaciones para las tres zonas de amenaza sísmica baja, intermedia y alta, basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (NSR-10).

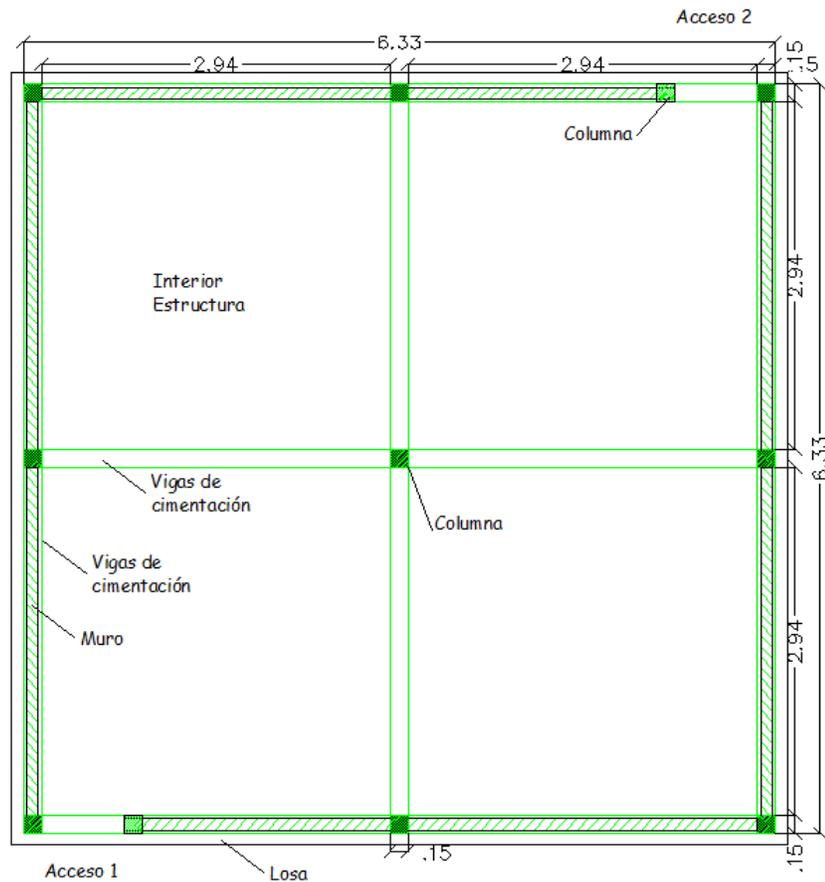


Figura 4-51: Configuración estructural de la estructura tipo vivienda construida por elementos prPEAD. Fuente: Autor.

La vivienda será construida con elementos plásticos de prPEAD, desde las vigas de cimentación (vigas ancladas a la losa de cimentación de concreto), el cerramiento y cercha de la cubierta; se utilizarán platinas y tornillos metálicos para la unión entre columnas, vigas y viguetas; la unión para la conformación de muros se realiza principalmente con una unión a presión de bloques de forma escalada, la vivienda abarca un área de 40,07m², con una altura en muros de 2,69m y una altura máxima de 3,69m en la zona del caballete de la cubierta. A continuación se analiza la estructura bajo cargas de viento y fuerzas sísmicas máximas para la vivienda tipo que se presenta en la Figura 4-52 bajo la configuración estructural que se muestra en la Figura 4-51.

4.4.1 Análisis de viento – procedimiento simplificado

A continuación se presentan las consideraciones y especificaciones basadas en el análisis de viento llamado en la NSR-10 procedimiento simplificado.

- Consideraciones y especificaciones:
 - Ángulo de inclinación de la cubierta de 18° en sentido “Y” y 0° en sentido “X” según Figura 4-52.
 - Importancia de la edificación Grupo 1 tipo vivienda.
 - Zona de estudio no propensa a huracanes y regiones propensas a huracanes.
 - Rugosidad del terreno y exposición tipo B.



Figura 4-52: Sentido de aplicación de la fuerza del viento y sismo ilustrado en la vivienda de prPEAD a escala real. Fuente: Autor.

Se determinan las cargas de viento considerando una velocidad de viento crítica para la región número 5 de 165 km/h según la NSR-10, para el sistema principal de resistencia de fuerzas de viento las presiones de viento se calculan bajo la Ecuación IV:

Ecuación IV: Presiones de viento según NSR-10 B.6.4-1:

$$P_s = \gamma * K_{zt} * I * P_{S10}$$

Donde:

$\gamma = 1,0$. Factor de ajuste por altura y exposición

$K_{zt} = 1,0$ Factor topográfico

$I = 0,87$ Factor de importancia

P_{S10} Presión básica del viento

Se tiene un ángulo de inclinación de cubierta 18° para el análisis en sentido Y (Transversal) y un ángulo de inclinación de cubierta 0° para el análisis en sentido X (Longitudinal) como se indica en la Figura 4-52, para lo cual se tienen las cargas de viento que se muestran en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18: ¹⁰Presiones básicas de viento Ps10 y Presiones horizontales debido al viento Ps corregidas. Fuente: Autor.

		Sentido Y Frontal de Fuerza de Viento		Sentido X Posterior de Fuerza de Viento	
Zona		Presión básica	Presión Viento	Presión básica	Presión Viento
		Ps10 (kN/m ²)	Ps (kN/m ²)	Ps10 (kN/m ²)	Ps (kN/m ²)
Presión Horizontal	A	1,07	0,927	0,81	0,701
	B	-0,31	-0,269	-0,42	-0,364
	C	0,71	0,616	0,53	0,463
	D	-0,17	-0,151	-0,24	-0,210
Presión Vertical	E	-0,97	-0,840	-0,97	-0,841
	F	-0,65	-0,563	-0,55	-0,477
	G	-0,66	-0,574	-0,66	-0,575
	H	-0,50	-0,437	-0,42	-0,364

En la Figura 4-53 se esquematizan las presiones de viento Ps y presiones de viento mínima.

¹⁰ Los signos negativos y positivos indican succiones y presiones respectivamente actuando sobre las superficies equivalentes.

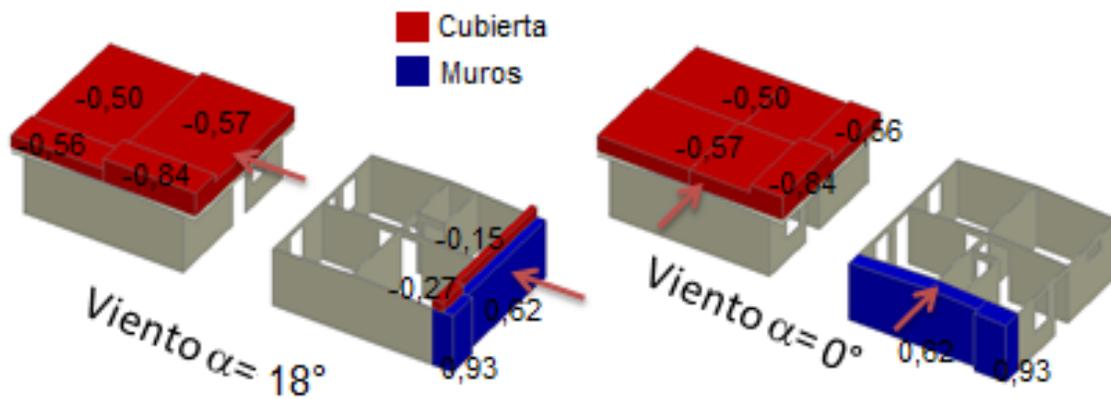


Figura 4-53: Presiones de viento P_s (kN/m²) sobre esquema de la estructura. Fuente: Autor.

Como puede observarse en la Figura 4-53 y en la Tabla 4-18 la máxima sollicitación debido al viento sobre los muros es una carga a compresión de 0,44 kN/m² bajo la condición crítica establecida por la NSR-10.

4.4.2 Análisis Sísmico en muros a escala real

Las fuerzas sísmicas se calcularon con la envolvente de espectros elásticos de diseño contemplados en la NSR-10 para un suelo tipo E (suelos que entre otras características tienen un espesor mayor o igual a 3m de arcillas blandas) para las tres zonas de amenaza sísmica en Colombia, las envolventes de los espectros clasificadas por zona de amenaza sísmica se presentan en la Figura 4-54.

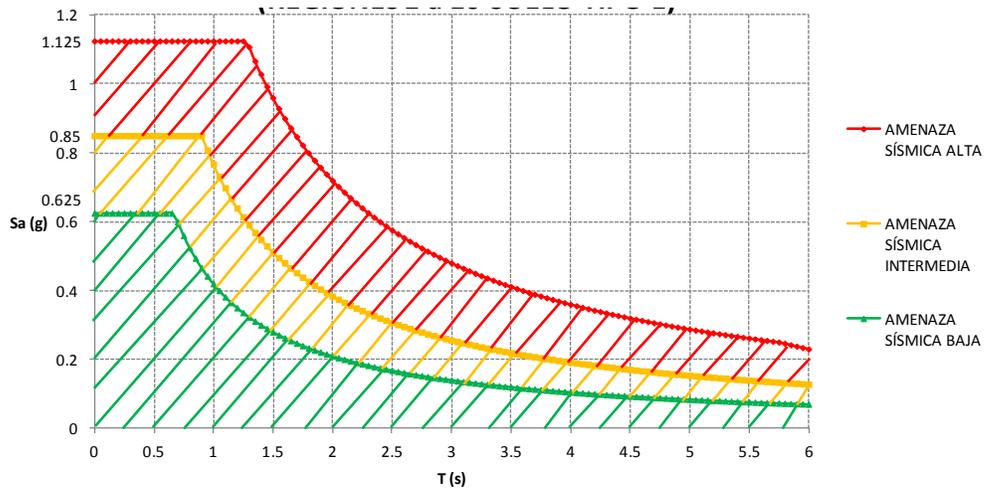


Figura 4-54: Envoltura de espectros por zona de amenaza sísmica para suelo tipo E, según NSR-10. Fuente: Autor.

A continuación se determina el cortante sísmico, para una masa de la estructura (M) de 82,42 kN (según información suministrada por FICIDET) (42):

Ecuación V: Cortante sísmico en la base por zona de amenaza sísmica (V_s):

$$V_s = S_a * g * M$$

Tabla 4-19: Cortante sísmico en la base. Fuente: Autor.

Zona de Amenaza	S_a (g)	V_s (N)
Alta	1,125	90.867
Intermedia	0,85	68.655
Baja	0,625	50.482

Buscando determinar el cortante sísmico por unidad de longitud de muro se tabulan las dimensiones de los muros que se enumeran en la Figura 4-55.

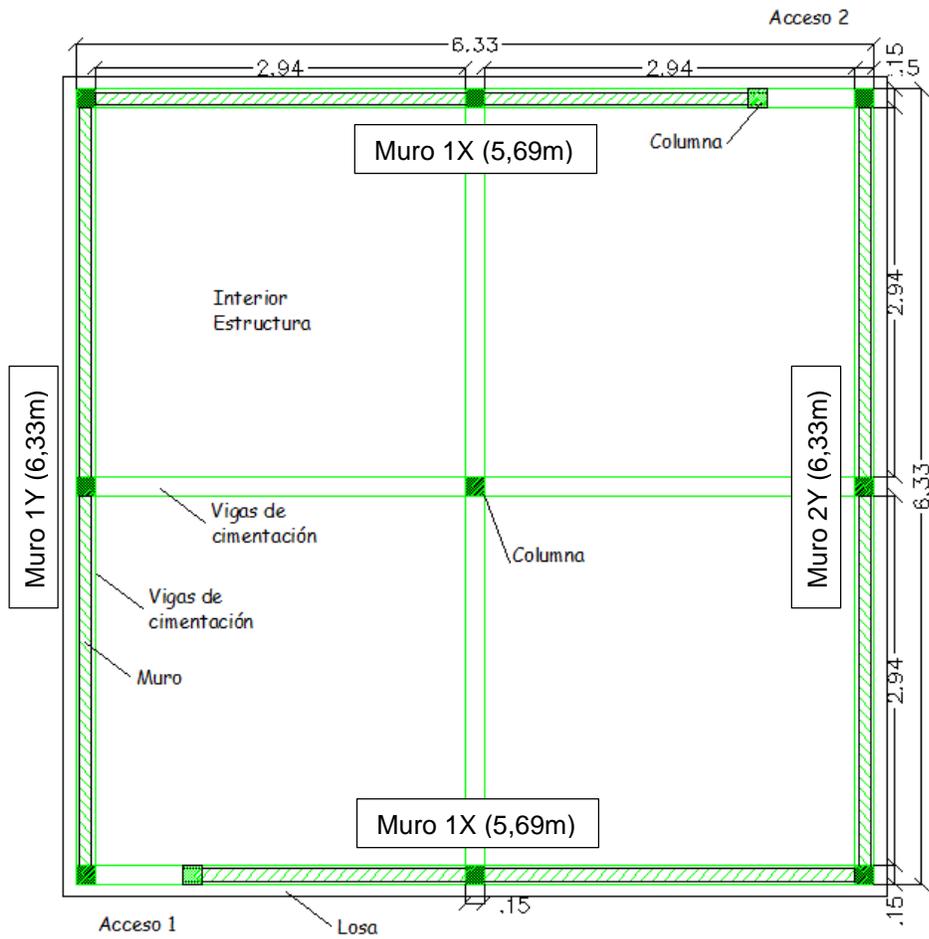


Figura 4-55: Identificación y enumeración de muros de la estructura en sentido X y Y.

Fuente: Autor.

Tabla 4-20: Longitud de muros en sentido X y Y de la vivienda estudiada. Fuente:

Autor.

MUROS	Long. Muros en X (m)	Long. Muros en Y (m)
M1	5,69	6,33
M2	5,69	6,33

A continuación se tabulan los cortantes sísmicos por unidad de longitud para cada muro en cada sentido en la Tabla 4-21 y Tabla 4-22 para las diferentes zonas de amenaza sísmica en Colombia basado en la figura A.2.3-1 de la NSR-10.

Tabla 4-21: Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido X.

Fuente: Autor.

Muros Eje Y		Zona de Amenaza	
Muro	ALTA	Intermedia	Baja
	Vx (N/m)	Vx (N/m)	Vx (N/m)
M1	14.355	12.066	8.872
M2	14.355	12.066	8.872

Tabla 4-22: Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido Y

Fuente: Autor.

Muros Eje X		Zona de Amenaza	
Muro	ALTA	Intermedia	Baja
	Vy (N/m)	Vy (N/m)	Vy (N/m)
M1	15.970	10.846	7.975
M2	15.970	10.846	7.975

Teniendo calculados los cortantes sísmicos por unidad de longitud para cada muro y para cada sentido de la estructura estudiada y calculando las solicitaciones de viento críticas establecidas por la NSR-10 para los muros es posible comparar con los resultados de ensayo de carga lateral estática y carga distribuida en el plano del muro respectivamente.

4.4.3 Comparaciones de resultados de ensayos a carga lateral y carga distribuida en muros a escala real con las solicitaciones sísmicas y de viento exigidas por la NSR-10

Luego de llevarse a cabo ensayos de carga lateral estática y carga distribuida en el plano del muro a muros de prPEAD a escala real dando como resultados los que se muestran en la Tabla 4-16 y Tabla 4-17 y haber determinado las solicitaciones teóricas de viento y sismo críticas exigidas por la NSR-10 mostradas en la Tabla 4-18, Tabla 4-21, Tabla 4-22 y la Figura 4-53, pudo realizarse una comparación de estos resultados para estados de servicio. A continuación se muestra la comparación entre los valores obtenidos experimentalmente y las solicitaciones de viento y sismo críticas basado en la NSR-10.

- **Comparación – Solicitaciones debido al VIENTO**

La resistencia promedio de los muros a escala real ensayados a carga distribuida según la Tabla 4-17 fue de 4,34 kN/m² mientras que las solicitaciones máximas exigidas por la NSR-10 al cerramiento mediante el análisis simplificado en una ubicación geográfica propensas a huracanes y no propensas a huracanes con vientos de hasta 165 km/h es de 0,93 kN/m² según la Tabla 4-18.

Valor característico de resistencia a carga distribuida de muros prPEAD		Solicitación de viento NSR-10 método simplificado
--	--	--

3,14 kN/m ²	>	0,93 kN/m ²
------------------------	---	------------------------

Podemos inferir que los muros ensayados bajo carga distribuida fallaron por deflexión excesiva y por separación entre sí de bloques Brickarp®, aunque al comparar el valor característico de resistencia a carga distribuida en el plano del muro resulte 3,14 veces mayor que las solicitaciones críticas de viento establecidas por la NSR-10, con tan solo 3 ensayos no puede asegurarse que estos muros sean lo suficientemente resistentes para cumplir con el reglamento NSR-10.

Se destaca que para todos los ensayos a carga uniforme el ensayo llegó a su fin debido a condiciones de estabilidad del montaje y seguridad del personal que realizó el ensayo más no fue por falla del muro a escala real; por lo cual este valor de resistencia promedio máximo pudo ser mayor.

- **Comparación – Solicitaciones debidas a SISMO**

La resistencia máxima promedio resistida por los muros a escala real debido a ensayos de carga lateral estática fue de 1,69 kN/m para un desplazamiento promedio de 74 mm según Tabla 4-16; mientras que las solicitaciones sísmicas exigidas por la NSR-10 son para cada muro de la estructura variables según su longitud como se muestran en la Tabla 4-21 y

Tabla 4-22 para muros en sentido X e Y respectivamente; a continuación en la Tabla 4-23 se muestra la comparación de fuerzas resistentes vs solicitaciones de cortante sísmico.

Tabla 4-23: Comparación de fuerza resistente en muros de prPEAD vs solicitación de cortante sísmico crítico según NSR-10. Fuente: Autor

Zona de amenaza sísmica	¹¹ Sentido de estudio	¹² Fuerza cortante resistente en muros de prPEAD	Comparación	¹³ Solicitaciones de cortante sísmico
		kN/m		kN/m
Alta	X	1,69	<	14,38
	Y	1,69	<	15,97
Intermedia	X	1,69	<	12,07
	Y	1,69	<	10,85
Baja	X	1,69	<	8,87
	Y	1,69	<	7,98

Los muros por si solos teóricamente no son capaces de resistir las solicitaciones de cortante sísmico para ninguna de las zonas de amenaza sísmicas en la NSR-10 como puede observarse en la comparación de la Tabla 4-23.

Durante los ensayos se observó deslizamiento de los bloques prPEAD en el sentido horizontal que conforman el muro y es directamente proporcional al incremento de carga.

De esta comparación se puede inferir que es necesario restringir el desplazamiento horizontal de los bloques unitarios en prPEAD que conforman el muro ensayado a escala real; y de esta forma resistir mayores cargas horizontales estáticas como un todo, esta hipótesis fue establecida en los análisis realizados y documentados en los ensayos en muretes ensayados a carga de compresión diagonal en la sección 4.2.

¹¹ Sentido de estudio de la vivienda prPEAD según sentidos mostrados en Figura 4-52

¹² Fuerza cortante promedio resistente máxima según ensayos de carga lateral en muros a escala real

¹³ Solicitaciones de cortante sísmico determinado según NSR-10 para suelo tipo E y zonas de amenaza sísmica baja, intermedia y alta.

4.5 Resultados de ensayo de carga y descarga lateral en vivienda a escala real

Al realizar la prueba de carga lateral estática en sentido X según la Figura 4-52 a la estructura tipo vivienda a escala de real con dimensiones de 6,33 x 6,33 m bajo una configuración estructural como la mostrada en la Figura 4-51 construida a partir de elementos fabricados con material prPEAD bajo el montaje, protocolo y secuencia de carga y descarga descrito en la sección 3.5, se encontró que la estructura fue capaz de resistir una fuerza cortante de 30,76 kN y deformarse debido a esta carga en sentido X hasta de 250 mm. A continuación en la Tabla 4-24 se muestran los incrementos de carga y los desplazamientos medidos en cuatro puntos diferentes de la estructura durante ensayo el ensayo de carga lateral.

Tabla 4-24: Incremento de carga y desplazamiento en pórticos durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real.

Fuente: Autor

Ciclos y tiempo de CARGA		Incremento de carga	¹⁴ Fuerza cortante impuesta	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Def. 4	Temperatura
		kN	kN	mm	mm	mm	mm	°C
0	Lectura inicial	8,50	4,50	0	0	0	0	31
	Hi: 1:10 pm							
1	Hi: 1:18 pm	19,00	10,07	0,3	11,5	0,2	10	32
	Hf: 1:25 pm							
2	Hi: 1:29 pm	29,5	15,63	10,8	34,5	0,7	35	32
	Hf: 2:03 pm							
3	Hi: 2:08 pm	40	21,2	50,3	77,5	30	83	31
	Hf: 2:15 pm							
4	Hi: 2:19 pm	50,5	26,76	101,9	142,5	65,9	15	31
	Hf: 2:21 pm							
5	Hi: 2:25 pm	59,2	31,37	161,9	205,5	95,9	224	30
	Hf: 2:28 pm							
0	H: 4:00 pm	59,2	31,37	194,9	235,5	116,9	250	30

¹⁴ La fuerza cortante impuesta es la carga horizontal calculada teniendo en cuenta la configuración geométrica del montaje metálico determinado como se observa en la sección 3.5.1.2 y en la Figura 3-38 y Figura 3-39

Durante el ensayo a carga lateral de la vivienda se anotaron las siguientes observaciones: para el primer incremento de carga se hace referencia al peso propio del montaje metálico el cual pesa aproximadamente 8,50 kN. Durante el ciclo de carga 3, se evidenció separación de los bloques entre sí en los muros paralelos al sentido de aplicación de carga, es decir en los pórticos 1 y 3. Durante el ciclo de carga 4 se evidenció separación de los bloques entre sí tal que puede observarse entre muros. Luego de finalizar el ciclo de carga 5 la bandeja de carga reposa sobre pedestal de concreto cercano como se observa en la Figura 4-59.

A continuación en la Figura 4-56 se muestran los desplazamientos medidos durante cada incremento de carga para el desplazamiento 3 (Desp3) que fue medido en el pórtico 1, el desplazamiento 2 y 4 (Desp2 y Desp4) que fueron medidos en el pórtico 2 y el desplazamiento 1 (Desp1) que fue medido en el pórtico 3 como se muestra en el montaje de la Figura 3-41 en la sección 3.5.1.3 y en la Figura 4-57 se muestra el comportamiento de la deriva de la vivienda a medida que se incrementa la carga lateral.

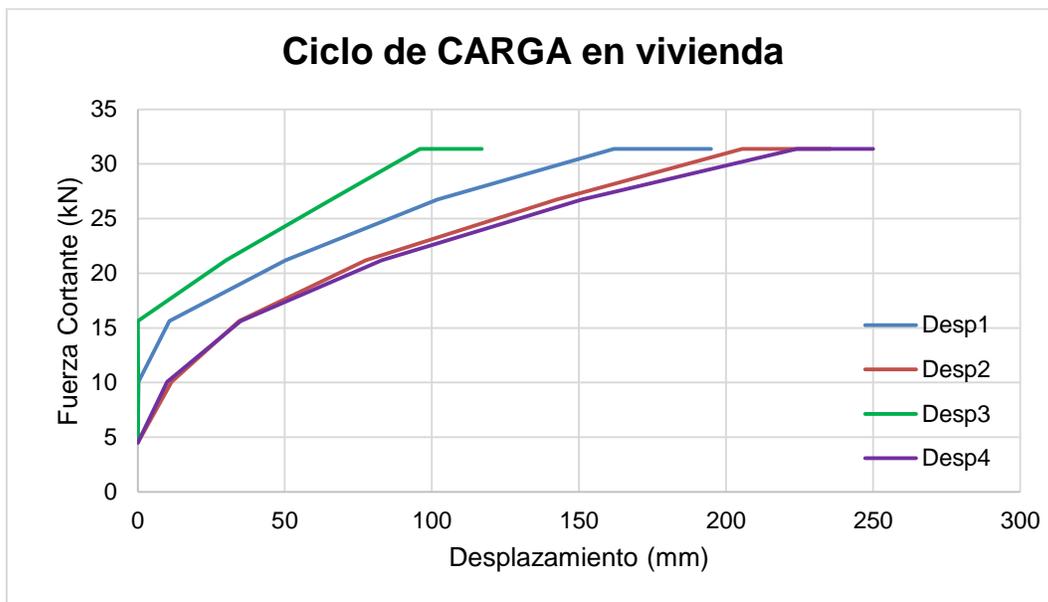


Figura 4-56: Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los incrementos de carga durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real.

Fuente: Autor

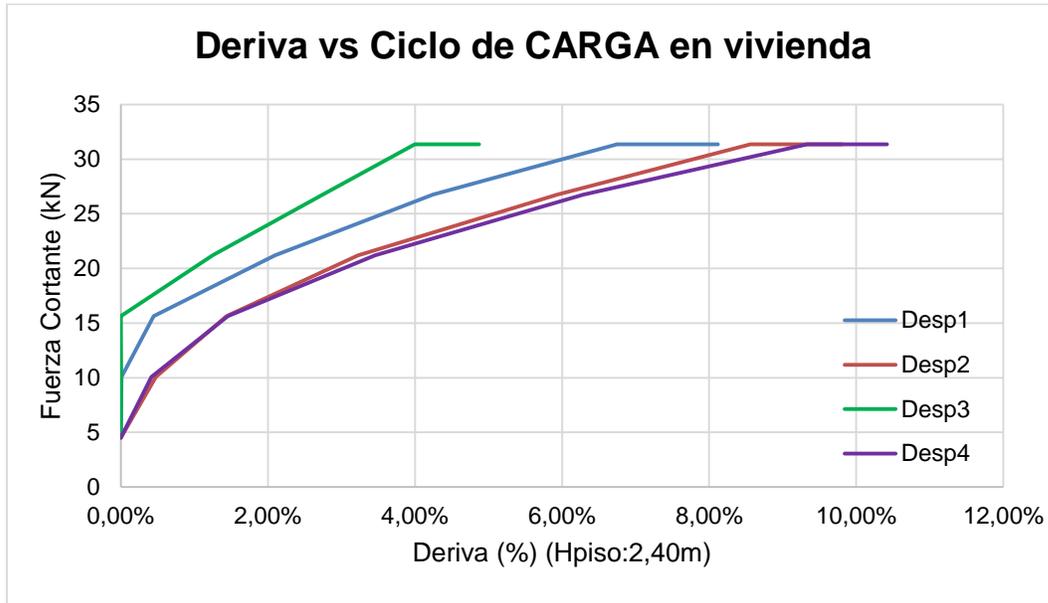


Figura 4-57: Comportamiento de la deriva en la estructura durante los incrementos de carga durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

De la Figura 4-56 se puede inferir que el mayor desplazamiento se presentó en el pódico central (pódico #2) de la estructura con 250 mm, como era de esperarse debido a no existir muros ensamblados que aportaran rigidez a este pódico.

Los desplazamientos Desp2 y Desp4 (pódico #2) se encuentran en el mismo eje y se observa en la gráfica resultados similares, diferencia máxima de 14,5mm al finalizar el proceso de carga.

En los pódicos de los extremos, pódico #1 y #3 existen en la estructura puertas metálicas instaladas, de las cuales en el pódico #1 se encontraba abierta mientras que el pódico #3 se encontraba cerrada, esto influyó para que existiera diferencia significativa en el desplazamiento del pódico debido al incremento de carga, la diferencia debido a esto se observa en la gráfica para el Desp1 y el Desp3 (color azul y verde) con diferencia total de 780mm de desplazamiento; la puerta cerrada aportó rigidez al pódico, éste elemento no hace parte del sistema de resistencia de la estructura.

El pódico #3 sufre desplazamiento significativo ya que no supera el centímetro de desplazamiento y es evidente con respecto a los demás a partir del incremento tres.

Se puede decir que la carga resistente de la estructura sin ser colapsada pudo ser mayor si la bandeja de carga no se hubiese apoyado en pedestal de concreto como se observa en Figura 4-58 y Figura 4-59; lo cual se observó luego del incremento de carga #5 durante el periodo de espera¹⁵ de 1,53 horas para proceder con la descarga del ensayo. Esto crea un apoyo adicional innecesario y una redistribución de la carga. Posterior al quinto y último incremento de carga, pasado 1,53 horas se procedió a la descarga de la vivienda siguiendo el mismo protocolo de carga pero en sentido opuesto.



Figura 4-58: Estado de carga en montaje durante incremento de carga cinco (ciclo de carga 5) en ensayo a carga lateral estática en estructura a escala real. Fuente: Autor

¹⁵ Periodo de espera entre el último ciclo de carga o ultimo incremento de carga hasta iniciar el decrecimiento de carga o proceso de descarga de la vivienda ensayada fue de 1 hora y 32 minutos.



Figura 4-59: Detalle de bandeja con carga apoyándose en pedestal de concreto no tenido en cuenta para ensayo. Fuente: Autor

A continuación en la Figura 4-60 se observan los bloques separados entre si, resultado observado anteriormente en laboratorio al ensayar muros a escala real a carga lateral estática, luego de cargarse el ciclo de carga 3 se evidenció separación de bloques como se observa en la Figura 4-60 (a) y luego de cargarse el ciclo de carga 4 era tan grande la separación entre bloques que se podía observar a través del muro como se observa en la Figura 4-60 (b).

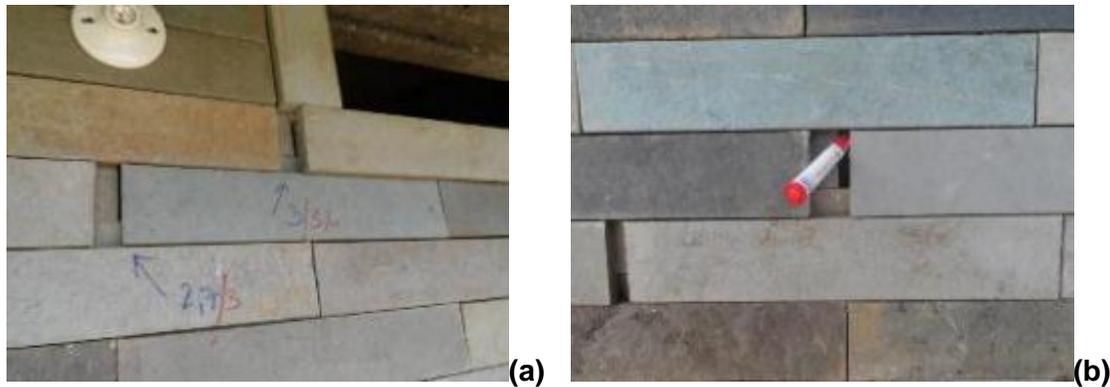


Figura 4-60: Desplazamiento de bloques unitarios entre si durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. (a) Luego de cargar ciclo de carga 3. (b) Luego de carga ciclo de carga 4. Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 4-60 durante la prueba de carga ocurrió el desplazamiento de los bloques unitarios ubicados en los muros paralelos al sentido de la carga, fenómeno similar al encontrado durante ensayos a carga lateral en muros, por lo cual era de esperarse este fenómeno.



Figura 4-61: Rotación en columna 1-a en pórtico #1 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

Según la Figura 4-61 durante la prueba de carga se produjo rotación de las columnas, en este caso se muestra la columna 1 del pórtico #1 la cual se encuentra justo en el marco de la puerta metálica que permaneció abierta durante el ensayo.



Figura 4-62: Rotación en columna 2 del pórtico #2 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

Según la Figura 4-62 durante la prueba de carga se produjo rotación de las columnas, en este caso se muestra la columna 2 del pórtico #2 la cual se caracteriza por ser la columna central del sistema estructural; esta columna fue la de mayor rotación debido a que solo tenía restricciones al giro debido a las vigas inferiores y superiores, resaltando que este pórtico fue el de mayor desplazamiento.



Figura 4-63: Rotación en columna 3 del pórtico #3 durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

Se produce rotación en la columna 3 del pórtico #3 durante ensayo de carga, en esta columna se presentó una de las menores rotaciones, debido posiblemente a que en ésta se encontraba el marco y la puerta metálica que permaneció cerrada durante ensayo de carga; se resalta que este pórtico tuvo los menores desplazamientos; debido al elemento puerta.



Figura 4-64: Levantamiento de columna de esquina, durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

Como se observa en Figura 4-64 se produjo levantamiento en las esquinas de la estructura es decir en la unión columna prPEAD – losa de cimentación en los pórticos #1 y #3 en las columnas 4, cabe resaltar que la forma de unión de la estructura a la losa de cimentación fue por medio de platinas metálicas pernadas al concreto y las vigas prPEAD de cimentación.



Figura 4-65: Nudo en parte superior de columna 3 del pórtico #2, durante ensayo de CARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

También se estudiaron las uniones observando posibles desplazamientos, los cuales ocurrieron debido al tipo de uniones de restricción intermedia pero no se observaron desplazamientos o rotaciones evidentes en las marcas impuestas en estos elementos como se observa en la Figura 4-65.



Figura 4-66: Estado de la estructura a escala real zona de carga durante periodo de espera entre proceso de CARGA y DESCARGA. Fuente: Autor



Figura 4-67: Estado de la estructura a escala real zona posterior en periodo de espera entre proceso de CARGA y DESCARGA. Fuente: Autor

En la Figura 4-68 se muestran los decrecimientos de carga y los desplazamientos medidos en cuatro puntos de la estructura durante ensayo.

Ciclos y tiempos de DESCARGA		Decrecimiento de carga	Fuerza cortante impuesta	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Def. 4	Temperatura
		kN	kN	mm	mm	mm	mm	°C
0	Lectura inicial	59,20	31,37	194,9	235,5	116,9	250	30
	Hi: 4:00pm							
5	Hi: 4:05pm	59,20	31,37	194,9	235,5	116,9	250	30
	Hf: 4:16pm							
4	Hi: 4:25pm	50,50	26,76	193,9	235,5	115,9	250	29
	Hf: 4:29pm							
3	Hi: 4:31pm	40,00	21,2	193,9	224,5	115,9	249	29
	Hf: 4:35pm							
2	Hi: 4:40pm	29,50	15,63	192,9	213,5	115,9	234	29
	Hf: 4:45pm							
1	Hi: 4:50pm	19,00	10,07	187,9	196,5	114,9	209	29
	Hf: 4:57pm							
0	Hi: 4:58pm	8,50	4,50	182,9	187,5	108,9	190	28
	Hf: 5:05pm							

Figura 4-68: Decrecimiento de carga y desplazamiento en pórticos durante ensayo de DESCARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

A continuación se muestra gráficamente los desplazamientos medidos al momento de cada decrecimiento de carga.

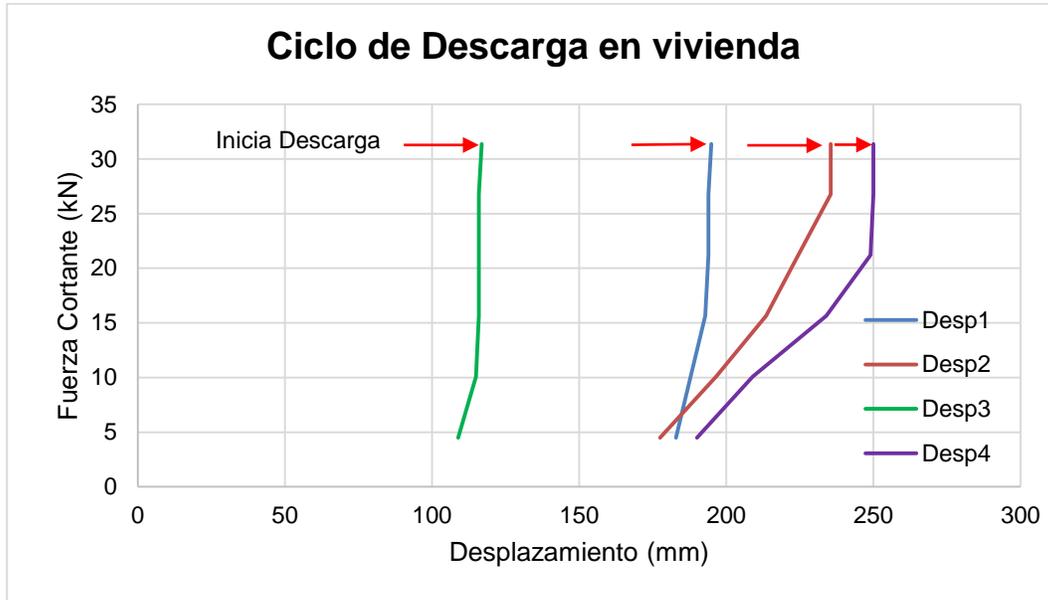


Figura 4-69: Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los decrecimientos de carga durante ensayo de DESCARGA a vivienda a escala real.

Fuente: Autor

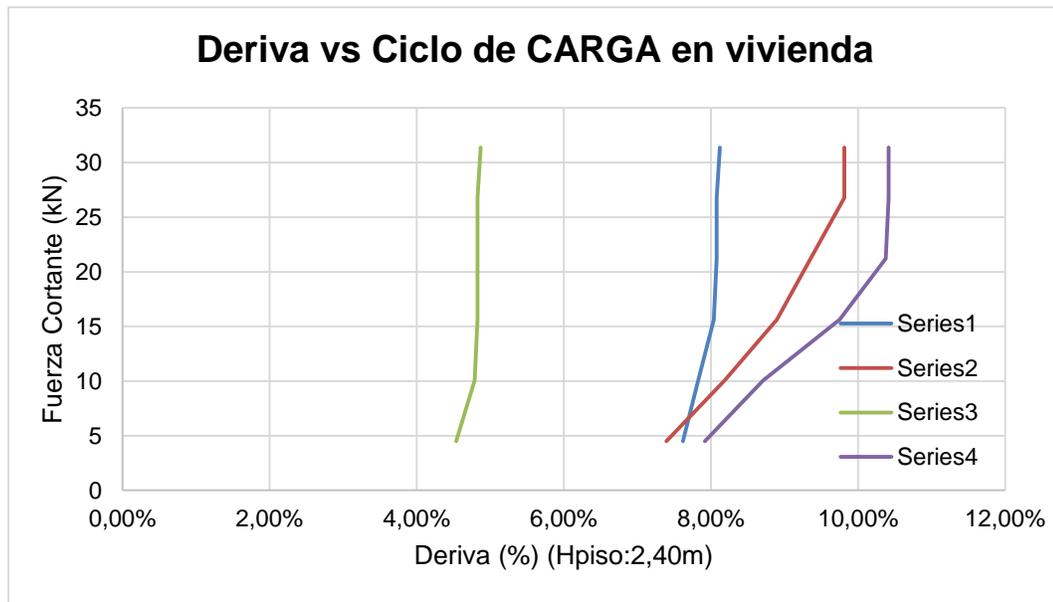


Figura 4-70: Comportamiento de la deriva en la estructura durante los decrecimientos de carga durante ensayo de DESCARGA a vivienda a escala real. Fuente: Autor

De la Figura 4-68 y la Figura 4-69 se puede inferir que el desplazamiento que se observa en punto medido Desp3 (pórtico #1), la restauración a su punto de partida fue menor al punto medido Desp1 (pórtico #3) lo que da indicaciones que la puerta metálica cerrada influyó aportando rigidez al pórtico y así disminuyendo el desplazamiento.

Los desplazamientos Desp2 y Desp4 (pórtico #2) se encuentran en el mismo eje y se observa en la gráfica resultados similares, diferencia máxima de 14,5mm al finalizar el proceso de carga.

A continuación se muestra el proceso de carga y descarga en una misma grafica para los puntos medidos en la estructura:

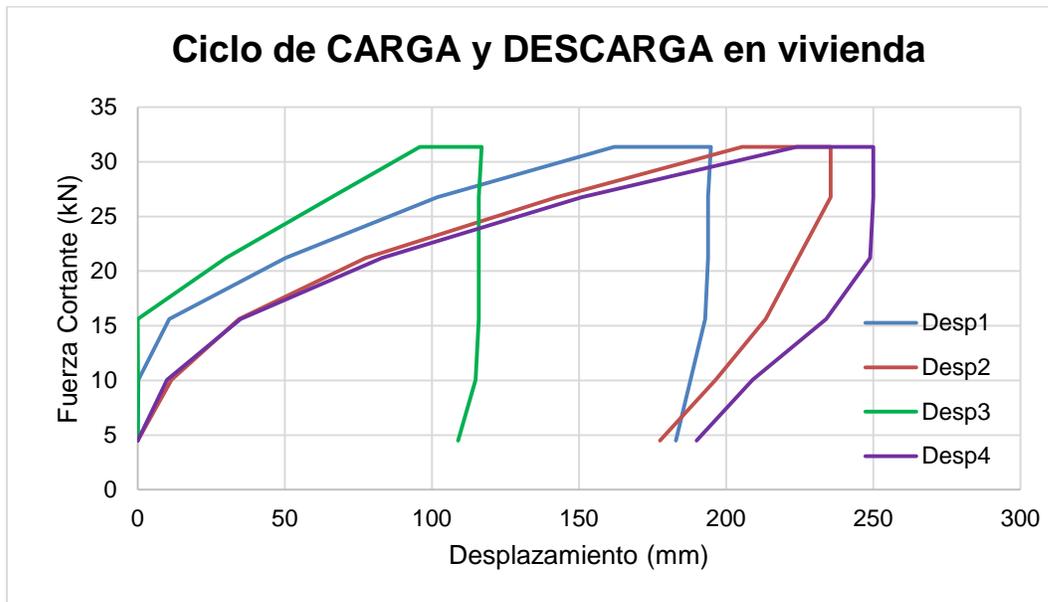


Figura 4-71: Comportamiento del desplazamiento en la estructura durante los incrementos y decrecimientos de carga durante ensayo de CARGA y DESCARGA a estructura tipo vivienda a escala real. Fuente: Autor

De la Figura 4-71 se puede inferir que la estructura sufre grandes deformaciones a medida que se incrementa la carga lateral estática.

Para el pórtico #2 (Desp2 y Desp4) donde no existen muros que aporten rigidez se presenta el mayor desplazamiento con 250mm y también la mayor recuperación de desplazamiento, con una recuperación total de 60mm, es decir se recuperó un 24%.

4.5.1 Análisis Sísmico de la estructura a escala real

En este capítulo el análisis sísmico de la estructura a escala real se realiza solo para el sentido X debido a que la prueba de carga en la vivienda se realizó en este solo sentido, se tuvieron en cuentas las solicitaciones para las tres zonas de amenaza sísmica baja, intermedia y alta en Colombia, según la NSR-10 y la ubicación de la prueba de carga lateral estática a la vivienda se realizó en el municipio de Vijes en el departamento de Valle del Cauca, al noroccidente de Colombia, esta es zona de amenaza sísmica alta, con valores de $A_a=0.25$ $A_v=0.25$.

Las fuerzas sísmicas se calculan con la envolvente de espectros elásticos de diseño contemplados en la NSR-10 para un suelo tipo E (suelos que entre otras características tienen un espesor mayor o igual a 3m de arcillas blandas), las envolventes de los espectros clasificadas por zona de amenaza sísmica se presentan en la Figura 4-54.

A continuación se determina el cortante sísmico, para una masa de la estructura (M) de 82,42kN (según información suministrada por FICIDET) (42):

Tabla 4-25: Cortante sísmico en la base calculado por zona de amenaza sísmica.

Fuente: Autor.

Zona de Amenaza	Sa (g)	Vs (kN)
Alta	1,125	90,87
Intermedia	0,85	68,66
Baja	0,625	50,48

A continuación se muestran en la Tabla 4-26 las dimensiones de los muros en el sentido de estudio X, basados en la configuración estructural mostrada en la Figura 4-55.

Tabla 4-26: Longitud de muros en sentido X de la vivienda estudiada. Fuente: Autor.

MUROS	Long. Muros en X (m)	Long. Muros en Y (m)
M1	5,69	6,33
M2	5,69	6,33

A continuación se muestran los cortantes sísmicos por unidad de longitud calculados para cada muro en el sentido de estudio “X” como muestran en la Tabla 4-27 para las diferentes zonas de amenaza sísmica en Colombia basado en la figura A.2.3-1 de la NSR-10.

Tabla 4-27: Cortante sísmico por unidad de longitud para cada muro en sentido “X”.

Fuente: Autor.

Muro	Zona de Amenaza		
	Muros Eje Y	Intermedia	Baja
	ALTA Vx (kN/m)	Vx (kN/m)	Vx (kN/m)
M1	15,97	12,07	8,87
M2	15,97	12,07	8,87

Para comparar el cortante sísmico por unidad de longitud del conjunto de pórticos es necesario sumar los cortantes sísmicos para cada muro, a continuación se realiza este cálculo:

Tabla 4-28: Cortante sísmico por unidad de longitud para el conjunto de pórticos.

Fuente: Autor.

Muro	Zona de Amenaza		
	ALTA	Intermedia	Baja
	V (kN/m)	V (kN/m)	V (kN/m)
Conjunto de pórticos	31,94	24,14	17,74

A continuación se muestra la comparación del cortante sísmico de la envolvente de espectros elásticos de diseño contemplados en la NSR-10 para un suelo tipo E y el cortante resistido en la prueba de carga para cada pórtico estudiado:

Tabla 4-29: Comparación de cortante sísmico según NSR-10 y cortante resistente según prueba de carga lateral en vivienda a escala real de prPEAD en sentido de estudio

X. Fuente: Autor

Solicitud de cortante sísmico según NSR-10 (Vs) (kN/m)			Fuerza cortante máxima resistida en sentido X de la vivienda de prPEAD (kN/m)
Zona de amenaza sísmica			Pórticos #1, #2 y #3
Alta	Intermedia	Baja	
31,94	24,14	17,74	31,37

De la Tabla 4-29, se puede concluir que aunque la resistencia a carga lateral estática de la vivienda sea mayor que las solicitudes de cortante sísmico según la NSR-10 para las zonas de amenaza sísmica baja e intermedia, el resultado no es representativo ya que se ensayó una sola muestra (una casa ensayada).

Es necesario aclarar que son necesarios estudios del comportamiento dinámico de la estructura y su comportamiento suelo – estructura que simulen el comportamiento real ante las solicitudes sísmicas establecidas por la NSR-10 ya que el ensayo realizado a la vivienda fue un ensayo de carga lateral estática, que si bien muestra luces del comportamiento ante cargas horizontales no es tan representativo como lo sería un ensayo dinámico.

Al ensayar la vivienda a carga lateral estática los elementos que la conforman como las columnas, vigas, viguetas o bloques Brickarp® no fallaron por fractura del elemento y tampoco colapsó la estructura, pero puede decirse que la estructura tuvo varios tipos de fallas diferentes a las mencionadas, como lo son las deflexiones excesivas, rotaciones en las uniones viga – columna, levantamiento de columnas esquineras, desplazamiento o separación de los bloques Brickarp® entre si y deformaciones permanentes de la estructura medidas hasta de 250 mm.

Deformaciones de hasta 250 mm no son común en estructuras convencionales con dimensiones similares y pueden generar pánico en las personas que la habiten.

Es necesario también el estudio del comportamiento de los elementos que conforman la vivienda bajo condiciones de altas temperaturas y su relación con la resistencia a cargas gravitacionales, horizontales como viento y dinámicas como sísmicas.

4.6 Comparación de las propiedades mecánicas de los elementos de prPEAD estudiados con otras investigaciones del Estado del Arte

En este capítulo se muestra la comparación de las diferentes propiedades mecánicas de los elementos de prPEAD estudiados con los resultados encontrados por otros investigadores nombrados en el estado del arte en la sección 2.1, 2.2 y 2.3; para lo cual inicialmente se muestran en la Tabla 4-30 las propiedades de resistencia a la compresión, a la tensión, a cortante, a flexión, a compresión diagonal, a carga distribuida y módulo de elasticidad arrojado por los ensayos realizados bajo diferentes sentidos de estudio para cada muestra de la presente investigación.

La comparación se realizará con valores de elementos y no de materiales, es decir se compararan los valores arrojados por los elementos como bloques, columnas y vigas contra los resultados de las investigaciones de otros investigadores nombrados en el estado del arte y se muestra en la Tabla 4-31.

Tabla 4-30: Resultados de valores característicos de las propiedades mecánicas estudiadas mediante ensayos a elementos de prPEAD. Fuente: Autor.

Muestras	Sentido de estudio ¹⁶	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a tensión (MPa)	Resistencia al corte (kN)	Resistencia a Flexión (kN*m)	Resistencia a Carga distribuida (kN*m ²)
Tipo cubo	X	4,65	157	-	-	-	-
	Y	5,76	66	-	-	-	-
	Z	2,40	33	-	-	-	-
Probeta a tensión	Y	-	251	4,57	-	-	-
Tipo lámina	X	-	-	-	3,90	-	-
Bloque Brickarp® sin agujeros	Z	3,85	-	-	-	-	-
Bloque Brickarp® con agujeros		3,15	-	-	-	-	-
Columnas 2,40m	Z	3,17	-	-	-	-	-
Columnas 1,60m		4,63	-	-	-	-	-
Columnas 0,80m		6,81	-	-	-	-	-
Viga con pestaña 1,16m	Z	-	353	-	-	1,28	-
Viguetas o correas 1,50m		-	1.100	-	-	0,46	-
Vigas de secc. compuesta 2,40m		-	-	-	-	2,47	-
Muretes 0,46x0,4x,07m	Z	5,22	-	-	-	-	-
Muros a escala real 1,27x2,25m	Z	-	-	-	1,69	-	3,14
Estructura - vivienda 6,33x6,33m	X	-	-	-	31,37	-	-

¹⁶ El sentido de estudio X, es paralelo al sentido de la orientación de vacíos encontradas en la parte interna de los elementos.

Tabla 4-31: Comparación de resultados de las propiedades mecánicas estudiadas mediante ensayos a elementos de prPEAD con otras investigaciones nombradas en el estado del arte del presente documento. Fuente: Autor y (27), (29), (34), (38) y (41).

Investigaciones	Tipo de materiales	Sentido de estudio ¹⁷	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia a Tensión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Estudio de la investigación
Sierra, Jorge (2016)	prPEAD	Z	2,40 - 6,81	0,46 – 2,47		33 - 1100	Elementos estructurales de plástico PEAD reciclado
	prPEAD	Y	5,76		4,57		
Elzafraney (2005) (27)	prPEAD + prPVC + prPP + Caliza		16,86	3,57			Plástico como sustituto de agregados en el concreto
Salazar (2014) (29)	prPET + prPP		38,00	15,50			Módulo de vivienda
Gaggino (2007) (26)	prLDPE + prBOPP + prPVC + resina de poliéster	II	50,00				Paneles en frío como sustituto a tableros de madera
		-I	91,24				
Ferreira (2012) (34)	Concreto + prPEAD + prPET		23 - 43		1,6 - 2,8	18330	La influencia de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de concretos con contenido de agregados de plástico reciclado
Breslin (1998) (38)	prPEAD	-I	192,00				Tablones de madera plástica
		II	24,00				
Benjapon (2011) (41)	PEAD + Aserrín		20,35		15,89	772 - 1.028	Uso de madera plástica en elementos de fachada

¹⁷ El sentido de estudio de las propiedades se refiere al sentido de las fibras, por lo que se simboliza el sentido de estudio paralelo a la fibra con el símbolo “ II “ y el sentido de estudio perpendicular a la fibra con el símbolo “ -I “. El sentido de estudio Z, es perpendicular al sentido de la orientación de vacíos encontradas en la parte interna de los elementos

5. Ventajas y desventajas del uso del prPEAD en elementos estructurales para vivienda y su aporte al desarrollo sostenible

El aprovechamiento de prPEAD para la fabricación de elementos estructurales en la construcción de vivienda beneficia al medio ambiente al liberarlo del daño que provoca la acumulación en exceso de los residuos sólidos de este tipo, brinda solución rápida y de bajo costo a la necesidad de accesibilidad a vivienda a personas de bajos recursos, brinda herramientas a arquitectos e ingenieros a innovar en nuevas soluciones de vivienda con nuevos materiales de ingeniería. (43)

Para elaborar elementos estructurales de prPEAD para el sistema Brickarp® para la construcción de vivienda es necesario realizar diferentes procesos como: lavado del material prPEAD, molienda del prPEAD, extrusión, llenado de moldes, enfriamiento de elementos, desmoldado y corte de elementos de prPEAD (44) (45). Sin embargo según FICIDET en el proceso también se producen tres tipos de residuos, el primero es prPEAD no reciclable producto del calentamiento en exceso de material que queda en la boquilla de la extrusora y rebabas en los moldes, también se genera agua residual producto del lavado del material reciclado y del agua utilizada para el enfriamiento de los elementos enmoldados, que para ser aprovechadas nuevamente necesitarían de tratamientos y desinfección y el tercero son gases producidos durante la extrusión del material producto del calentamiento del material reciclado con presencia de humedad y productos químicos que pudiesen no haberse eliminado en el proceso inicial de lavado. (42)

A continuación en la Figura 5-1 se muestran los procesos necesarios para fabricar una casa con sistema constructivo Brickarp®, la cantidad de material prPEAD usado, la energía consumida en cada proceso, el agua utilizada y residual producto de estos procesos y en la Tabla 5-1 un resumen de los requerimientos energéticos:

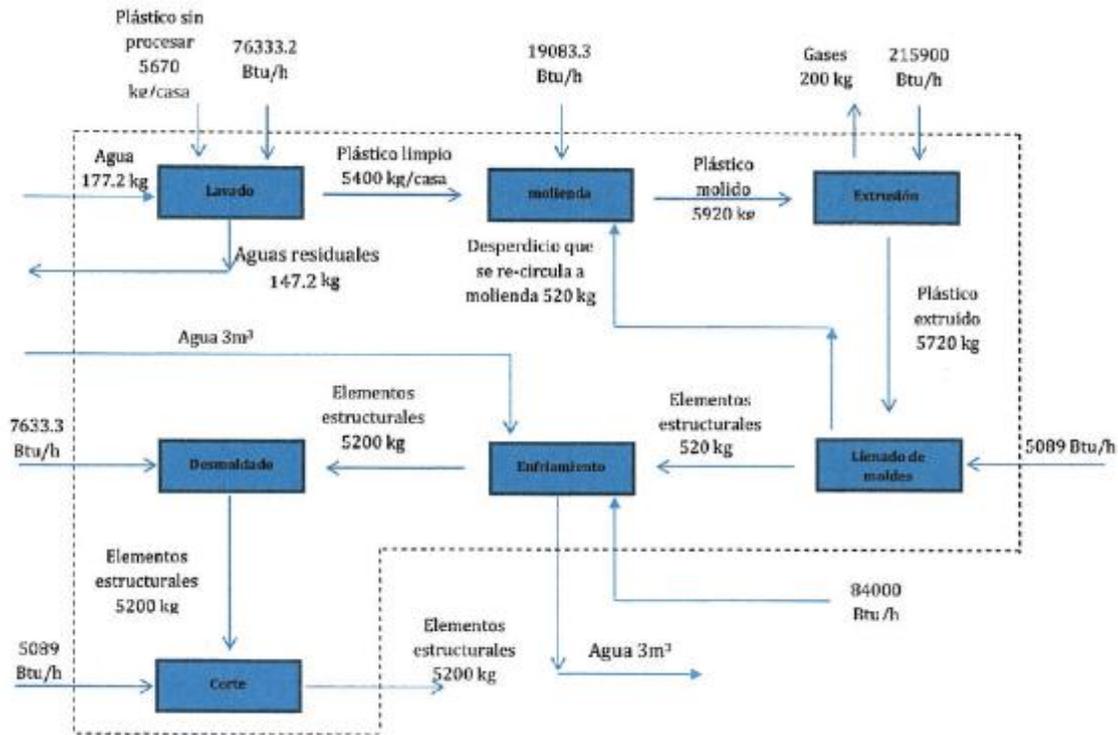


Figura 5-1: Requerimientos energéticos en la fabricación de los elementos que conforman el sistema constructivo Brickarp®. Fuente: (44) (45)¹⁸

Tabla 5-1: Procesos de fabricación, gastos energéticos y gastos de materia para la fabricación de una vivienda con sistema Brickarp®. Fuente: (44) (45)

Procesos	prPEAD	Energía Eléctrica	Agua
	kg	kWh	m3
Lavado	5670	1588,3	0,18
molienda	-	1946,3	-
Extrusión	-	6074,3	-
Llenado de moldes	-	91	-
Enfriamiento	-	3200,3	3
Desmoldado	-	15,7	-
Corte	-	19,4	-
Total	5670	12935,3	3,18

¹⁸ Figura 5-1 modificada por autor y acentuando colores.

Según el informe de proceso de producción Brickarp y entrevista con la Arq. Carolina Parra coordinadora de producción en FICIDET (44) (45), durante el proceso de llenado de moldes se puede llegar a producir un desperdicio de más de 5 kN de material prPEAD, que es recirculado al proceso de molienda y continua con el proceso de fabricación de elementos.

Como puede observarse en la Tabla 5-1 al fabricar una vivienda con elementos estructurales de prPEAD es posible utilizar hasta 60 kN de residuo, lo que nos da una idea de una posible solución a dichos residuos mientras beneficia al medio ambiente y sociedades vulnerables o de bajos recursos, ya que la fabricación de elementos estructurales de prPEAD como el sistema Brickarp® son de bajo costo como se observa en la Tabla 5-2 donde se resumen los gastos principales en el proceso de producción. (45)

Tabla 5-2: Gastos económicos para la obtención de elementos prPEAD (Unidad en pesos Colombianos). Fuente: (44) (45)

Procesos	prPEAD	Energía Eléctrica	Agua
	kN	kWh	m3
Consumo	56,70	12935	3,18
Precio unitario	\$ 10.000 ¹⁹	\$ 312 ²⁰	\$ 1.864 ²¹
Costo	\$ 567.000	\$ 4.035.813	\$ 5.927
Costo total	\$ 4.608.741		

El uso de material prPEAD para la fabricación de elementos estructurales para la construcción de vivienda también se plantea como una alternativa para mitigar la contaminación producida por los sistemas constructivos tradicionales para vivienda en Colombia que sin lugar a dudas contamina el ambiente al explotar materiales pétreos en canteras a cielo abierto, expulsión de carbón mineral al ambiente por la cocción de ladrillos, expulsión de cenizas en la fabricación de cemento u otros aspectos asociados como el transporte; por lo tanto el uso de materiales de prPEAD ya sea como remplazo, sustituto o

¹⁹ Valor tomado de fuente (44) y (45)

²⁰ Tarifas de energía eléctrica reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) mayo de 2016, para sector no residencial tipo industrial sin contribución diurna.

²¹ Tarifas de agua potable y servicio de alcantarillado vigente del año 2016 mediante art. 125 de Ley 142 de 1.994, de acuerdo a información suministrada por DANE y CRA

adición para fabricar o construir elementos estructurales reduciendo los costos en proyectos de ingeniería ya que esta materia prima y la producción resultan ser económica.

Si se estudia el reforzamiento de este sistema constructivo para cumplir con la normativa vigente Colombiana el sistema constructivo podría ser aplicable en todas partes de Colombia, con la ventaja de ser desmontado, trasladado y vuelto a ensamblar por mano de obra no especializada, además existen los conocimientos, habilidades, equipos y herramientas para fabricar y construir viviendas con elementos estructurales fabricados con prPEAD de forma funcional, seguras y económicas, con principal utilidad para atención y prevención de desastres y situaciones de emergencia que necesiten solución inmediata. Sin embargo una desventaja es que la estructura puede considerarse no redundante ya que sus sistema de resistencia lateral y vertical se limita a dos muros de 6,33m en sentido Y y 5,43m en sentido X, por lo tanto cuando falle uno de ellos es muy probable que la estructura colapse.

Como se observó en la sección 4.3.1 y 4.5 de los resultados en ensayos a carga lateral en muros y en la vivienda a escala real, el sistema tiene la desventaja de ser flexible soportando desplazamientos laterales hasta de 250mm y sigue deformándose proporcionalmente en el tiempo si la carga lateral es permanente como se observó en la deformación producida durante el tiempo de espera entre la carga y la descarga de la vivienda, por lo que se debe tener prevención en usos como elementos de apuntalamiento o contención de tierras.

La NSR-10 contempla diseño por fuego y clasifica la vivienda estudiada en grupo de ocupación R-I y pueden clasificarse los materiales que la conforman como clase 4 como plásticos sin grado que permita asignarlos a otras clases, debido a que en esta investigación no se estudió la resistencia al fuego de los elementos estructurales prPEAD nos remitimos a literatura e investigaciones de otros autores.

Por lo general los plásticos se deforman a baja temperatura y pueden clasificarse según su resistencia al fuego.

El PEAD es clasificado según su resistencia al fuego como combustible, su temperatura de ablandamiento es de 120 °C y su temperatura de auto ignición es de 330 - 410 °C y clasificado en grado de peligro 1 con peligro algo mayor de incendio, el grado mayor ante peligro de fuego según el sistema de identificación de riesgos HMIS® III (por sus siglas en inglés de Hazardous Materials Identification System o sistema de identificación de materiales peligrosos).

Según Girón (2005) quien recomienda el uso del PEAD a temperatura máxima de utilización entre 55 °C y 120 °C, también establece que la densidad del material decrece con el ascenso de la temperatura lo que en algunas veces vuelve incontrolable el encogimiento de piezas moldeadas de grandes dimensiones, por lo que la estructura presenta la desventaja ser propensa a incendio, y necesitaría tener sistemas activos y pasivos contra el fuego bajo especificaciones de la NSR-10. (17)

En la investigación llevada a cabo por Salazar (2014) quien realizó pruebas de ignición en bloques fabricados con plásticos reciclados y en sus resultados mostró que cualquier elemento de plástico reciclado impregnado de combustible es susceptible de combustión pero sin la impregnación el elemento presenta resistencia a la ignición en contacto con una llama (29), los mismos resultados fueron encontrados en el informe de proceso de producción de elementos de prPEAD llevado a cabo por Calero (2011). (45)

Si comparamos el comportamiento de los elementos estructurales de prPEAD con la madera encontramos similitud en su apariencia, ya que los dos son sólidos, porosos y heterogéneos, (46) sin embargo difieren en su comportamiento ante cargas externas que tienden a deformarlas o alterar sus dimensiones; mientras que el contenido de humedad, la densidad, ángulo de fibras, nubosidad, temperatura, entre otras pueden afectar las propiedades mecánicas en la madera, estos factores excluyendo la densidad y la temperatura no afectan los elementos de prPEAD, pero al comparar los valores de las propiedades mecánicas de los elementos estudiados en esta investigación con los esfuerzos admisibles para diseño en madera según la NSR-10 en la Tabla 5-3 encontramos que la madera se comporta mejor ante cargas de compresión, flexión y tensión y tiene módulo de elasticidad mayor a tres veces el determinado para elementos prPEAD estudiados sin embargo se encontró que bajo los ensayos a cortante en lámina

bajo la norma ASTM-732, los elementos de prPEAD son hasta 3,5 veces más resistentes bajo sollicitaciones de cortante que la madera. (47)

Tabla 5-3: Comparación de propiedades mecánicas de elementos prPEAD y la madera. Fuente: Autor y (47).

Investigaciones	Tipo de materiales	Sentido de estudio	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia a Tensión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Resistencia a Cortante (MPa)	Estudio de la investigación
Sierra, Jorge (2016)	prPEAD	Z	2,40 - 6,81	0,46 – 2,47		33 – 1.100		Elementos estructurales de plástico PEAD reciclado
		Y	5,76		4,57			
		X					3,90	
Madera (NSR-10)	Madera	II	10,0 - 23,0		9,0 - 21,0	9000 - 18000	1,3 - 2	Esfuerzos admisibles madera Tabla G.2.2-1
		-I	1,50 - 6,00	12,5 - 29,5				

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación se presentan las siguientes conclusiones:

- Se pudo establecer que el prPEAD es factible utilizarlo para fabricar elementos que conformen una estructura de habitabilidad temporal, de bodega temporal o de uso en caso de emergencia pero para su implementación debe estudiarse primero su comportamiento ante altas temperaturas, su resistencia al fuego cumpliendo los lineamientos de la NSR-10, su comportamiento a volcarse ante cargas de viento, su comportamiento de flotabilidad en caso de inundación, el comportamiento de las uniones viga columna y su comportamiento dinámico ante cargas sísmicas.
- Se realizaron ensayos sobre diferentes elementos de prPEAD (probetas de material prPEAD, bloques Brickarp®, columnas, vigas, viguetas, muros ensamblados, vivienda) y se evaluó la capacidad resistencia última de cada elemento de los cuales se puede inferir que existió gran variabilidad en todos. La hipótesis de esta variabilidad de resultados se puede establecer en el protocolo de fabricación que no tiene establecido un lineamiento para la selección del material prPEAD por lo que el prPEAD puede contaminarse de otro tipo de plástico o residuos sólidos diferentes al plástico y debido a la procedencia del material como plantas de reciclaje y botaderos municipales no existe homogeneidad en la materia prima.
- Es necesario el diseño de una unión viga columna capaz de soportar momentos para resistir cargas gravitacionales y horizontales ya que se pudo demostrar que las existentes en el sistema constructivo permiten rotaciones y desplazamientos de

sus elementos, lo que ocasiona falla por deflexiones excesivas y falla por separación entre bloques Brickarp®.

- Puede catalogarse la estructura como S-5, según los niveles y rango de comportamiento estructural de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) (FEMA 356) ya que la estructura sufre daños severos sin sufrir colapso parcial o total, soportando desplazamientos horizontales de más de 250 mm, por lo que el sistema de resistencia de carga lateral pierde gran parte de su rigidez y resistencia, sin embargo el sistema de cargas verticales mantiene capacidad suficiente para soportar la carga actuante de la cubierta.
- La estructura puede catalogarse como N-D (amenaza reducida), según los niveles de comportamiento de sistemas no estructurales del FEMA 356, ya que elementos no estructurales de gran tamaño que al caer pueden afectar muchas personas, están asegurados para evitar su caída, como es el caso de los elementos que conforman la cubierta, que durante el ensayo de carga lateral a la vivienda se deformó junto a la estructura principal de prPEAD y aunque se averió para su función, con la deformación entre tejas y elementos que la anclan esta no colapsó.
- Podemos inferir que los muros ensayados bajo carga distribuida fallaron por deflexión excesiva y por desplazamiento entre sí de bloques Brickarp®, aunque al comparar el valor característico de resistencia a carga distribuida en el plano del muro resulte 3,14 veces mayor que las solicitaciones críticas de viento establecidas por la NSR-10, con tan solo 3 ensayos no puede asegurarse que estos muros sean lo suficientemente resistentes para cumplir con el reglamento NSR-10.
- En el estudio de la vivienda a escala real no se pudo ensayar sus muros a carga distribuida debido a la complejidad del montaje, tampoco se estudió si la fuerza del viento es capaz de levantar y desprender la vivienda de su cimentación, ya que la investigación no enfatizó en la unión suelo estructura sino en la capacidad de los elementos prPEAD, tampoco se estudió el comportamiento de las uniones viga columna.

- Se demostró que en los muros conformados por bloques Brickarp® acoplados con columnas y vigas de prPEAD, no trabajan como un todo, ya que en los ensayos de muretes a carga a compresión diagonal, en los ensayos a carga lateral estática en muros a escala real y en la prueba de carga lateral estática en la vivienda a escala real los bloques se desplazan distanciándose unos de otros en sentido horizontal, es decir en sentido paralelo a la carga aplicada, los bloques no se encuentran trabados entre sí y al superar la fuerza de fricción estos se deslizan, la hipótesis resultante de este comportamiento es que si pudiesen restringirse estos desplazamiento al trabar los bloques la resistencia a cargas horizontales sería mayor.
- La falla predominante en los ensayos a compresión en columnas de prPEAD fue la falla por pandeo, debido a que son elementos esbeltos, sin embargo se llegó a la conclusión que en la medida que las longitudes de las columnas aumentaban estas resistían un 45% menos que la anterior, se encontraron valores máximos de resistencia a la compresión que variaron de 3,17 MPa, 4,63 MPa y 6,81 MPa para columnas de 2,40m, 1,60m y 0,80m respectivamente.
- Se encontró que el material prPEAD al ser procesado y fabricado en elementos como bloques Brickarp®, columnas o vigas queda con vacíos o poros en su parte central interna, se cree que esto sucede durante la fabricación ya que el material prPEAD es lavado y secado, quedando residuos de agua en el proceso. Luego el material pasa por la fundición en la extrusora donde estas partículas de agua se evaporan provocando burbujas de aire. Luego pasa esta mezcla fundida hacia el molde que le dará la forma al elemento a enfriarse rápidamente en un baño de agua fría. Por lo tanto el material más cercano a la superficie del molde se enfriará más rápido en comparación con el material en la parte central y las burbujas de aire quedan atrapadas en la parte interna del elemento. Este fenómeno fue establecido como hipótesis en investigaciones realizadas por Nosker en 1992 (9), Zarillo en 1993 y Breslin en 1998 (11) investigaciones nombradas en el estado de arte de la presente documento.

- La variabilidad de enfriamiento provoca vacíos y poros en los elementos provocando diferentes comportamientos en sus tres sentidos catalogándose así como un material anisotrópico, esta hipótesis se logró demostrar al estudiar 30 muestras de material tipo cubo a compresión en sus tres sentidos X, Y y Z.
- El sentido de salida del material al momento de la extrusión el cual determina el sentido u orientación de los vacíos juega un papel importante en las propiedades finales de los elementos fabricados, de igual forma lo es el volumen del elemento a fabricar ya que elementos voluminosos tenderán a contener más vacíos en la parte interna que elementos laminares; otro factor importante que puede influir en las propiedades finales de los elementos prPEAD al momento de la fabricación es el secado del material reciclado, ya que el contenido de humedad al evaporarse en la extrusora provoca burbujas de aire que pueden quedar encerradas en el elemento y disminuir la densidad de este.
- A partir de las investigaciones realizadas fue posible comparar con algunos resultados puntuales como resistencia a la compresión y resistencia a flexión, de la investigación de Salazar (2014) (29) donde se usaron elementos de forma similares pero con materiales reciclados diferentes (de PET y polipropileno PP) para la fabricación de elementos para la modulación de una vivienda unifamiliar, tal comparación demostró mediante la Tabla 4-31 valores mayores a los arrojados en esta investigación, sin embargo Salazar (2014) no establece las condiciones y protocolos de los ensayos, pero encontró en el centro de sus elementos los mismos vacíos que se encontraron en los elementos estudiados en esta investigación.

6.2 Recomendaciones

A continuación se presenta una serie de recomendaciones que se podrían hacer en un futuro con el fin de profundizar y fortalecer algunos aspectos de esta investigación o a la hora de emprender investigaciones similares.

-
- Para aumentar la resistencia a carga lateral en muros de prPEAD estudiados en esta investigación es necesario restringir el desplazamiento horizontal entre bloques Brickarp® como por ejemplo con tornillos auto perforantes luego de ensamblado el muro o mejorando el diseño de estos bloques para lograr trabarlos entre si al momento de ensamblarlos y conseguir que trabajen como un todo en el conjunto de bloques, columnas y vigas que conforman un muro de prPEAD para soportar carga lateral.
 - De acuerdo con el modo de falla de varias muestras tipo cubo en ensayos a compresión, se recomienda para cuando se vaya a sacar material de un elemento de prPEAD por medio de corte y posterior maquinado realizar un corte transversal en el elemento y conocer la variabilidad de vacíos y poros, ya que estos afectan significativamente las propiedades finales del material.
 - Se recomienda desarrollar investigaciones utilizando especímenes de características similares pero con secciones compuestas con acero, es decir creando elementos prPEAD estructurales unidos con perfiles de acero de tal forma que mejore el desempeño frente a sollicitaciones de compresión reduciendo la esbeltez de elementos metálicos sometidos a compresión al unirlos con matrices de elementos de prPEAD o con un sistema de resistencia sísmica independiente en materiales como la madera o acero.
 - Se recomienda desarrollar investigaciones de resistencia al fuego para elementos prPEAD que puedan llegar a usarse en viviendas.
 - Es importante también desarrollar investigaciones donde se realice un análisis numérico por elementos finitos de este tipo estructuras y se pueda corroborar con los resultados obtenidos experimentalmente; de esta manera, se podrán definir parámetros y variables a la hora de modelar y diseñar este tipo de estructuras con nuevos materiales de ingeniería con la ayuda de herramientas computacionales.

- Se recomienda el estudio del uso de un sistema de resistencia sísmica adicional independiente en madera o acero para el sistema constructivo con elementos prPEAD.

A. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en muestras tipo cubos

Valores de esfuerzos a compresión máximos en sentido X paralelo a la orientación de vacíos como observa en la Figura 3-1. Fuente: Autor

Nº Ensayo	Nombre muestra	Dirección	P máx.	Esfuerzo. Máx.	Módulo Elástico
			(kN)	(MPa)	(MPa)
1	C1-1	X	34,09	8,49	309
2	C1-2	X	37,38	9,17	217
3	C3-3	X	30,02	8,00	194
4	C3-4	X	26,73	6,95	207
5	C3-5	X	30,82	8,03	201
6	C3-6	X	29,33	7,83	205
7	C3-7	X	30,51	7,89	195
8	C3-8	X	28,01	7,29	181
9	C3-9	X	63,32	16,59	224
10	C3-10	X	69,16	17,46	205

Análisis estadístico ensayo a compresión en sentido X según Figura 3-1. Fuente: Autor

VALOR	Esf. Máx. (MPa)	Elasticidad (MPa)
Promedio:	9,80	213,80
Desviación estándar:	3,90	35,50
Coefficiente de variación	40%	17%
<u>Valor característico</u>	<u>4,65</u>	<u>157</u>

Valores de esfuerzos a compresión máximos en sentido Y según Figura 3-1. Fuente:

Autor

Nº Ensayo	Nombre muestra	Dirección	P máx.	Esfuerzo. Máx.	Módulo Elástico
			(kN)	(MPa)	(MPa)
11	C2-1	Y	75,34	18,32	192
12	C4-2	Y	52,14	14,42	109
13	C4-3	Y	35,32	9,68	86
14	C4-4	Y	35,32	9,19	95
15	C4-5	Y	38,85	10,67	130
16	C4-6	Y	35,63	9,76	88
17	C4-7	Y	71,32	22,22	139
18	C5-8	Y	20,16	5,56	101
19	C5-9	Y	18,41	5,04	96
20	C5-10	Y	18,85	4,97	107

Análisis estadístico ensayo a compresión en sentido Y según Figura 3-1. Fuente: Autor

VALOR	Esf. Máx. (MPa)	Elasticidad (MPa)
Promedio:	10,98	114,33
Desviación estándar:	5,76	32,08
Coficiente de variación	53%	28%
<u>Valor característico</u>	<u>3,28</u>	<u>66</u>

Valores de esfuerzos a compresión máximos en sentido Z según Figura 3-1. Fuente:

Autor

Nº Ensayo	Nombre muestra	Dirección	P máx.	Esfuerzo. Máx.	Módulo Elástico
			(kN)	(MPa)	(MPa)
21	C5-1	Z	12,26	3,40	44
22	C5-2	Z	14,98	4,07	46
23	C5-3	Z	14,86	4,09	60
24	C5-4	Z	17,17	4,62	31
25	C6-5	Z	11,97	4,35	64
26	C2-6	Z	22,81	5,50	65
27	C6-7	Z	13,24	3,68	52
28	C6-8	Z	22,27	6,17	57
29	C6-9	Z	10,50	2,92	57
30	C6-10	Z	10,20	2,85	53

Análisis estadístico ensayo a compresión en sentido Z según Figura 3-1. Fuente: Autor

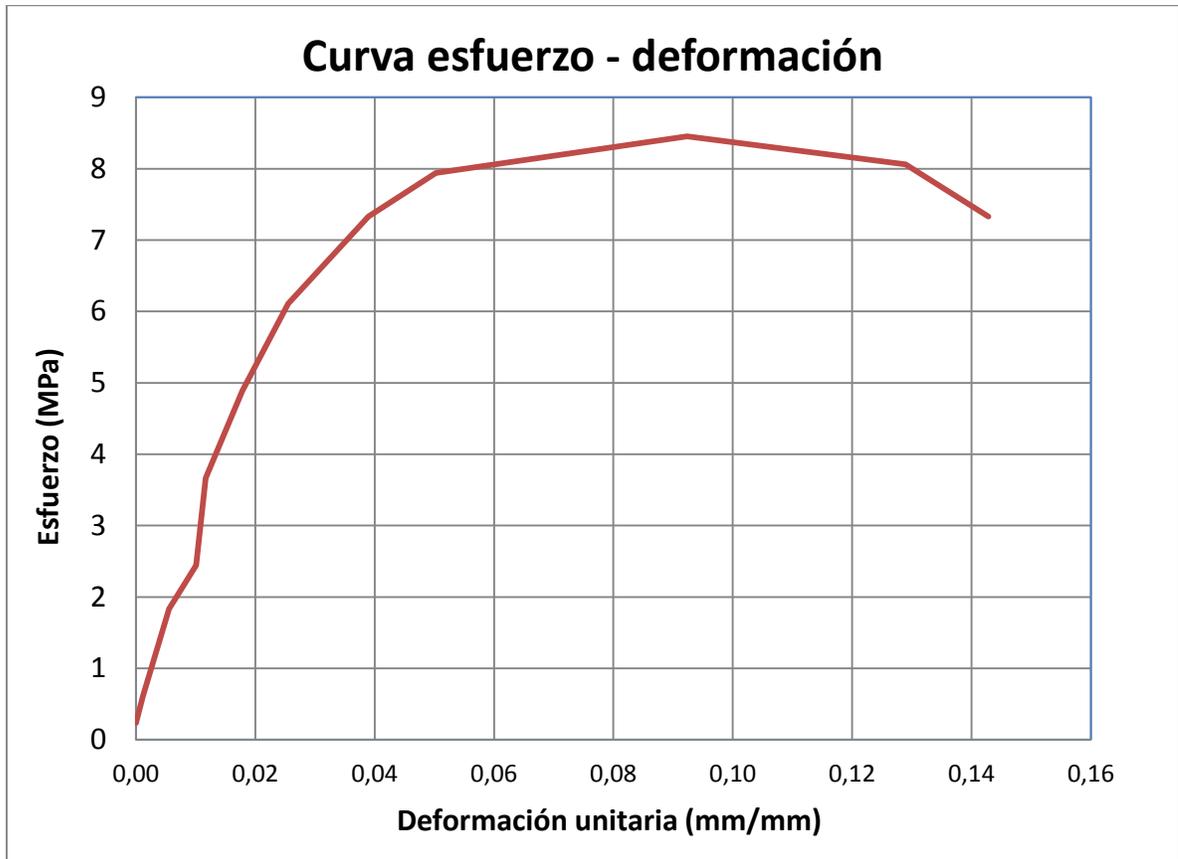
VALOR	Esf. Máx. (MPa)	Elasticidad (MPa)
Promedio:	4,16	52,89
Desviación estándar:	1,06	10,32
Coeficiente de variación:	25,5%	19,5%
<u>Valor característico</u>	<u>2,40</u>	<u>33</u>

- Resultados de muestra tipo cubo C1-1 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:		MUESTRA No.: C1-1
L _{1promedio} =	62,52 mm	P. Máx.: 34,09 kN
L _{2promedio} =	64,22 mm	Esfuerzo Máx.: 8,49 MPa
L _{Tpromedio} =	63,37 mm	Elasticidad: 308,8 MPa
Área =	4015 mm ²	
H _{promedio} =	64,20 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,23	0,00000	
2,5	0,0254	0,1270	0,0762	0,0254	0,0000	0,0127	0,0002	0,2	0,61	0,00119	319,06
7,4	0,3048	0,4064	0,3556	0,0508	0,0000	0,0254	0,0004	0,6	1,83	0,00554	280,70
9,8	0,5080	0,7874	0,6477	0,0762	0,0508	0,0635	0,0010	0,8	2,44	0,01009	134,25
14,7	0,7620	0,7366	0,7493	0,1270	0,1016	0,1143	0,0018	1,1	3,66	0,01167	771,92
19,6	1,1430	1,1430	1,1430	0,1778	0,1778	0,1778	0,0028	1,5	4,89	0,01780	199,21
24,5	1,6510	1,6256	1,6383	0,2540	0,3302	0,2921	0,0046	2,1	6,11	0,02552	158,34
29,4	2,5400	2,4638	2,5019	0,4572	0,5334	0,4953	0,0078	2,9	7,33	0,03897	
31,9	3,2258	3,2258	3,2258	0,6858	0,7366	0,7112	0,0112	3,7	7,94	0,05024	
33,9	5,9690	5,8928	5,9309	1,7272	1,8034	1,7653	0,0279	6,5	8,45	0,09238	
32,4	8,2550	8,3058	8,2804	2,8194	2,6924	2,7559	0,0435	8,7	8,06	0,12897	
29,4	9,1440	9,1948	9,1694	3,2258	3,1750	3,2004	0,0505	9,6	7,33	0,14282	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C1-1



Resultados de muestra tipo cubo C1-2 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:

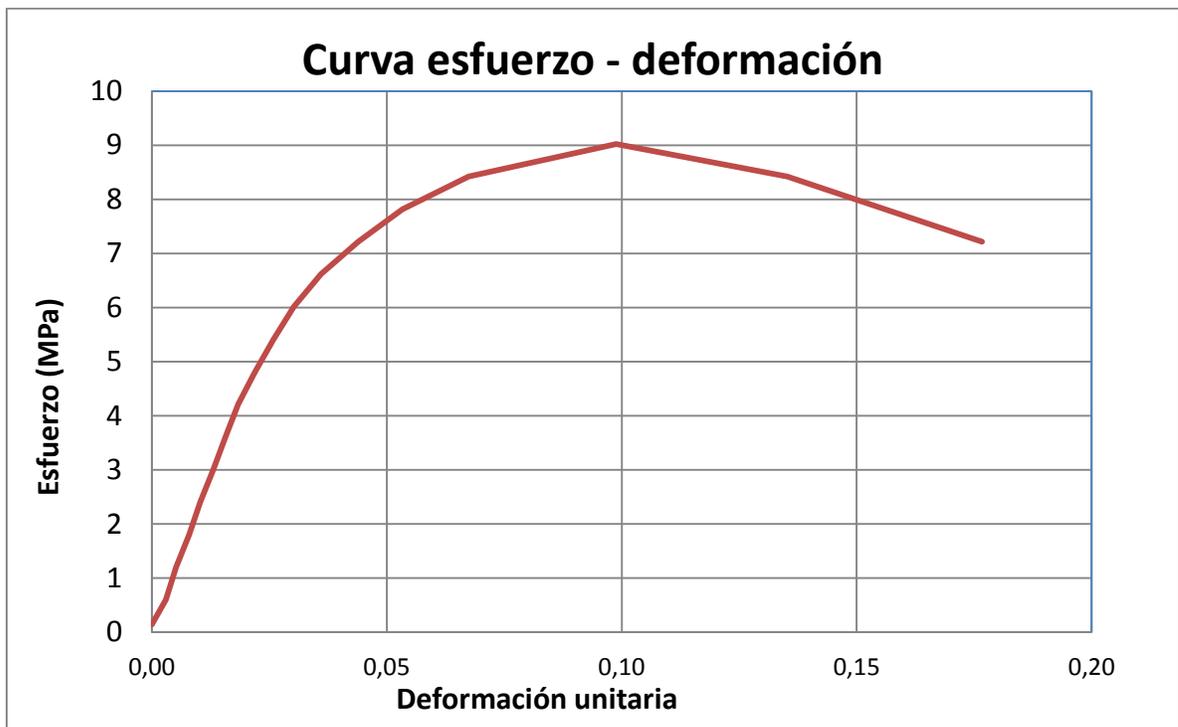
L_{1promedio} = 63,87 mm
 L_{2promedio} = 63,84 mm
 L_{Tpromedio} = 63,86 mm
 Área = 4078 mm²
 H_{promedio} = 64,26 mm

MUESTRA No.: C1-2

P. Máx.: 37,38 kN
Esfuerzo Máx.: 9,17 MPa
Elasticidad: 217,20 MPa

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,14	0,00000	
2,5	0,2540	0,1270	0,1905	0,0254	0,0000	0,0127	0,0002	0,4	0,60	0,00296	
4,9	0,4826	0,1778	0,3302	0,0508	0,0000	0,0254	0,0004	0,6	1,20	0,00514	276,64
7,4	0,6350	0,3810	0,5080	0,0762	0,0000	0,0381	0,0006	0,8	1,80	0,00791	217,36
9,8	0,7874	0,5334	0,6604	0,1016	0,0000	0,0508	0,0008	1	2,41	0,01028	253,59
12,3	0,9906	0,6858	0,8382	0,1270	0,0000	0,0635	0,0010	1,2	3,01	0,01304	217,36
14,7	1,1430	0,8636	1,0033	0,1778	0,0254	0,1016	0,0016	1,4	3,61	0,01561	234,08
17,2	1,3462	1,0160	1,1811	0,2032	0,0508	0,1270	0,0020	1,6	4,21	0,01838	217,36
19,6	1,5748	1,2446	1,4097	0,3048	0,1016	0,2032	0,0032	1,8	4,81	0,02194	169,06
22,1	1,8542	1,4732	1,6637	0,3556	0,1270	0,2413	0,0038	2,1	5,41	0,02589	152,15
24,5	2,1336	1,7526	1,9431	0,4572	0,2032	0,3302	0,0052	2,4	6,01	0,03024	
27,0	2,5146	2,1082	2,3114	0,5588	0,2540	0,4064	0,0064	2,7	6,62	0,03597	
29,4	3,0226	2,6162	2,8194	0,7366	0,3810	0,5588	0,0088	3,3	7,22	0,04388	
31,9	3,6576	3,2004	3,4290	0,9652	0,5334	0,7493	0,0117	3,9	7,82	0,05337	
34,3	4,5466	4,1148	4,3307	1,3970	0,7620	1,0795	0,0169	4,8	8,42	0,06740	
36,8	6,4770	6,2230	6,3500	2,6670	0,9652	1,8161	0,0284	6,8	9,02	0,09882	
34,3	8,8646	8,5090	8,6868	5,7150	1,0414	3,3782	0,0529	8,9	8,42	0,13519	
29,4	11,5316	11,1760	11,3538	12,3190	1,0414	6,6802	0,1046	11,6	7,22	0,17670	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C1-2



Resultados de muestra tipo cubo C3-3 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:

L_{1promedio} = 61,33 mm
 L_{2promedio} = 61,18 mm
 L_{Tpromedio} = 61,25 mm
 Área = 3752 mm²

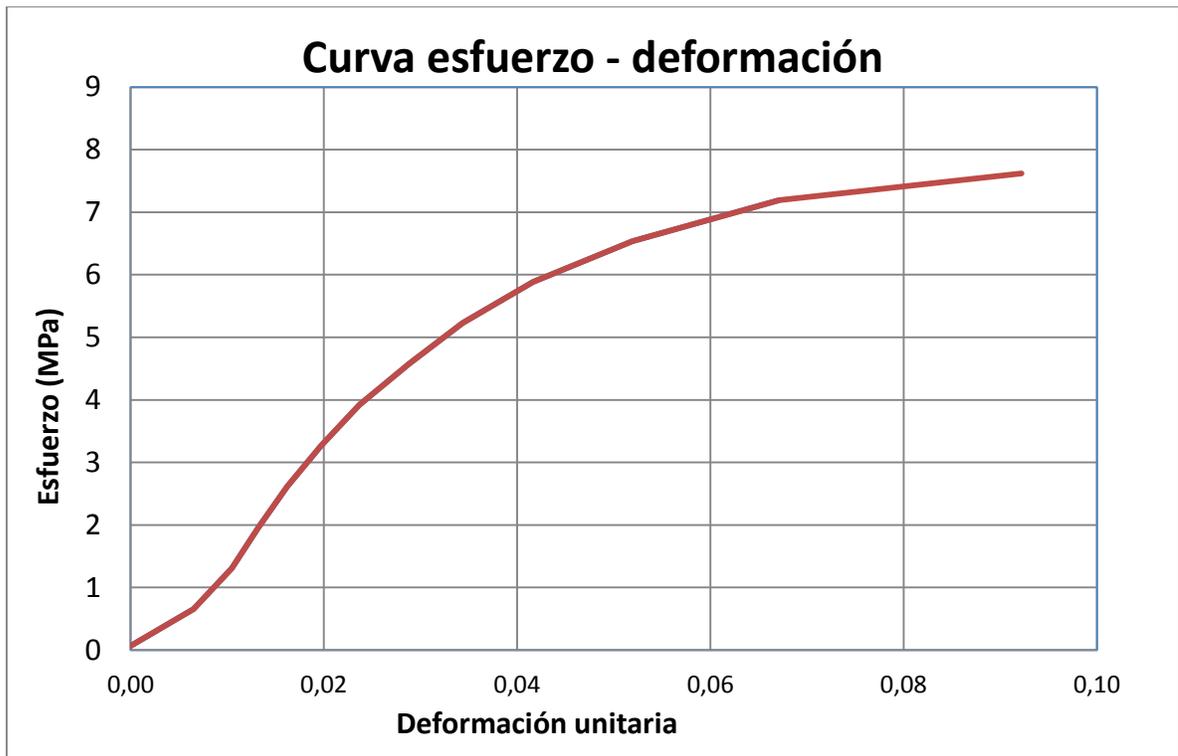
MUESTRA
No.: C3-3

P. Máx.: 30,02 kN
Esfuerzo Máx.: 8,00 MPa
Elasticidad: 194,45 MPa

H_{promedio} = 64,33 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mes a (mm)			
0,2	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,000 0	0,0000		0	0,07	0,00000	
2,5	0,355 6	0,482 6	0,4191	0,0000	0,000 0	0,0000	0,0000	0,6	0,65	0,00652	
4,9	0,635 0	0,711 2	0,6731	0,0000	0,000 0	0,0000	0,0000	0,9	1,31	0,01046	165,54
7,4	0,838 2	0,863 6	0,8509	0,0000	0,000 0	0,0000	0,0000	1,1	1,96	0,01323	236,49
9,8	1,066 8	1,016 0	1,0414	0,0508	0,000 0	0,0254	0,0004	1,4	2,61	0,01619	220,72
12,3	1,346 2	1,193 8	1,2700	0,0762	0,000 0	0,0381	0,0006	1,6	3,27	0,01974	183,94
14,7	1,600 2	1,447 8	1,5240	0,1524	0,000 0	0,0762	0,0012	1,9	3,92	0,02369	165,54
17,2	1,981 2	1,727 2	1,8542	0,2286	0,025 4	0,1270	0,0021	2,2	4,58	0,02882	
19,6	2,463 8	1,955 8	2,2098	0,3302	0,101 6	0,2159	0,0035	2,6	5,23	0,03435	
22,1	3,048 0	2,311 4	2,6797	0,4826	0,254 0	0,3683	0,0060	3,1	5,88	0,04166	
24,5	3,860 8	2,819 4	3,3401	0,7366	0,431 8	0,5842	0,0095	3,8	6,54	0,05192	
27,0	5,156 2	3,479 8	4,3180	1,2446	0,762 0	1,0033	0,0164	4,8	7,19	0,06713	
28,6	7,315 2	4,546 6	5,9309	2,2606	1,371 6	1,8161	0,0296	6,4	7,62	0,09220	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-3



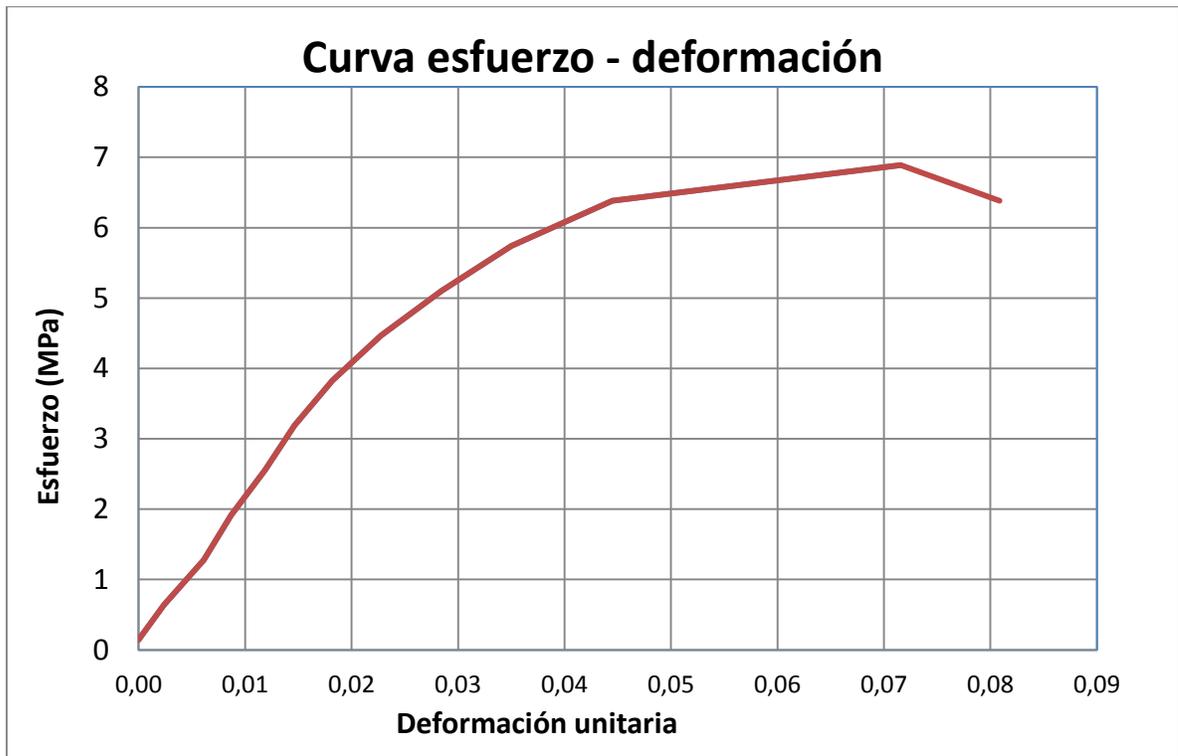
- Resultados de muestra tipo cubo C3-4 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:		MUESTRA No.: C3-4
L ₁ promedio =	61,18 mm	P. Máx.: 26,73 kN
L ₂ promedio =	62,84 mm	Esfuerzo Máx.: 6,95 MPa
L _T promedio =	62,01 mm	Elasticidad: 206,54 MPa
Área =	3844 mm ²	

H_{promedio} = 64,23 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,14	0,00000	
2,5	0,1778	0,1270	0,1524	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2	0,64	0,00237	209,75
4,9	0,4826	0,3048	0,3937	0,0508	0,0000	0,0254	0,0004	0,5	1,28	0,00613	169,84
7,4	0,6604	0,4572	0,5588	0,1016	0,0000	0,0508	0,0008	0,8	1,91	0,00870	248,22
9,8	0,8890	0,6350	0,7620	0,1778	0,0000	0,0889	0,0014	1	2,55	0,01186	201,68
12,3	1,0922	0,7874	0,9398	0,2540	0,0000	0,1270	0,0020	1,3	3,19	0,01463	230,49
14,7	1,3716	0,9652	1,1684	0,3302	0,0000	0,1651	0,0027	1,6	3,83	0,01819	179,27
17,2	1,7526	1,1684	1,4605	0,4826	0,0000	0,2413	0,0039	1,9	4,47	0,02274	
19,6	2,2098	1,4478	1,8288	0,6858	0,0000	0,3429	0,0055	2,4	5,10	0,02847	
22,1	2,7178	1,7780	2,2479	0,9652	0,0000	0,4826	0,0078	2,9	5,74	0,03500	
24,5	3,4798	2,2352	2,8575	1,4224	0,0000	0,7112	0,0115	3,6	6,38	0,04449	
26,5	5,7658	3,4290	4,5974	3,8100	0,4064	2,1082	0,0340	6	6,89	0,07157	
24,5	6,6548	3,7338	5,1943	4,7244	0,9144	2,8194	0,0455	6,9	6,38	0,08087	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-4



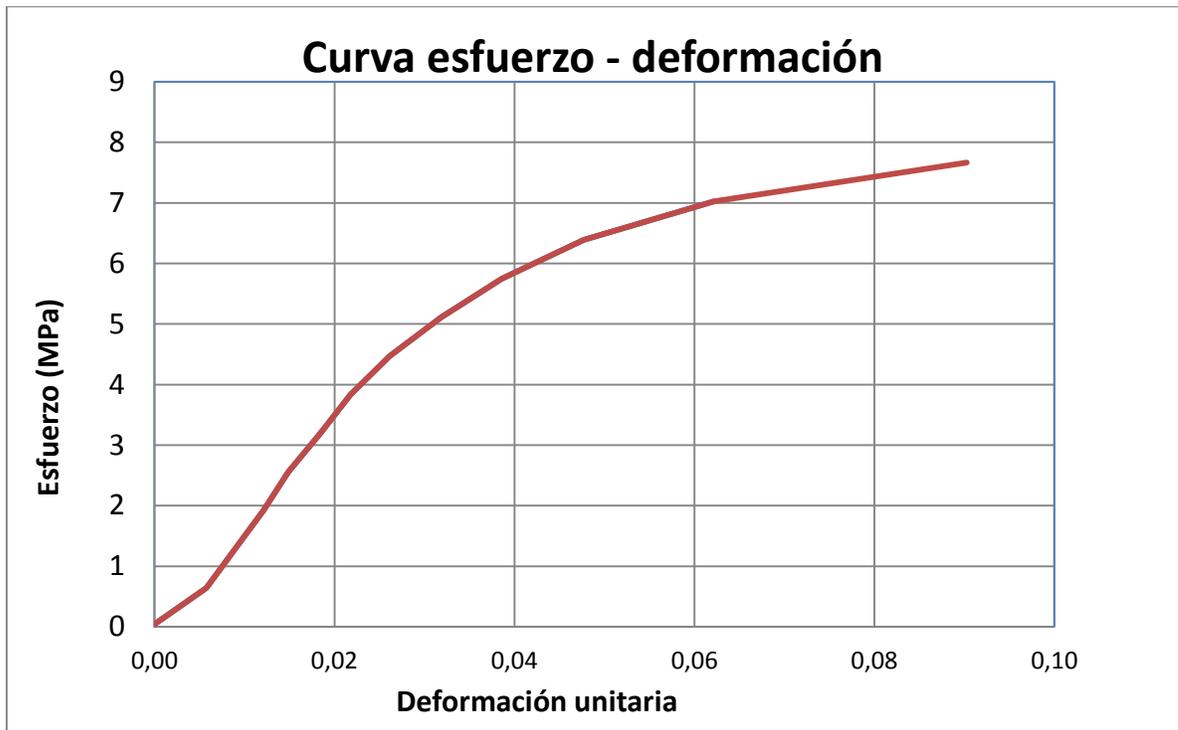
- Resultados de muestra tipo cubo C3-5 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:		MUESTRA No.: C3-5
L ₁ promedio =	60,06 mm	P. Máx.: 30,82 kN
L ₂ promedio =	63,93 mm	Esfuerzo Máx.: 8,03 MPa
L _T promedio =	62,00 mm	Elasticidad: 200,6/2 MPa
Área =	3840 mm ²	

H_{promedio} = 64,17 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	0,4572	0,2794	0,3683	0,0762	0,0508	0,0635	0,0010	0,7	0,64	0,00574	
4,9	0,6604	0,4826	0,5715	0,1270	0,0508	0,0889	0,0014	1	1,28	0,00891	201,71
7,4	0,9144	0,6350	0,7747	0,1778	0,0508	0,1143	0,0018	1,2	1,92	0,01207	201,71
9,8	1,0922	0,8128	0,9525	0,2540	0,0508	0,1524	0,0025	1,4	2,55	0,01484	230,53
12,3	1,3462	1,0160	1,1811	0,3048	0,0508	0,1778	0,0029	1,7	3,19	0,01841	179,30
14,7	1,5748	1,2192	1,3970	0,3810	0,0381	0,2096	0,0034	2	3,83	0,02177	189,84
17,2	1,8542	1,4986	1,6764	0,5080	0,0254	0,2667	0,0043	2,3	4,47	0,02612	
19,6	2,2606	1,8288	2,0447	0,6604	0,1016	0,3810	0,0061	2,6	5,11	0,03186	
22,1	2,6924	2,2606	2,4765	0,8382	0,2286	0,5334	0,0086	3,1	5,75	0,03859	
24,5	3,2766	2,8448	3,0607	1,1176	0,4572	0,7874	0,0127	3,7	6,39	0,04770	
27,0	4,3434	3,6322	3,9878	1,7018	0,8128	1,2573	0,0203	4,6	7,03	0,06214	
29,4	6,5024	5,0800	5,7912	3,2258	1,6764	2,4511	0,0395	6,5	7,66	0,09025	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-5



- Resultados de muestra tipo cubo C3-6 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:

L_{1promedio} = 60,68 mm
 L_{2promedio} = 61,77 mm
 L_{Tpromedio} = 61,23 mm
 Área = 3748 mm²

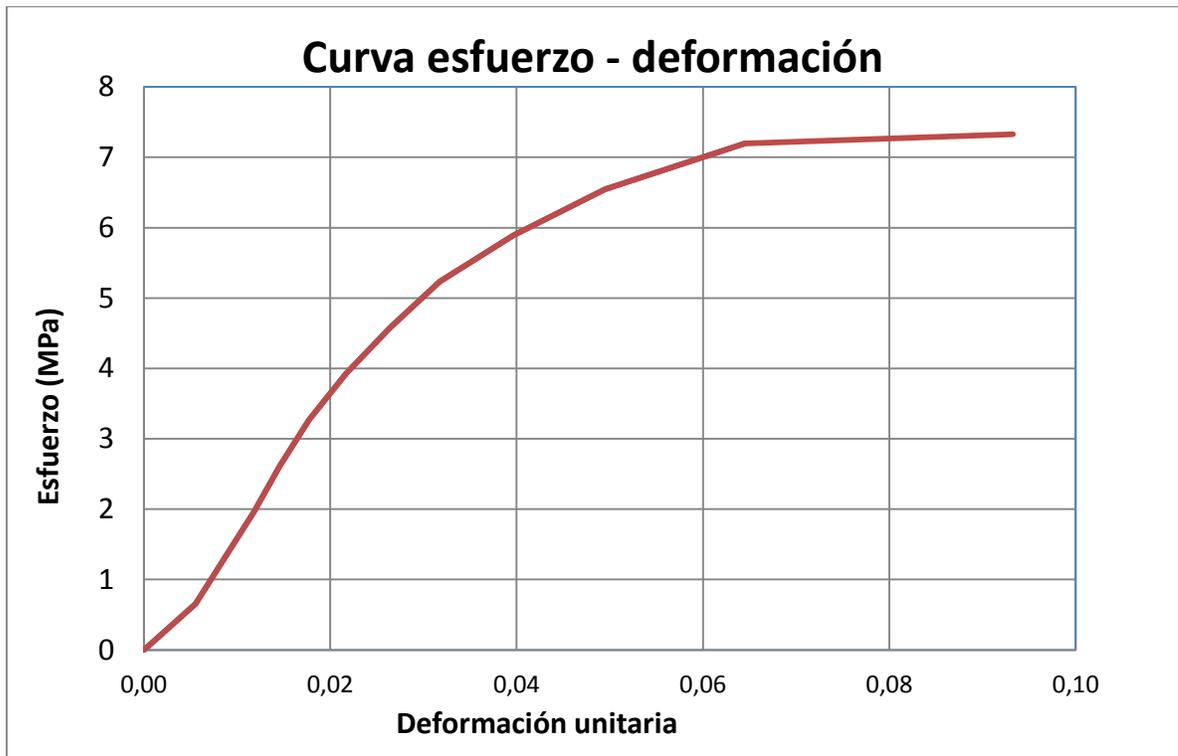
MUESTRA
No.: C3-6

P. Máx.: 29,33 kN
Esfuerzo
Máx.: 7,83 MPa
Elasticidad: 205,0
 3 MPa

H_{promedio} = 64,41 mm

Carga	Deformación								Esfuerzo	Deformación unitaria	E (MPa)
	Def1	Def2	Dpromedio	Def3	Def4	Dpromedio	(Transv)	Mesa			
(kN)	(mm)	(mm)	Long (mm)	(mm)	(mm)	Long (mm)		(mm)	(MPa)	(Long)	
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,00	0,00000	
2,5	0,3810	0,3302	0,3556	0,0254	0,0508	0,0381	0,0006	0,7	0,65	0,00552	
4,9	0,6096	0,5080	0,5588	0,0508	0,0508	0,0508	0,0008	1	1,31	0,00868	207,40
7,4	0,8128	0,7112	0,7620	0,1016	0,0254	0,0635	0,0010	1,2	1,96	0,01183	207,40
9,8	1,0160	0,8636	0,9398	0,1524	0,0254	0,0889	0,0015	1,3	2,62	0,01459	237,03
12,3	1,2446	1,0414	1,1430	0,2032	0,0635	0,1334	0,0022	1,7	3,27	0,01775	207,40
14,7	1,4986	1,2954	1,3970	0,2540	0,0762	0,1651	0,0027	2	3,93	0,02169	165,92
17,2	1,7780	1,6256	1,7018	0,3302	0,1524	0,2413	0,0039	2,3	4,58	0,02642	
19,6	2,1590	1,9304	2,0447	0,4318	0,2540	0,3429	0,0056	2,7	5,23	0,03175	
22,1	2,6670	2,4384	2,5527	0,5842	0,3556	0,4699	0,0077	3,2	5,89	0,03963	
24,5	3,3020	3,0734	3,1877	0,7620	0,5588	0,6604	0,0108	3,8	6,54	0,04949	
27,0	4,2926	4,0132	4,1529	1,0160	0,8382	0,9271	0,0151	4,8	7,20	0,06448	
27,5	5,7150	6,2992	6,0071	1,8034	2,0828	1,9431	0,0317	8,4	7,33	0,09326	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-6



- Resultados de muestra tipo cubo C3-7 sometida a compresión en sentido X

**Área de
contacto:**

L_{1promedio} = 60,88 mm
 L_{2promedio} = 63,52 mm
 L_{Tpromedio} = 62,20 mm
 Área = 3867 mm²
 H_{promedio} = 64,29 mm

**MUESTRA
No.: C3-7**

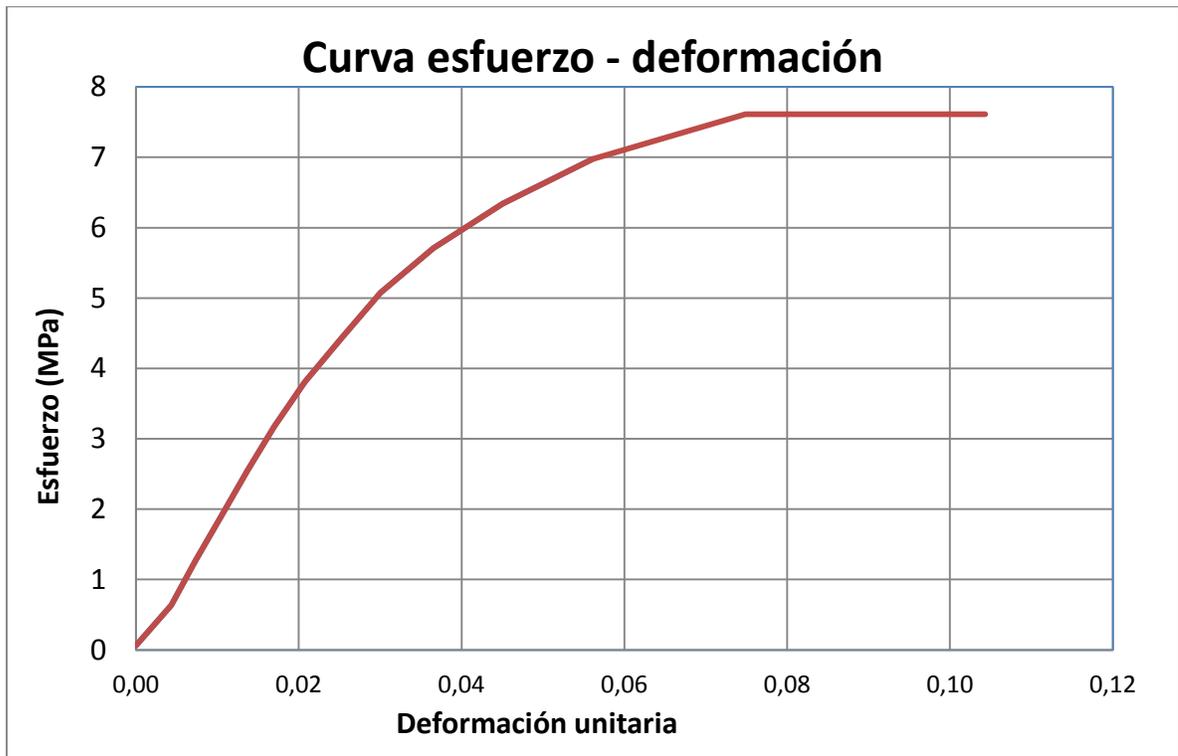
P. Máx.: 30,51 kN

**Esfuerzo
Máx.: 7,89 MPa**

Elasticidad: 194,62 MPa

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,06	0,00000	
2,5	0,330 2	0,228 6	0,2794	0,0000	- 0,0254	-0,0127	-0,0002	0,6	0,63	0,00435	
4,9	0,558 8	0,381 0	0,4699	0,0000	- 0,0254	-0,0127	-0,0002	0,9	1,27	0,00731	214,02
7,4	0,762 0	0,584 2	0,6731	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,2	1,90	0,01047	200,65
9,8	0,939 8	0,812 8	0,8763	0,0000	0,0381	0,0191	0,0003	1,4	2,54	0,01363	200,65
12,3	1,168 4	1,016 0	1,0922	0,0254	0,0508	0,0381	0,0006	1,6	3,17	0,01699	188,84
14,7	1,397 0	1,270 0	1,3335	0,0762	0,1016	0,0889	0,0014	1,9	3,81	0,02074	168,96
17,2	1,676 4	1,574 8	1,6256	0,1524	0,1524	0,1524	0,0025	2,2	4,44	0,02529	
19,6	1,981 2	1,879 6	1,9304	0,2286	0,2032	0,2159	0,0035	2,5	5,07	0,03003	
22,1	2,387 6	2,311 4	2,3495	0,3810	0,3048	0,3429	0,0055	2,9	5,71	0,03655	
24,5	2,921 0	2,870 2	2,8956	0,5334	0,5080	0,5207	0,0084	3,5	6,34	0,04504	
27,0	3,530 6	3,683 0	3,6068	0,7874	0,6858	0,7366	0,0118	4,2	6,98	0,05611	
29,4	4,165 6	5,461 0	4,8133	1,2954	1,0414	1,1684	0,0188	5,3	7,61	0,07487	
29,4	4,648 2	8,763 0	6,7056	2,2098	1,9050	2,0574	0,0331	7,3	7,61	0,10431	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-7



- Resultados de muestra tipo cubo C3-8 sometida a compresión en sentido X

**Área de
contacto:**

L_{1promedio} = 60,41 mm
 L_{2promedio} = 63,62 mm
 L_{Tpromedio} = 62,02 mm
 Área = 3843 mm²
 H_{promedio} = 63,99 mm

**MUESTRA
No.: C3-8**

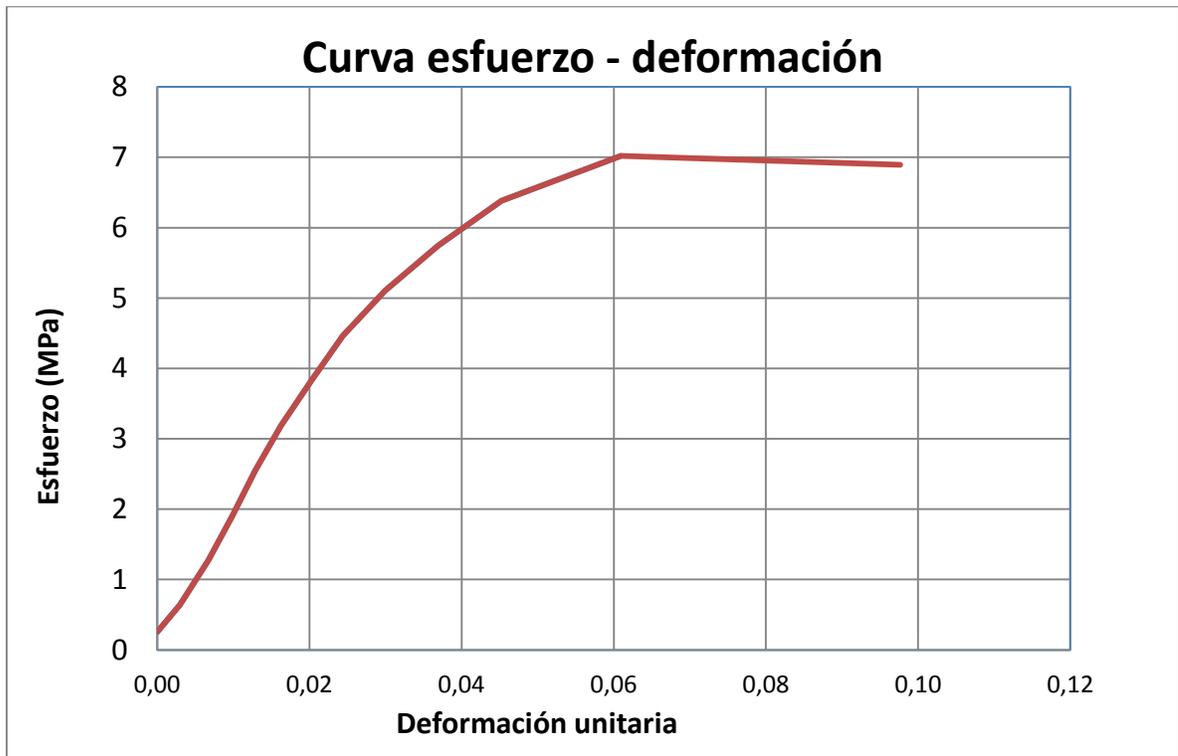
P. Máx.: 28,01 kN

**Esfuerzo
Máx.: 7,29 MPa**

Elasticidad: 181,24 MPa

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mes a (mm)			
1,0	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,26	0,00000	
2,5	0,254 0	0,127 0	0,1905	0,0254	- 0,0254	0,0000	0,0000	0,3	0,64	0,00298	
4,9	0,584 2	0,279 4	0,4318	0,0762	- 0,0254	0,0254	0,0004	0,7	1,28	0,00675	169,21
7,4	0,787 4	0,482 6	0,6350	0,1016	- 0,0254	0,0381	0,0006	0,9	1,91	0,00992	200,94
9,8	0,990 6	0,660 4	0,8255	0,1524	0,0000	0,0762	0,0012	1,1	2,55	0,01290	214,33
12,3	1,219 2	0,863 6	1,0414	0,2032	0,0381	0,1207	0,0019	1,4	3,19	0,01628	189,12
14,7	1,473 2	1,117 6	1,2954	0,2794	0,0635	0,1715	0,0028	1,6	3,83	0,02025	160,75
17,2	1,778 0	1,346 2	1,5621	0,3810	0,1016	0,2413	0,0039	1,9	4,47	0,02441	153,10
19,6	2,209 8	1,625 6	1,9177	0,5080	0,1651	0,3366	0,0054	2,3	5,11	0,02997	
22,1	2,743 2	1,981 2	2,3622	0,7112	0,1778	0,4445	0,0072	2,8	5,74	0,03692	
24,5	3,403 6	2,387 6	2,8956	0,9906	0,2032	0,5969	0,0096	3,4	6,38	0,04525	
27,0	4,673 6	3,124 2	3,8989	1,6764	0,2667	0,9716	0,0157	4,5	7,02	0,06093	
26,5	8,001 0	4,495 8	6,2484	3,8100	0,3302	2,0701	0,0334	7,1	6,89	0,09765	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C3-8

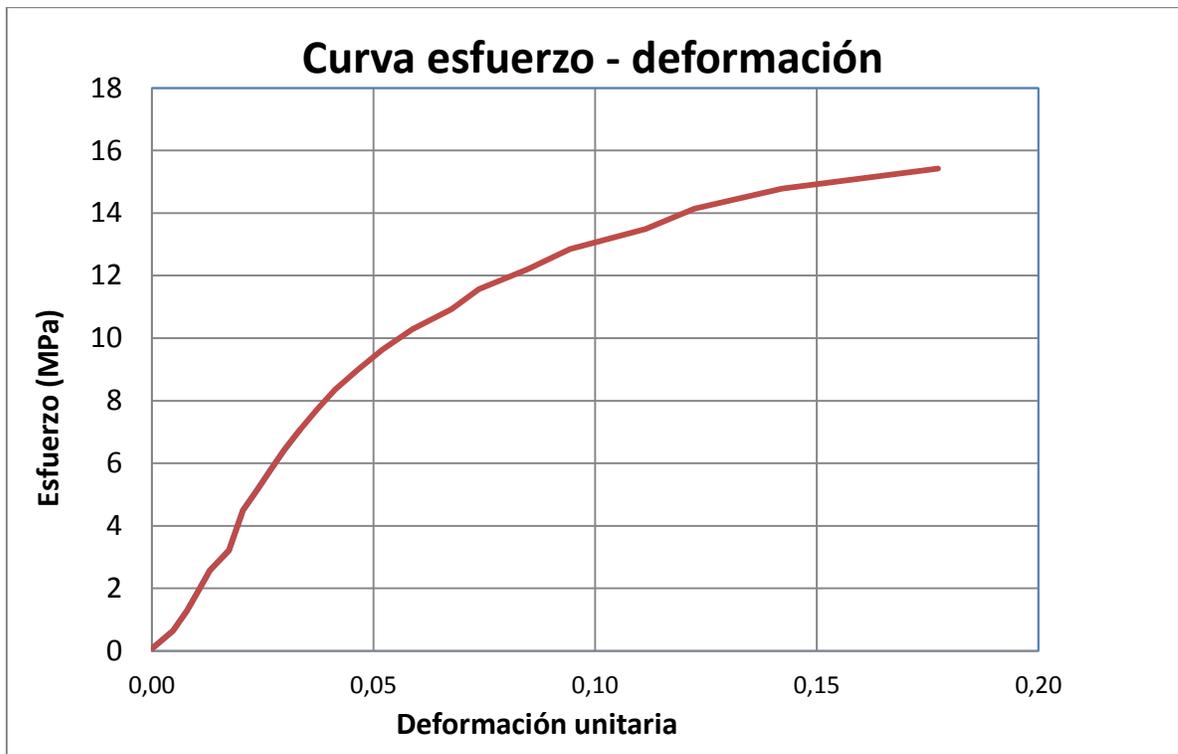


Resultados de muestra tipo cubo C2-9 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:		MUESTRA No.: C2-9
L ₁ promedio =	61,77 mm	P. Máx.: 63,32 kN
L ₂ promedio =	61,79 mm	Esfuerzo Máx.: 16,59 MPa
L _T promedio =	61,78 mm	Elasticidad: 224,41 MPa
Área =	3817 mm ²	
H _{promedio} =	64,23 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,07	0,00000	
2,5	0,3556	0,2540	0,3048	0,0000	0,0254	0,0127	0,0002	0,6	0,64	0,00475	
4,9	0,6350	0,3810	0,5080	0,0000	0,1270	0,0635	0,0010	0,9	1,29	0,00791	203,10
7,4	0,8382	0,5080	0,6731	0,0000	0,1270	0,0635	0,0010	1,1	1,93	0,01048	249,97
9,8	1,0414	0,6350	0,8382	0,0000	0,6350	0,3175	0,0051	1,3	2,57	0,01305	249,97
12,3	1,2192	1,0160	1,1176	0,0000	0,8890	0,4445	0,0072	1,5	3,21	0,01740	147,71
14,7	1,3970	1,0414	1,2192	0,0000	1,1430	0,5715	0,0093	1,6	3,86	0,01898	406,21
17,2	1,5748	1,0668	1,3208	0,0254	1,6510	0,8382	0,0136	1,8	4,50	0,02056	406,21
19,6	1,8034	1,2446	1,5240	0,0508	2,0320	1,0414	0,0169	2	5,14	0,02373	203,10
22,1	2,0320	1,3970	1,7145	0,0762	2,5400	1,3081	0,0212	2,2	5,78	0,02669	216,64
24,5	2,2606	1,5748	1,9177	0,1270	2,7940	1,4605	0,0236	2,4	6,43	0,02986	203,10
27,0	2,5146	1,7780	2,1463	0,1524	3,9370	2,0447	0,0331	2,7	7,07	0,03342	180,54
29,4	2,7940	1,9812	2,3876	0,1778	4,8260	2,5019	0,0405	2,9	7,71	0,03717	171,04
31,9	3,1242	2,1844	2,6543	0,2286	5,5880	2,9083	0,0471	3,2	8,35	0,04133	154,75
34,3	3,5052	2,4638	2,9845	0,2794	6,7310	3,5052	0,0567	3,5	9,00	0,04647	124,99
36,8	3,9116	2,7686	3,3401	0,3048	8,1280	4,2164	0,0682	3,8	9,64	0,05200	
39,2	4,3942	3,1496	3,7719	0,3302	9,7790	5,0546	0,0818	4,2	10,28	0,05873	
41,7	5,1816	3,5052	4,3434	0,3810	11,3030	5,8420	0,0946	4,7	10,92	0,06762	
44,1	5,5372	3,9370	4,7371	0,4064	13,5890	6,9977	0,1133	5,2	11,57	0,07375	
46,6	6,3500	4,5466	5,4483	0,4064	16,0020	8,2042	0,1328	5,9	12,21	0,08483	
49,1	7,0866	5,0292	6,0579	0,4318	18,7960	9,6139	0,1556	6,5	12,85	0,09432	
51,5	8,5344	5,7658	7,1501	0,4318	21,8440	11,1379	0,1803	7,2	13,49	0,11132	
54,0	9,1694	6,5532	7,8613	0,4318	26,4160	13,4239	0,2173	8,2	14,14	0,12240	
56,4	10,6934	7,5692	9,1313	0,1778	31,7500	15,9639	0,2584	9,4	14,78	0,14217	
58,9	13,4112	9,3726	11,3919	-0,3556	42,9260	21,2852	0,3445	11,5	15,42	0,17736	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C2-9



Resultados de muestra tipo cubo C2-10 sometida a compresión en sentido X

Área de contacto:

L_{1promedio} = 62,92 mm
 L_{2promedio} = 62,96 mm
 L_{Tpromedio} = 62,94 mm
 Área = 3961 mm²
 H_{promedio} = 59,31 mm

MUESTRA No.: C2-10

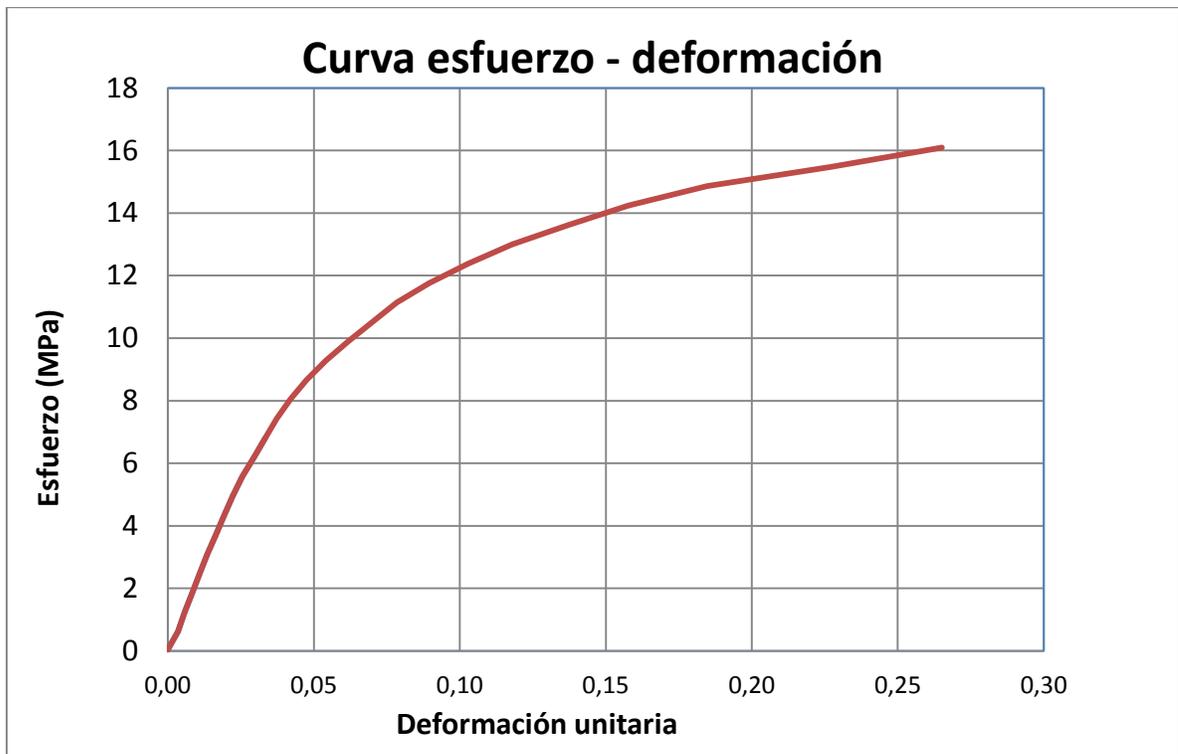
P. Máx.: 69,16 kN

Esfuerzo Máx.: 17,46 MPa

Elasticidad: 204,66 MPa

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	0,2540	0,1524	0,2032	0,0000	0,0381	0,0191	0,0003	0,3	0,62	0,00343	168,43
4,9	0,4064	0,2794	0,3429	0,0000	0,0254	0,0127	0,0002	0,5	1,24	0,00578	262,87
7,4	0,5588	0,4318	0,4953	0,0000	0,0508	0,0254	0,0004	0,7	1,86	0,00835	240,96
9,8	0,7112	0,5842	0,6477	0,0000	0,1016	0,0508	0,0008	0,9	2,48	0,01092	240,96
12,3	0,8890	0,7112	0,8001	0,0254	0,1397	0,0826	0,0013	1	3,10	0,01349	240,96
14,7	1,0668	0,8890	0,9779	0,0508	0,1524	0,1016	0,0016	1,2	3,71	0,01649	206,54
17,2	1,2192	1,0668	1,1430	0,0762	0,1905	0,1334	0,0021	1,4	4,33	0,01927	222,43
19,6	1,3970	1,2446	1,3208	0,1270	0,2667	0,1969	0,0031	1,6	4,95	0,02227	206,54
22,1	1,6002	1,4224	1,5113	0,1778	0,2794	0,2286	0,0036	1,8	5,57	0,02548	192,77
24,5	1,8542	1,6510	1,7526	0,2286	0,3429	0,2858	0,0045	2	6,19	0,02955	152,19
27,0	2,0828	1,8796	1,9812	0,3048	0,4064	0,3556	0,0057	2,2	6,81	0,03340	160,64
29,4	2,3114	2,1082	2,2098	0,3302	0,4445	0,3874	0,0062	2,5	7,43	0,03726	160,64
31,9	2,5908	2,3876	2,4892	0,4064	0,5461	0,4763	0,0076	2,8	8,05	0,04197	
34,3	2,9210	2,7178	2,8194	0,4826	0,6248	0,5537	0,0088	3,1	8,67	0,04753	
36,8	3,3274	3,0988	3,2131	0,5842	0,7366	0,6604	0,0105	3,5	9,29	0,05417	
39,2	3,7592	3,5814	3,6703	0,7112	0,8636	0,7874	0,0125	4	9,91	0,06188	
41,7	4,2672	4,0640	4,1656	0,8636	1,0160	0,9398	0,0149	4,5	10,53	0,07023	
44,1	4,7244	4,5720	4,6482	1,0160	1,1430	1,0795	0,0172	4,9	11,14	0,07837	
46,6	5,4102	5,2070	5,3086	1,1938	1,3589	1,2764	0,0203	5,6	11,76	0,08950	
49,1	6,1722	6,0198	6,0960	1,3970	1,6002	1,4986	0,0238	6,4	12,38	0,10278	
51,5	7,0612	6,9342	6,9977	1,7780	1,9050	1,8415	0,0293	7,3	13,00	0,11798	
54,0	8,2296	8,0518	8,1407	2,0320	2,2606	2,1463	0,0341	8,4	13,62	0,13725	
56,4	9,2964	9,4234	9,3599	2,3368	2,7178	2,5273	0,0402	9,8	14,24	0,15781	
58,9	11,3284	10,5918	10,9601	2,6670	3,2766	2,9718	0,0472	11,6	14,86	0,18479	
61,3	13,5382	13,3858	13,4620	3,0480	3,9624	3,5052	0,0557	13,8	15,48	0,22697	
63,8	15,9512	15,4940	15,7226	3,2766	4,3180	3,7973	0,0603	16	16,10	0,26508	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C2-2



Resultados de muestra tipo cubo C2-1 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:

L_{1promedio} = 64,42 mm
 L_{2promedio} = 63,84 mm
 L_{Tpromedio} = 64,13 mm
 Área = 4112 mm²

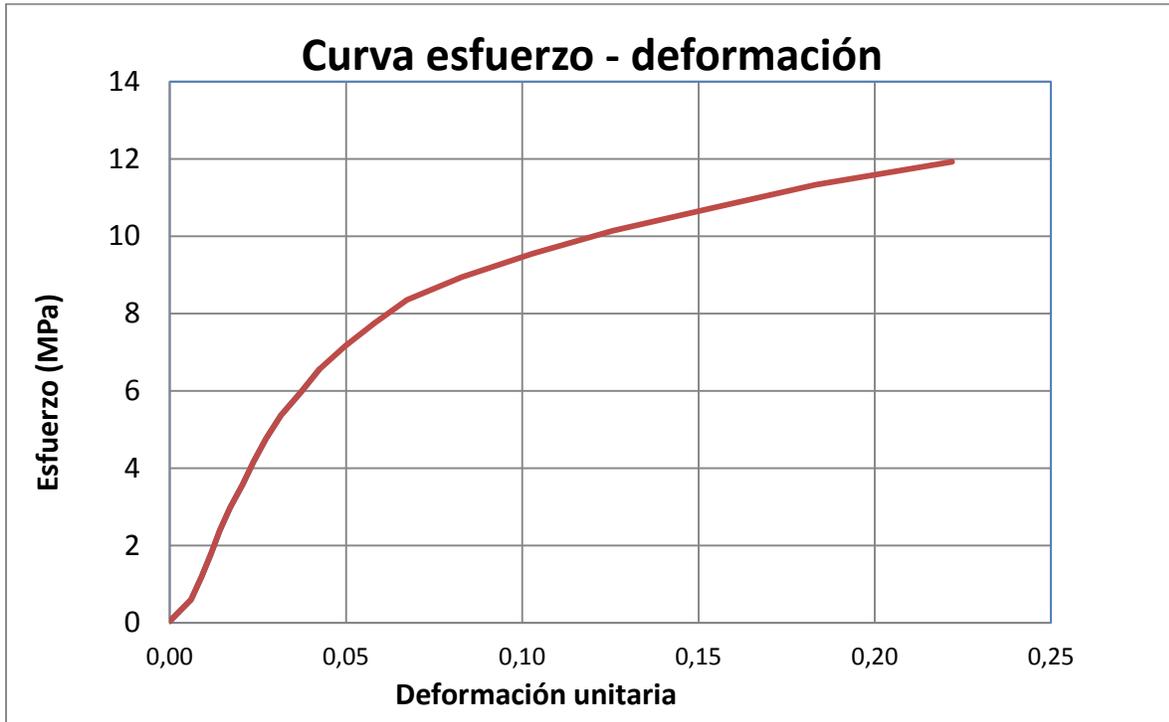
MUESTRA No.: C2-1

P. Máx.: 75,34 kN
Esfuerzo Máx.: 18,32 MPa
Elasticidad: 191,73 MPa

H_{promedio} = 60,78 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mes a (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	0,4572	0,2794	0,3683	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7	0,60	0,00606	
4,9	0,6858	0,4064	0,5461	0,0000	0,0127	0,0064	0,0001	1	1,19	0,00899	203,86
7,4	0,8890	0,5334	0,7112	0,0000	0,0635	0,0318	0,0005	1,2	1,79	0,01170	219,55
9,8	1,1176	0,6096	0,8636	0,1016	0,1016	0,1016	0,0016	1,4	2,39	0,01421	237,84
12,3	1,3208	0,7620	1,0414	0,1524	0,1422	0,1473	0,0023	1,6	2,98	0,01713	203,86
14,7	1,5494	0,9652	1,2573	0,2286	0,2159	0,2223	0,0035	1,8	3,58	0,02069	167,89
17,2	1,7780	1,1176	1,4478	0,3048	0,2921	0,2985	0,0047	2	4,17	0,02382	190,27
19,6	2,0066	1,3208	1,6637	0,3556	0,3556	0,3556	0,0055	2,2	4,77	0,02737	167,89
22,1	2,2860	1,5494	1,9177	0,4572	0,4394	0,4483	0,0070	2,5	5,37	0,03155	142,70
24,5	2,6162	1,9050	2,2606	0,5842	0,5588	0,5715	0,0089	2,8	5,96	0,03719	
27,0	2,9464	2,2098	2,5781	0,7366	0,6604	0,6985	0,0109	3,2	6,56	0,04242	
29,4	3,4290	2,6162	3,0226	0,9144	0,9017	0,9081	0,0142	3,7	7,16	0,04973	
31,9	3,9370	3,1242	3,5306	1,1176	1,1049	1,1113	0,0173	4,2	7,75	0,05809	
34,3	4,4450	3,7338	4,0894	1,3716	1,3818	1,3767	0,0215	4,8	8,35	0,06728	
36,8	5,4610	4,6228	5,0419	1,7526	1,8669	1,8098	0,0282	5,7	8,95	0,08296	
39,2	6,7056	5,7912	6,2484	2,3114	2,4130	2,3622	0,0368	6,9	9,54	0,10281	
41,7	8,1026	7,1628	7,6327	3,0988	3,0988	3,0988	0,0483	8,4	10,14	0,12558	
44,1	9,9060	8,8138	9,3599	3,7338	3,9624	3,8481	0,0600	10	10,73	0,15400	
46,6	12,0142	10,2616	11,1379	4,8260	4,8260	4,8260	0,0753	11,9	11,33	0,18326	
49,1	14,6812	12,2936	13,4874	5,4610	5,9690	5,7150	0,0891	14,3	11,93	0,22191	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C2-1

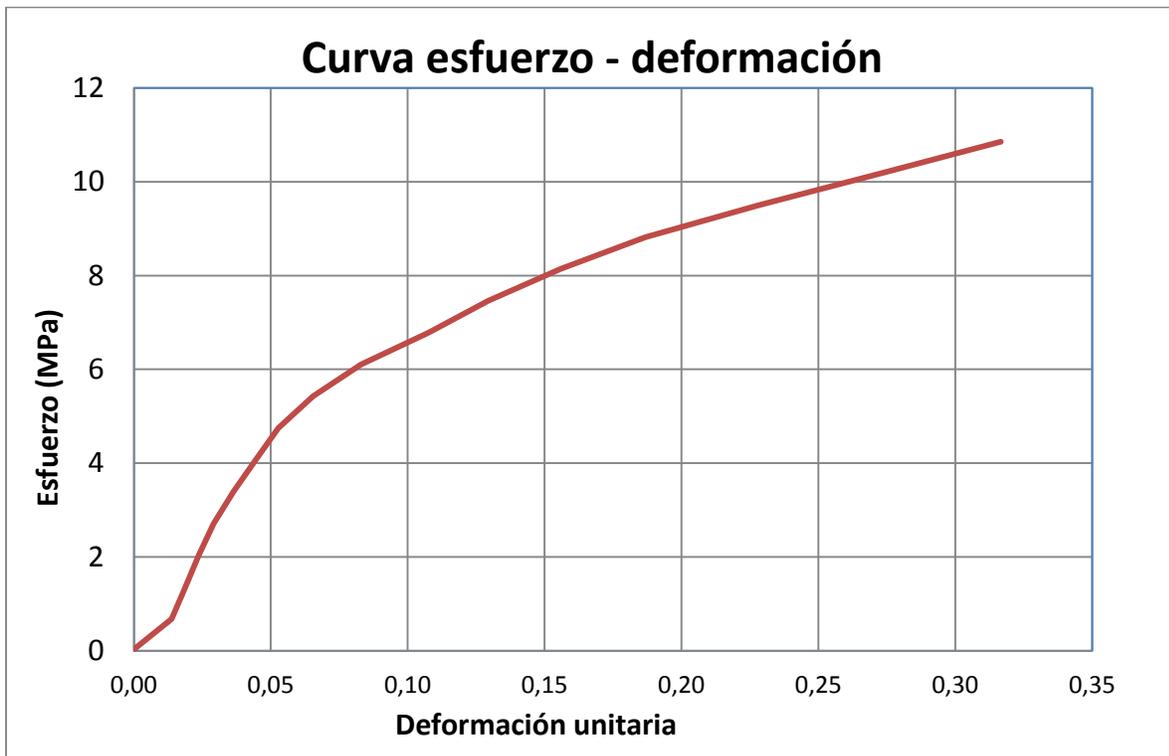


Resultados de muestra tipo cubo C4-2 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C4-2
L ₁ promedio =	60,02 mm	P. Máx.: 52,14 kN
L ₂ promedio =	60,23 mm	Esfuerzo Máx.: 14,42 MPa
L _T promedio =	60,12 mm	Elasticidad: 109,4 ₃ MPa
Área =	3615 mm ²	
H _{promedio} =	60,16 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,03	0,00000	
2,5	0,9652	0,6858	0,8255	0,0000	0,0381	0,0191	0,0003	1,3	0,68	0,01372	
4,9	1,3208	0,9398	1,1303	0,0508	0,0330	0,0419	0,0007	1,8	1,36	0,01879	133,91
7,4	1,6510	1,1938	1,4224	0,1016	0,0635	0,0826	0,0014	2,1	2,04	0,02364	139,73
9,8	2,0066	1,4986	1,7526	0,2286	0,1524	0,1905	0,0032	2,5	2,71	0,02913	123,61
12,3	2,4384	1,9304	2,1844	0,3048	0,2921	0,2985	0,0050	2,9	3,39	0,03631	94,53
14,7	2,9210	2,4384	2,6797	0,4572	0,3937	0,4255	0,0071	3,4	4,07	0,04454	82,41
17,2	3,4290	2,9210	3,1750	0,6604	0,6096	0,6350	0,0106	3,9	4,75	0,05277	82,41
19,6	4,1910	3,6830	3,9370	0,8890	0,8763	0,8827	0,0147	4,7	5,43	0,06544	
22,1	5,2324	4,7498	4,9911	1,2192	1,2954	1,2573	0,0209	5,7	6,11	0,08296	
24,5	6,8580	6,0960	6,4770	1,7272	1,8288	1,7780	0,0296	7,1	6,78	0,10766	
27,0	8,0264	7,5438	7,7851	2,3114	2,4130	2,3622	0,0393	8,6	7,46	0,12940	
29,4	9,6012	9,1440	9,3726	2,7940	3,0480	2,9210	0,0486	10,1	8,14	0,15579	
31,9	11,4300	11,0490	11,2395	3,4544	3,7973	3,6259	0,0603	12,1	8,82	0,18682	
34,3	13,9446	13,4874	13,7160	4,1910	4,5212	4,3561	0,0725	14,5	9,50	0,22799	
36,8	16,6370	16,1544	16,3957	4,7498	5,1562	4,9530	0,0824	17,2	10,18	0,27253	
39,2	19,2786	18,8214	19,0500	5,2070	5,5880	5,3975	0,0898	19,8	10,86	0,31665	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-2

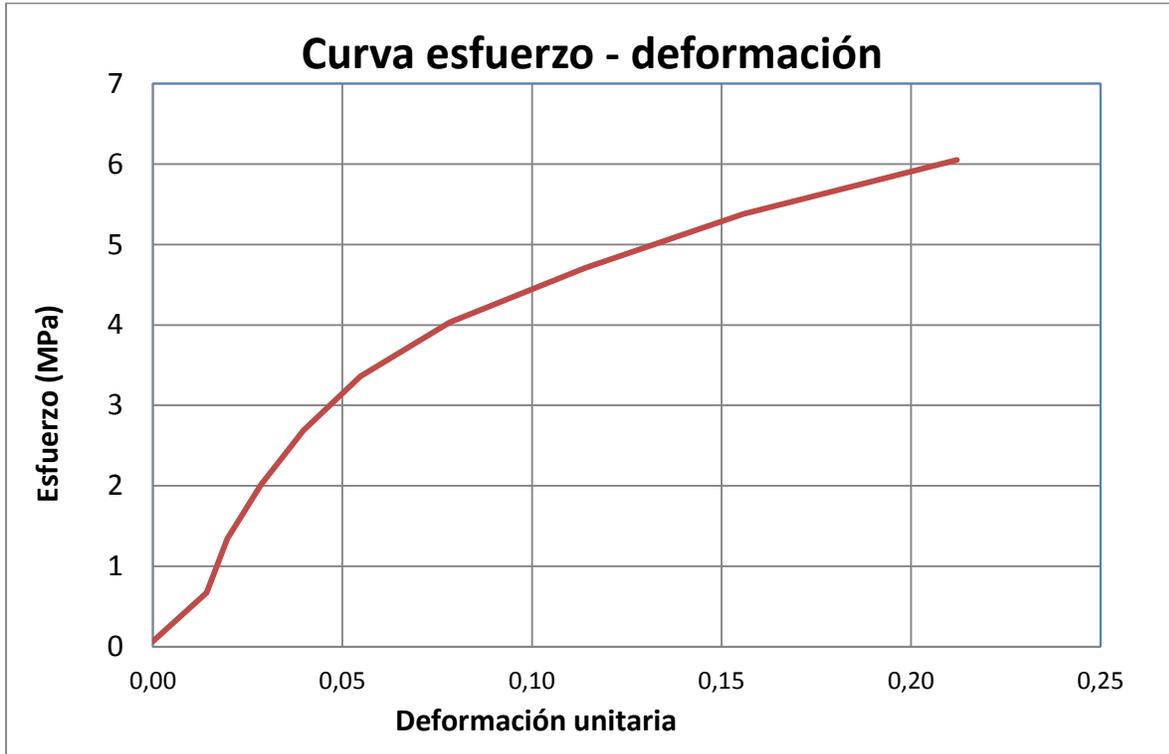


Resultados de muestra tipo cubo C4-3 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C4-3
L _{1promedio} =	60,48 mm	P. Máx.: 35,32 kN
L _{2promedio} =	60,31 mm	Esfuerzo Máx.: 9,68 MPa
L _{Tpromedio} =	60,40 mm	Elasticidad: 86,08 MPa
Área =	3648 mm ²	
H _{promedio} =	60,11 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,07	0,00000	
2,5	1,1430	0,5588	0,8509	0,0000	0,0762	0,0381	0,0006	1,1	0,67	0,01416	
4,9	1,3462	1,0160	1,1811	0,0000	0,1422	0,0711	0,0012	1,6	1,34	0,01965	122,40
7,4	1,8542	1,5748	1,7145	0,0000	0,3556	0,1778	0,0029	2,2	2,02	0,02852	75,77
9,8	2,5146	2,2606	2,3876	0,0000	0,6477	0,3239	0,0054	2,8	2,69	0,03972	60,05
12,3	3,4036	3,1750	3,2893	0,0000	1,2192	0,6096	0,0101	3,6	3,36	0,05472	
14,7	4,7244	4,6990	4,7117	0,0000	2,0955	1,0478	0,0173	4,9	4,03	0,07838	
17,2	6,8326	6,8580	6,8453	0,0000	3,6576	1,8288	0,0303	6,9	4,71	0,11387	
19,6	9,1948	9,5250	9,3599	0,0000	5,9182	2,9591	0,0490	9,2	5,38	0,15571	
22,1	12,5476	12,9540	12,7508	0,0000	9,3472	4,6736	0,0774	12,5	6,05	0,21212	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-3

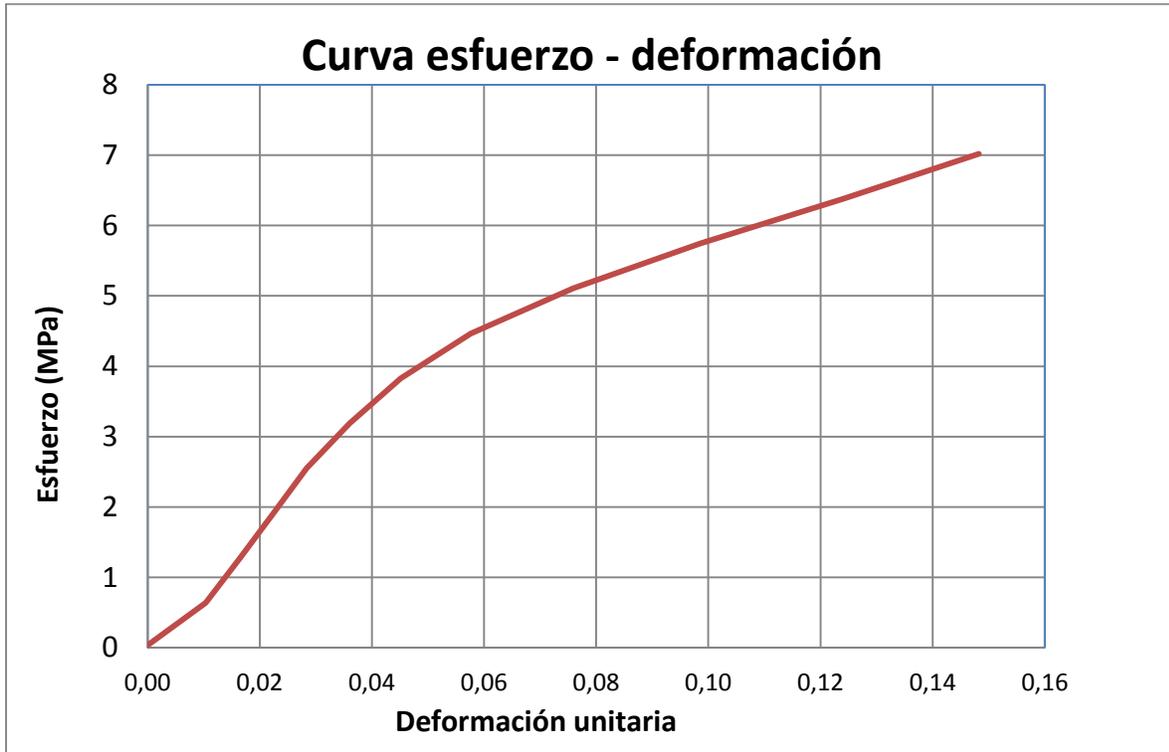


Resultados de muestra tipo cubo C4-4 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C4-4
L ₁ promedio =	62,00 mm	P. Máx.: 35,32 kN
L ₂ promedio =	62,01 mm	Esfuerzo Máx.: 9,19 MPa
L _T promedio =	62,00 mm	Elasticidad: 94,55 MPa
Área =	3844 mm ²	
H _{promedio} =	59,97 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,000 0	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	0,711 2	0,533 4	0,6223	0,0254	0,000 0	0,0127	0,0002	0,9	0,64	0,01038	
4,9	1,066 8	0,914 4	0,9906	0,0762	0,038 1	0,0572	0,0009	1,4	1,28	0,01652	103,87
7,4	1,422 4	1,270 0	1,3462	0,1778	0,114 3	0,1461	0,0024	1,7	1,91	0,02245	107,58
9,8	1,778 0	1,625 6	1,7018	0,3556	0,241 3	0,2985	0,0048	2,2	2,55	0,02838	107,58
12,3	2,209 8	2,108 2	2,1590	0,5588	0,368 3	0,4636	0,0075	2,7	3,19	0,03600	83,67
14,7	2,743 2	2,667 0	2,7051	0,8890	0,520 7	0,7049	0,0114	3,4	3,83	0,04511	70,05
17,2	3,454 4	3,454 4	3,4544	1,3970	0,947 4	1,1722	0,0189	4,2	4,47	0,05760	
19,6	4,521 2	4,572 0	4,5466	2,2352	1,104 9	1,6701	0,0269	5,2	5,10	0,07582	
22,1	5,816 6	5,994 4	5,9055	3,5814	0,762 0	2,1717	0,0350	7,2	5,74	0,09848	
24,5	7,366 0	7,518 4	7,4422	5,3086	0,508 0	2,9083	0,0469	9,3	6,38	0,12410	
27,0	8,737 6	9,042 4	8,8900	7,5184	0,152 4	3,8354	0,0619	11,5	7,02	0,14824	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-4



Resultados de muestra tipo cubo C4-5 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:

L1_{promedio} = 60,59 mm
 L2_{promedio} = 60,10 mm
 LT_{promedio} = 60,35 mm
 Área = 3641 mm²

MUESTRA No.: C4-5

P. Máx.: 38,85 kN

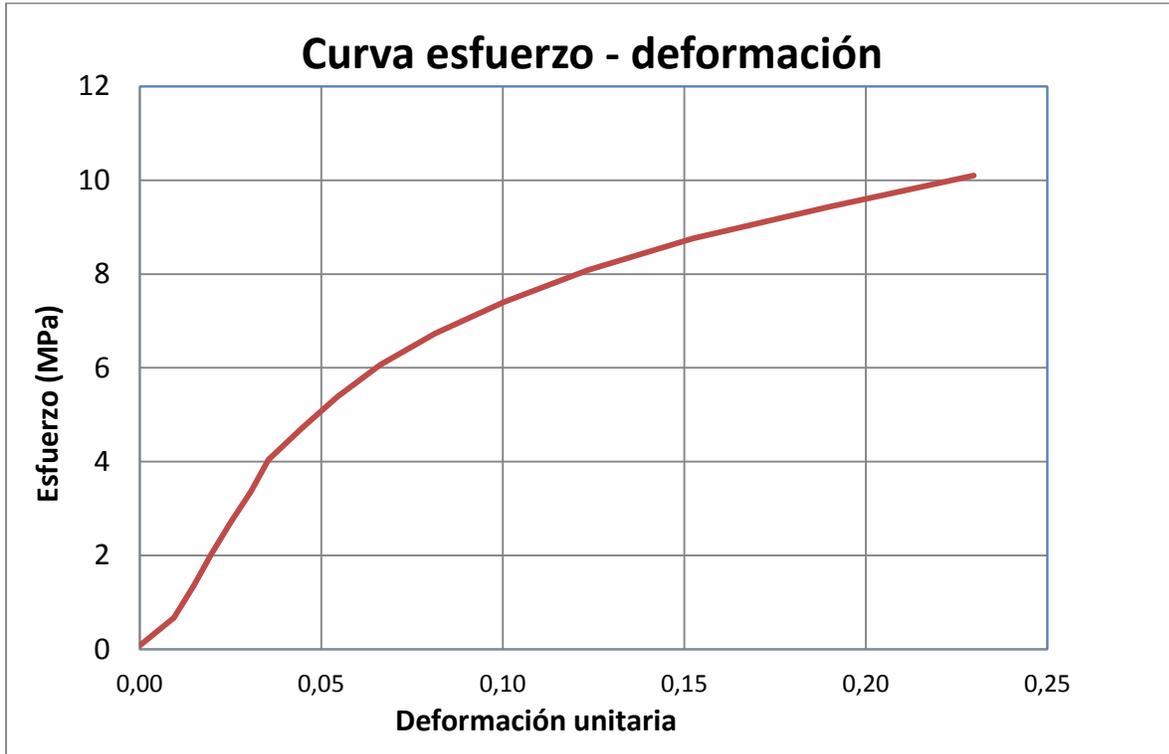
Esfuerzo Máx.: 10,67 MPa

Elasticidad: $\frac{130,0}{2}$ MPa

H_{promedio} = 60,55 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,08	0,00000	
2,5	0,6096	0,5334	0,5715	0,0000	0,0508	0,0254	0,0004	0,9	0,67	0,00944	
4,9	0,9144	0,8890	0,9017	0,0000	0,0508	0,0254	0,0004	1,3	1,35	0,01489	123,50
7,4	1,2192	1,1684	1,1938	0,0508	0,0254	0,0381	0,0006	1,6	2,02	0,01972	139,61
9,8	1,4986	1,5240	1,5113	0,1270	0,0762	0,1016	0,0017	1,9	2,69	0,02496	128,44
12,3	1,8288	1,8796	1,8542	0,2286	0,1651	0,1969	0,0033	2,3	3,37	0,03062	118,92
14,7	2,0828	2,2098	2,1463	0,3048	0,2667	0,2858	0,0047	2,6	4,04	0,03545	139,61
17,2	2,6670	2,7432	2,7051	0,5334	0,3810	0,4572	0,0076	3,2	4,71	0,04468	
19,6	3,2258	3,3782	3,3020	0,7366	0,6477	0,6922	0,0115	3,8	5,39	0,05453	
22,1	3,9370	4,0894	4,0132	1,0414	0,9982	1,0198	0,0169	4,6	6,06	0,06628	
24,5	4,8514	5,0038	4,9276	1,4986	1,4097	1,4542	0,0241	5,5	6,73	0,08138	
27,0	5,9690	6,1976	6,0833	1,9558	2,0142	1,9850	0,0329	6,7	7,41	0,10047	
29,4	7,3660	7,5946	7,4803	2,6670	2,5654	2,6162	0,0434	8,1	8,08	0,12354	
31,9	9,0678	9,3726	9,2202	3,4544	3,5306	3,4925	0,0579	9,8	8,76	0,15228	
34,3	11,2014	11,7602	11,4808	4,9530	4,3942	4,6736	0,0774	12,3	9,43	0,18961	
36,8	13,3096	14,5034	13,9065	7,5184	4,8260	6,1722	0,1023	15,4	10,10	0,22967	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-5

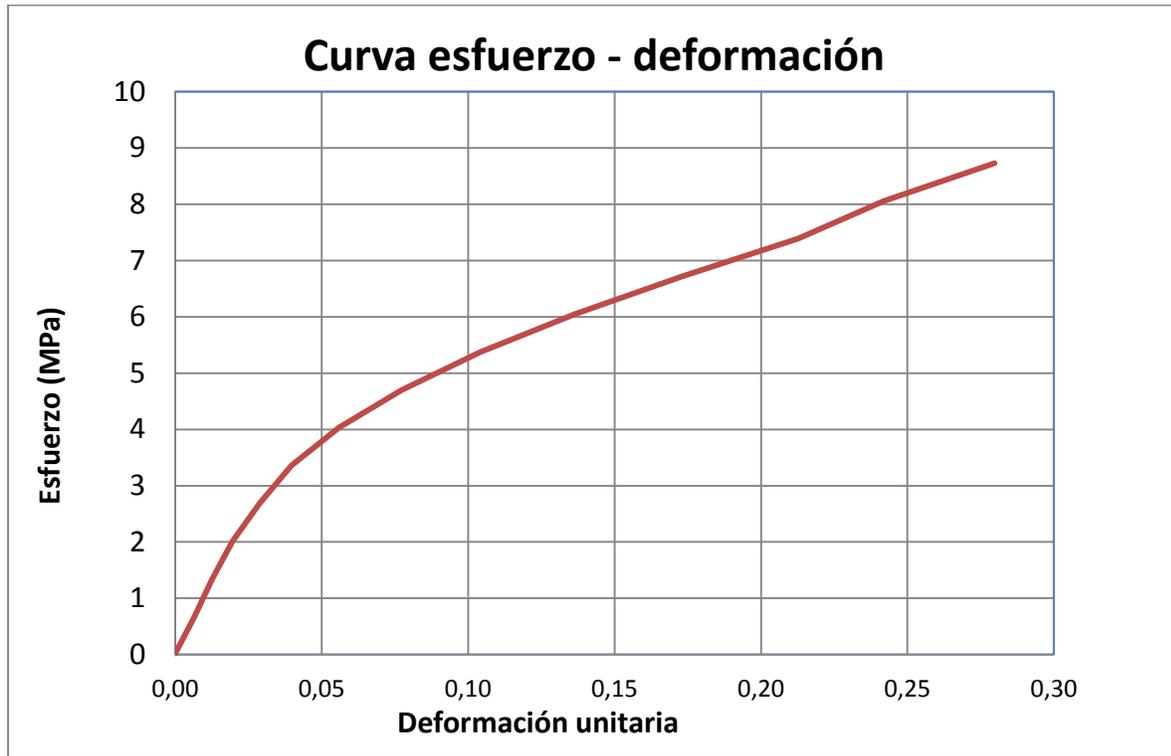


Resultados de muestra tipo cubo C4-6 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C4-6
L ₁ promedio =	60,43 mm	P. Máx.: 35,63 kN
L ₂ promedio =	60,43 mm	Esfuerzo Máx.: 9,76 MPa
L _T promedio =	60,43 mm	Elasticidad: 88,27 MPa
Área =	3652 mm ²	
H _{promedio} =	60,44 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,02	0,00000	
2,5	0,3556	0,4318	0,3937	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9	0,67	0,00651	100,20
4,9	0,6858	0,8382	0,7620	0,0254	0,0000	0,0127	0,0002	1,3	1,34	0,01261	110,20
7,4	1,0668	1,2954	1,1811	0,2032	0,1016	0,1524	0,0025	1,6	2,01	0,01954	96,84
9,8	1,5748	1,9050	1,7399	0,1016	0,3556	0,2286	0,0038	1,9	2,69	0,02879	72,63
12,3	2,1590	2,6416	2,4003	0,3048	0,6604	0,4826	0,0080	2,3	3,36	0,03972	61,46
14,7	3,0480	3,7084	3,3782	0,4318	1,0922	0,7620	0,0126	2,6	4,03	0,05590	
17,2	4,3180	5,0292	4,6736	0,6350	1,7018	1,1684	0,0193	3,2	4,70	0,07733	
19,6	5,9436	6,6294	6,2865	0,8128	2,4892	1,6510	0,0273	3,8	5,37	0,10402	
22,1	7,7978	8,6614	8,2296	0,9144	3,3274	2,1209	0,0351	4,6	6,04	0,13617	
24,5	9,9060	10,9982	10,4521	0,5080	4,6482	2,5781	0,0427	5,5	6,72	0,17294	
27,0	12,1920	13,5128	12,8524	-0,5080	6,1976	2,8448	0,0471	6,7	7,39	0,21266	
29,4	13,7160	15,5194	14,6177	-1,3970	7,3914	2,9972	0,0496	8,1	8,06	0,24187	
31,9	15,7480	18,0594	16,9037	-2,7940	9,0678	3,1369	0,0519	9,8	8,73	0,27969	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-6

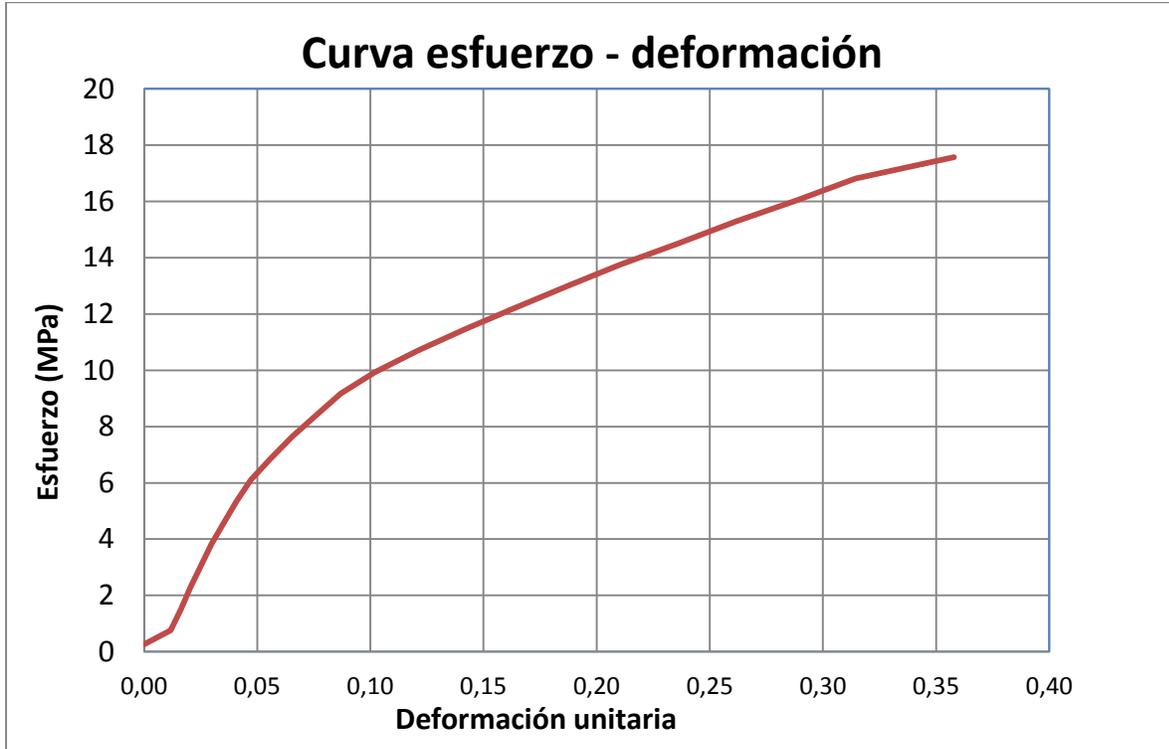


Resultados de muestra tipo cubo C4-7 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C4-7
L _{1promedio} =	57,70 mm	P. Máx.: 71,32 kN
L _{2promedio} =	55,63 mm	Esfuerzo Máx.: 22,22 MPa
L _{Tpromedio} =	56,66 mm	Elasticidad: 138,51 MPa
Área =	3210 mm ²	
H _{promedio} =	60,26 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,27	0,00000	
2,5	0,8890	0,5334	0,7112	-0,1016	0,0508	-0,0254	-0,0004	1	0,76	0,01180	
4,9	1,2192	0,7620	0,9906	-0,0762	0,0762	0,0000	0,0000	1,4	1,53	0,01644	164,79
7,4	1,5240	0,9398	1,2319	-0,0254	0,1016	0,0381	0,0007	1,7	2,29	0,02044	190,81
9,8	1,8288	1,1938	1,5113	0,0254	0,1524	0,0889	0,0016	2,1	3,06	0,02508	164,79
12,3	2,1336	1,4478	1,7907	0,1016	0,2286	0,1651	0,0029	2,4	3,82	0,02972	164,79
14,7	2,4638	1,7780	2,1209	0,2032	0,3048	0,2540	0,0045	2,7	4,58	0,03520	139,44
17,2	2,8448	2,0828	2,4638	0,2794	0,4318	0,3556	0,0063	3,1	5,35	0,04089	134,27
19,6	3,2004	2,4892	2,8448	0,4318	0,5334	0,4826	0,0085	3,5	6,11	0,04721	120,84
22,1	3,7592	2,9972	3,3782	0,6096	0,7366	0,6731	0,0119	4,1	6,88	0,05606	86,32
24,5	4,3434	3,5560	3,9497	0,8382	0,9398	0,8890	0,0157	4,6	7,64	0,06555	80,56
27,0	4,9784	4,1910	4,5847	1,1176	1,1938	1,1557	0,0204	5,2	8,40	0,07609	
29,4	5,6388	4,8260	5,2324	1,3970	1,4478	1,4224	0,0251	5,9	9,17	0,08683	
31,9	6,5786	5,7150	6,1468	1,7526	1,8034	1,7780	0,0314	6,8	9,93	0,10201	
34,3	7,7216	6,8580	7,2898	2,2860	2,2860	2,2860	0,0403	8	10,70	0,12098	
36,8	8,9408	8,1788	8,5598	2,8956	2,7940	2,8448	0,0502	9,2	11,46	0,14205	
39,2	10,3378	9,4488	9,8933	3,4798	3,3528	3,4163	0,0603	10,6	12,23	0,16418	
41,7	11,7348	10,8204	11,2776	4,1402	3,8862	4,0132	0,0708	12	12,99	0,18716	
44,1	13,1572	12,1920	12,6746	4,7244	4,5974	4,6609	0,0823	13,3	13,75	0,21034	
46,6	14,6558	13,8430	14,2494	5,4356	5,1308	5,2832	0,0932	14,9	14,52	0,23648	
49,1	16,1544	15,3670	15,7607	6,0198	5,7912	5,9055	0,1042	16,4	15,28	0,26156	
51,5	17,7800	17,0180	17,3990	6,7056	6,5278	6,6167	0,1168	17,9	16,05	0,28874	
54,0	19,3548	18,5420	18,9484	7,3406	7,0866	7,2136	0,1273	19,5	16,81	0,31446	
56,4	21,9202	21,2090	21,5646	8,2804	7,8994	8,0899	0,1428	22,1	17,57	0,35787	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C4-7

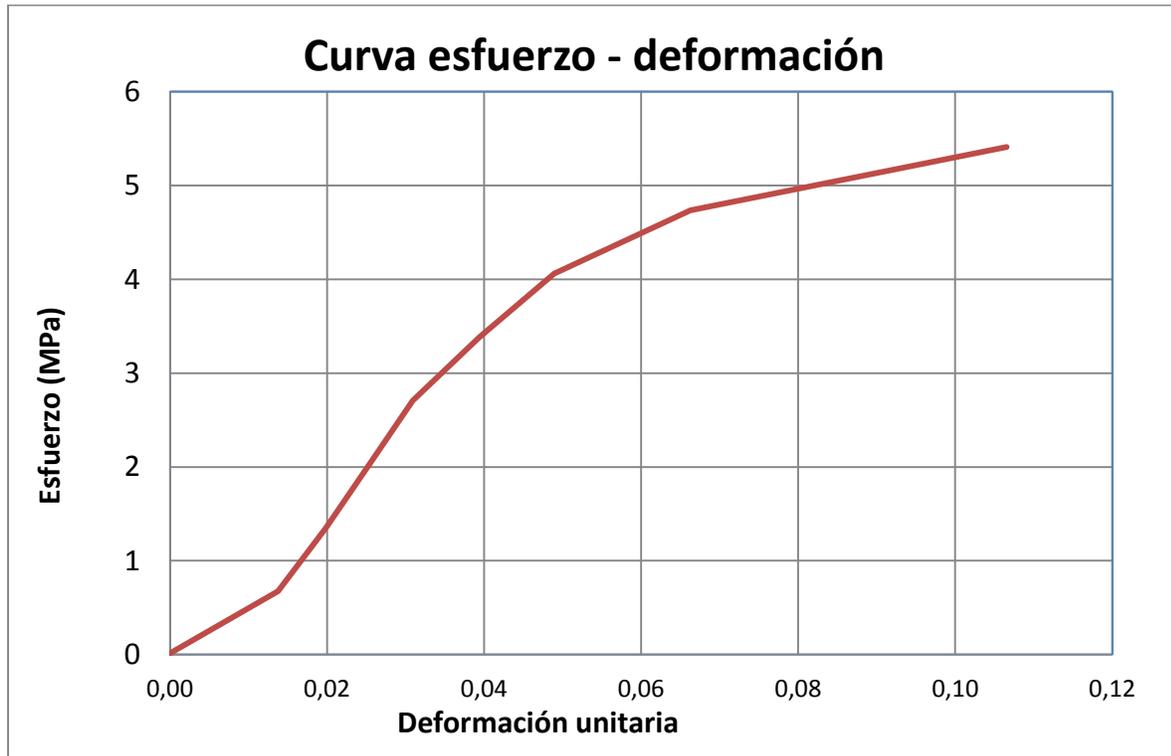


Resultados de muestra tipo cubo C5-8 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C5-8
L ₁ promedio =	60,17 mm	P. Máx.: 20,16 kN
L ₂ promedio =	60,26 mm	Esfuerzo Máx.: 5,56 MPa
L _T promedio =	60,21 mm	Elasticidad: 101,33 MPa
Área =	3625 mm ²	
H _{promedio} =	59,96 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,01	0,00000	
2,5	1,1176	0,5334	0,8255	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,1	0,68	0,01377	
4,9	1,4224	0,9652	1,1938	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,5	1,35	0,01991	110,14
7,4	1,7018	1,3462	1,5240	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2	2,03	0,02542	122,85
9,8	2,0320	1,6764	1,8542	0,0254	0,1143	0,0699	0,0012	2,4	2,71	0,03092	122,85
12,3	2,4892	2,2352	2,3622	0,1524	0,2921	0,2223	0,0037	2,9	3,38	0,03939	79,85
14,7	3,0734	2,7940	2,9337	0,3556	0,5334	0,4445	0,0074	3,6	4,06	0,04892	70,98
17,2	4,0640	3,8862	3,9751	0,7874	1,0541	0,9208	0,0153	4,7	4,74	0,06629	
19,6	6,3500	6,4262	6,3881	2,4130	2,2860	2,3495	0,0390	7,1	5,41	0,10653	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-8



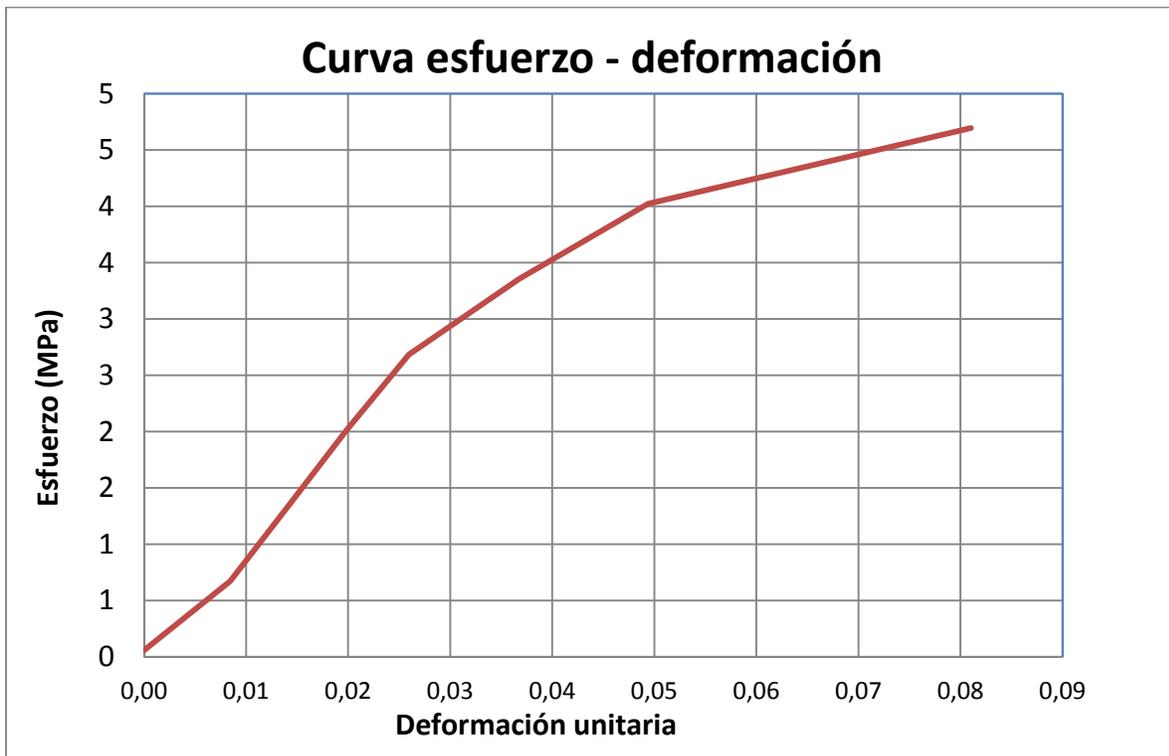
Resultados de muestra tipo cubo C5-9 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C5-9
L _{1promedio} =	60,58 mm	P. Máx.: 18,41 kN
L _{2promedio} =	60,36 mm	Esfuerzo Máx.: 5,04 MPa
L _{Tpromedio} =	60,47 mm	Elasticidad: 95,97 MPa
Área =	3656 mm ²	

H_{promedio} = 60,18 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,06	0,00000	
2,5	0,5588	0,4572	0,5080	0,0508	- 0,0254	0,0127	0,0002	0,7	0,67	0,00844	72,47
4,9	0,8890	0,8128	0,8509	0,1270	- 0,0381	0,0445	0,0007	1,1	1,34	0,01414	117,73
7,4	1,1938	1,1938	1,1938	0,2032	- 0,0381	0,0826	0,0014	1,5	2,01	0,01984	117,73
9,8	1,5494	1,5748	1,5621	0,3556	0,0000	0,1778	0,0029	1,9	2,68	0,02596	109,61
12,3	2,0828	2,3368	2,2098	0,5334	0,1905	0,3620	0,0060	2,5	3,35	0,03672	62,33
14,7	2,9210	3,0226	2,9718	0,9398	0,4953	0,7176	0,0119	3,4	4,02	0,04938	
17,2	4,7498	5,0038	4,8768	2,3368	1,4732	1,9050	0,0315	5,2	4,70	0,08104	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-9



Resultados de muestra tipo cubo C5-10 sometida a compresión en sentido Y

Área de contacto:		MUESTRA No.: C5-10
L ₁ promedio =	62,97 mm	P. Máx.: 18,85 kN
L ₂ promedio =	60,28 mm	Esfuerzo Máx.: 4,97 MPa
L _T promedio =	61,63 mm	Elasticidad: 107,49 MPa
Área =	3796 mm ²	

H_{promedio} = 60,25 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,1	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,000 0	0,0000		0	0,03	0,00000	
2,5	0,863 6	0,863 6	0,8636	0,0508	0,000 0	0,0254	0,0004	1	0,65	0,01433	
4,9	1,193 8	1,270 0	1,2319	0,1016	0,025 4	0,0635	0,0010	1,5	1,29	0,02045	105,69
7,4	1,498 6	1,625 6	1,5621	0,1778	0,025 4	0,1016	0,0016	1,9	1,94	0,02593	117,89
9,8	1,803 4	2,006 6	1,9050	0,3048	0,076 2	0,1905	0,0031	2,3	2,58	0,03162	113,52
12,3	2,184 4	2,463 8	2,3241	0,4572	0,203 2	0,3302	0,0054	2,8	3,23	0,03858	92,88
14,7	2,844 8	3,022 6	2,9337	0,9398	0,355 6	0,6477	0,0105	3,5	3,88	0,04869	
17,2	3,860 8	3,962 4	3,9116	1,8288	0,393 7	1,1113	0,0180	4,7	4,52	0,06493	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-10

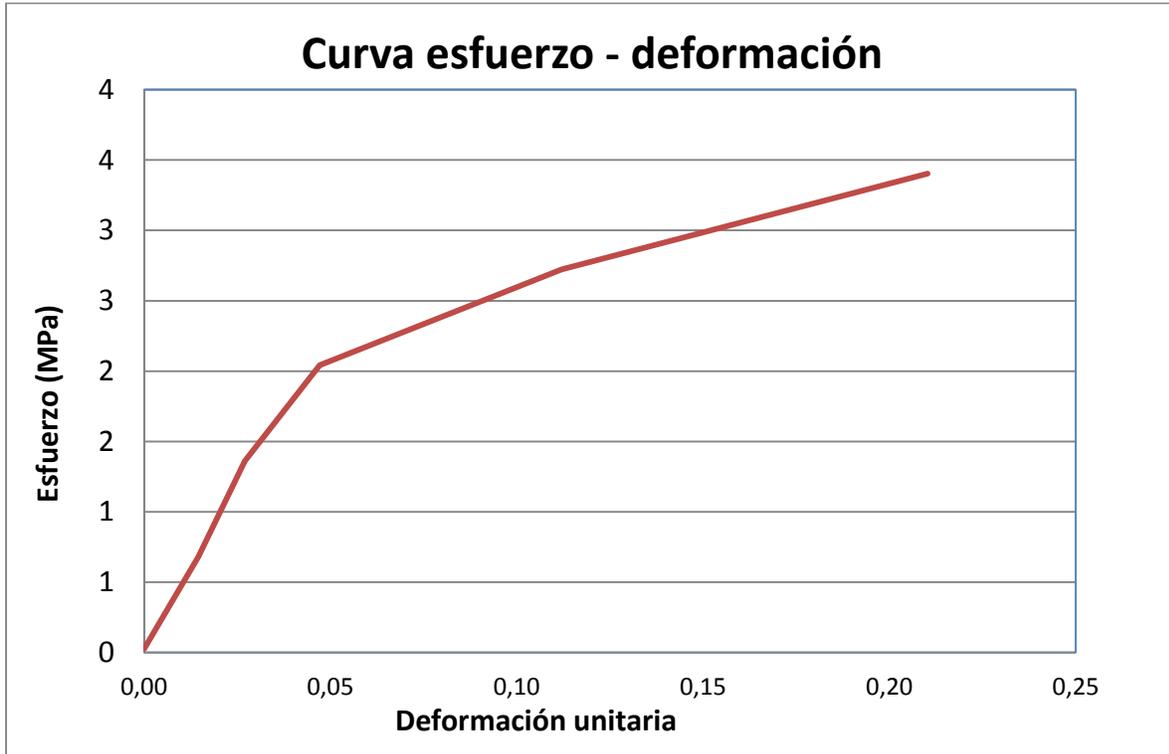


Resultados de muestra tipo cubo C5-1 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:		MUESTRA No.: C5-1
L _{1promedio} =	60,09 mm	P. Máx.: 12,26 kN
L _{2promedio} =	59,96 mm	Esfuerzo Máx.: 3,40 MPa
L _{Tpromedio} =	60,02 mm	Elasticidad: 44,40 MPa
Área =	3603 mm ²	
H _{promedio} =	60,05 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,03	0,00000	
2,5	0,8382	0,9144	0,8763	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	1,1	0,68	0,01459	44,78
4,9	1,5240	1,7272	1,6256	0,1016	0,0016	0,0516	0,0009	1,9	1,36	0,02707	54,55
7,4	2,6162	3,0480	2,8321	0,4826	0,0056	0,2441	0,0041	3,1	2,04	0,04716	33,88
9,8	6,3500	7,1120	6,7310	1,9812	0,0217	1,0015	0,0167	6,8	2,72	0,11209	
12,3	13,4620	11,7856	12,6238	6,1722	0,0686	3,1204	0,0520	15,5	3,40	0,21023	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-1

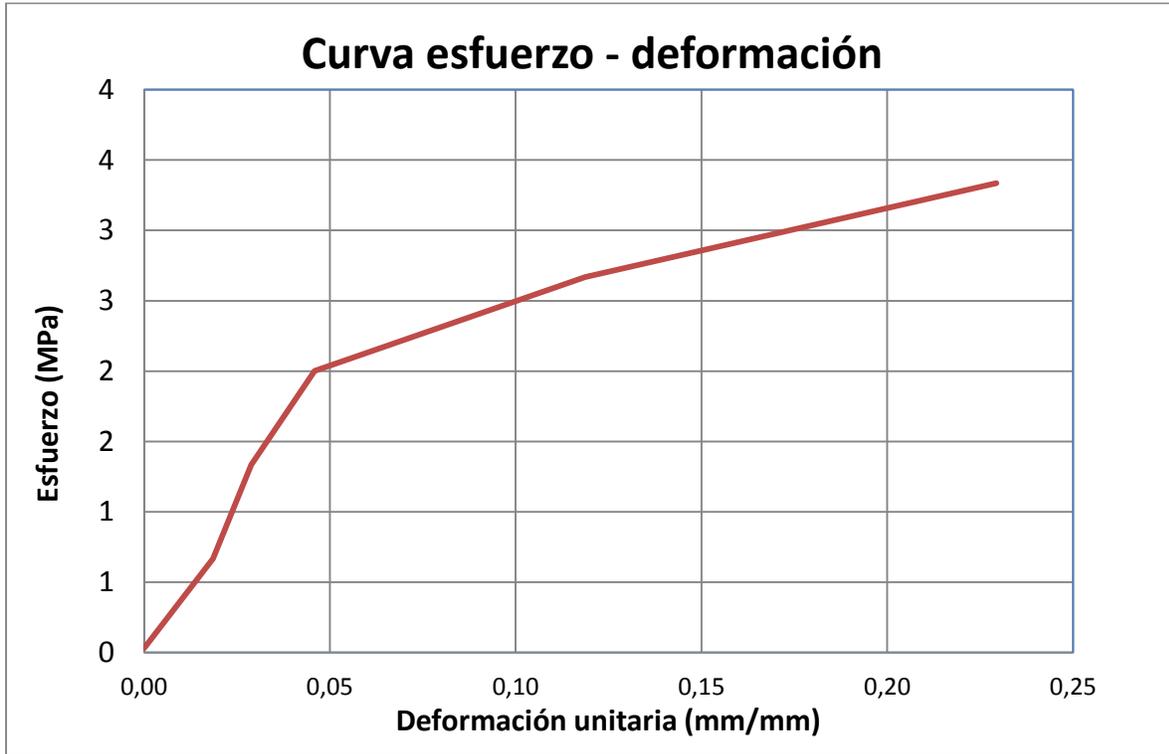


Resultados de muestra tipo cubo C5-2 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:		MUESTRA No.: C5-2
L ₁ promedio =	60,58 mm	P. Máx.: 14,98 kN
L ₂ promedio =	60,69 mm	Esfuerzo Máx.: 4,07 MPa
L _T promedio =	60,64 mm	Elasticidad: 46,04 MPa
Área =	3677 mm ²	
H _{promedio} =	60,35 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,03	0,00000	
2,5	1,0160	1,2192	1,1176	0,1016	0,0610	0,0813	0,0013	1,2	0,67	0,01852	34,29
4,9	1,5494	1,9304	1,7399	0,1778	0,2667	0,2223	0,0037	1,9	1,33	0,02883	64,69
7,4	2,4638	3,0734	2,7686	0,4064	0,6680	0,5372	0,0089	3	2,00	0,04587	39,13
9,8	8,0264	6,2992	7,1628	1,1176	2,3978	1,7577	0,0290	6,1	2,67	0,11869	
12,3	13,0048	14,6812	13,8430	4,8260	5,9690	5,3975	0,0890	14,5	3,34	0,22937	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-2



Resultados de muestra tipo cubo C5-3 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

$L_{1promedio}$ = 60,34 mm
 $L_{2promedio}$ = 60,20 mm
 $L_{Tpromedio}$ = 60,27 mm
 Área = 3632 mm²
 $H_{promedio}$ = 60,41 mm

MUESTRA
No.: C5-3

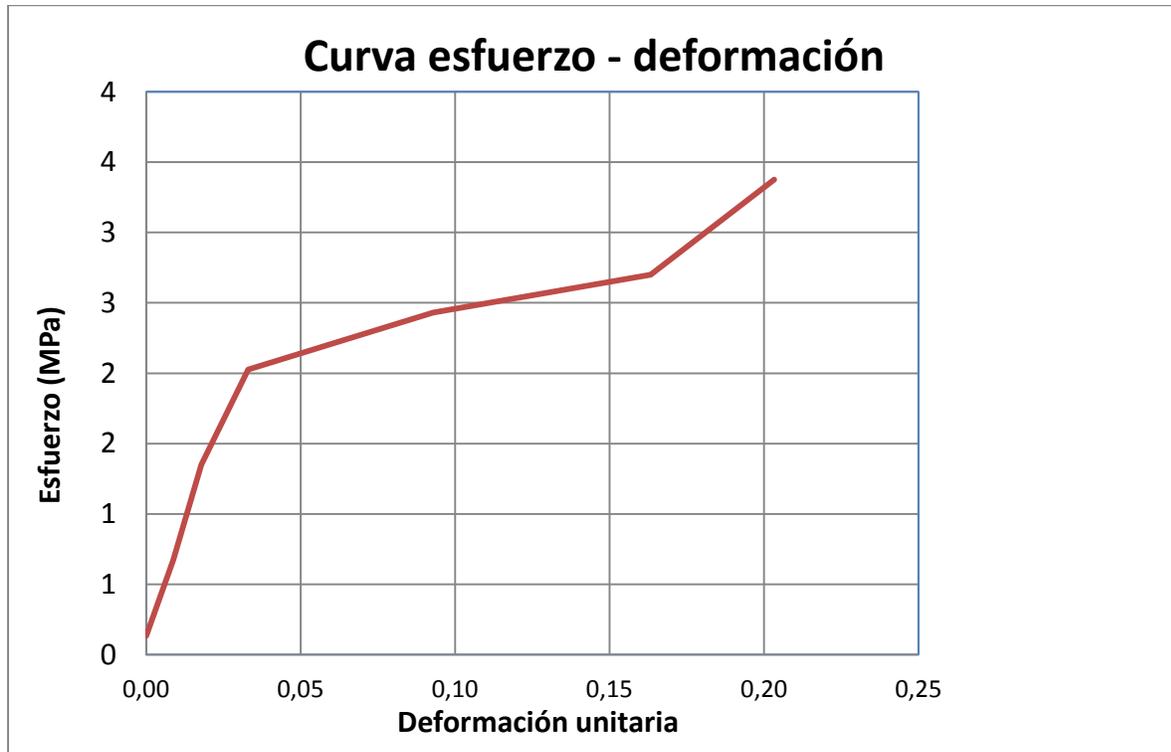
P. Máx.: 14,86 kN

Esfuerzo
Máx.: 4,09 MPa

Elasticidad: 60,15 MPa

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,14	0,00000	
2,5	0,6604	0,4064	0,5334	0,1016	0,0381	0,0699	0,0012	0,8	0,68	0,00883	61,17
4,9	1,3716	0,7874	1,0795	0,3556	0,2007	0,2781	0,0046	1,5	1,35	0,01787	74,69
7,4	2,3876	1,6002	1,9939	0,9398	0,6096	0,7747	0,0129	2,6	2,03	0,03301	44,60
8,8	6,3246	4,9022	5,6134	5,1308	1,4122	3,2715	0,0543	7,1	2,43	0,09292	
9,8	10,7696	8,9662	9,8679	9,5758	1,4478	5,5118	0,0915	12,4	2,70	0,16335	
12,3	13,3096	11,2522	12,2809	11,3538	1,4478	6,4008	0,1062	15,5	3,38	0,20329	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C5-3



Resultados de muestra tipo cubo C6-4 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

L_{1promedio} = 61,14 mm
 L_{2promedio} = 60,80 mm
 L_{Tpromedio} = 60,97 mm
 Área = 3718 mm²

MUESTRA No.: C6-4

P. Máx.: 17,17 kN

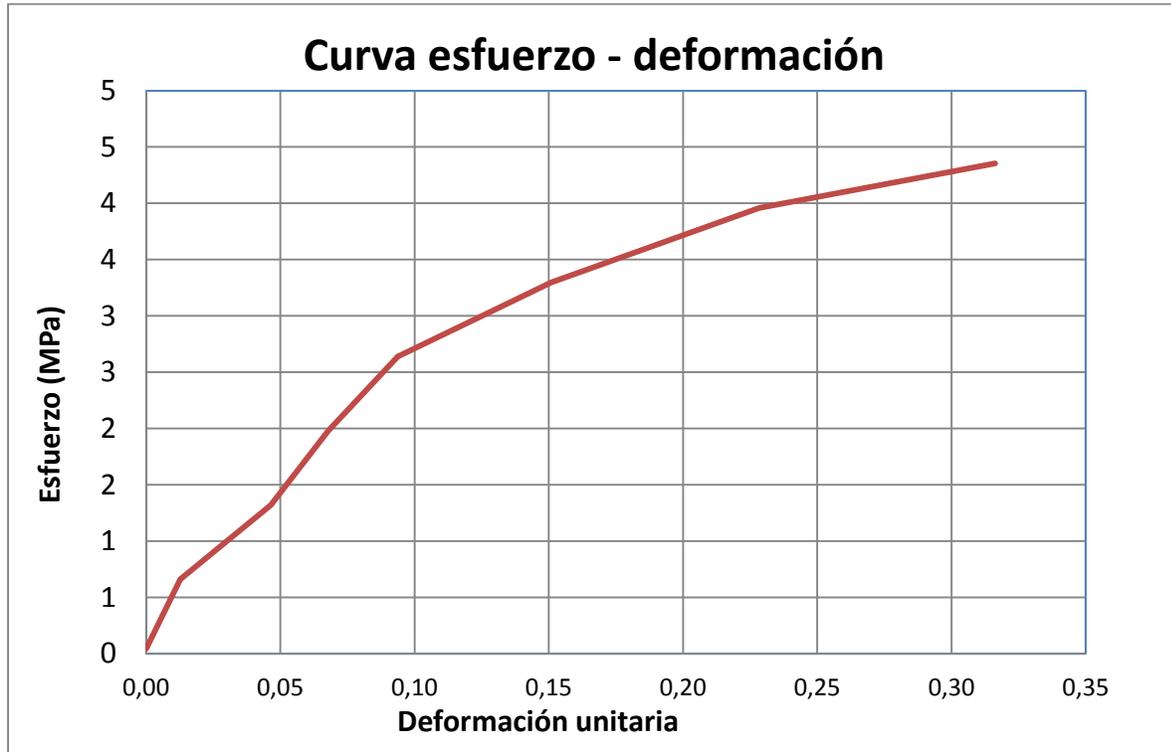
Esfuerzo Máx.: 4,62 MPa

Elasticidad: 31,01 MPa

H_{promedio} = 60,68 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	0,9144	0,6350	0,7747	0,0508	0,0356	0,0432	0,0007	1,1	0,66	0,01277	48,16
4,9	1,7526	3,8862	2,8194	0,2794	0,1372	0,2083	0,0034	2	1,32	0,04646	19,58
7,4	3,1242	5,1054	4,1148	0,7874	0,2007	0,4940	0,0081	3,5	1,98	0,06781	30,90
9,8	5,9690	5,4102	5,6896	1,5748	0,3429	0,9589	0,0157	6,3	2,64	0,09376	25,42
12,3	9,4234	8,8900	9,1567	2,3368	0,9525	1,6447	0,0270	9,8	3,30	0,15090	
14,7	14,2494	13,4620	13,8557	2,8194	1,6078	2,2136	0,0363	14,3	3,96	0,22834	
16,2	19,5834	18,7960	19,1897						4,35	0,31624	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-4



Resultados de muestra tipo cubo C6-5 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

$L_{1promedio} = 60,46$ mm
 $L_{2promedio} = 45,46$ mm
 $L_{Tpromedio} = 52,96$ mm
 Área = 2748 mm²

MUESTRA No.: C6-5

P. Máx.: 11,97 kN

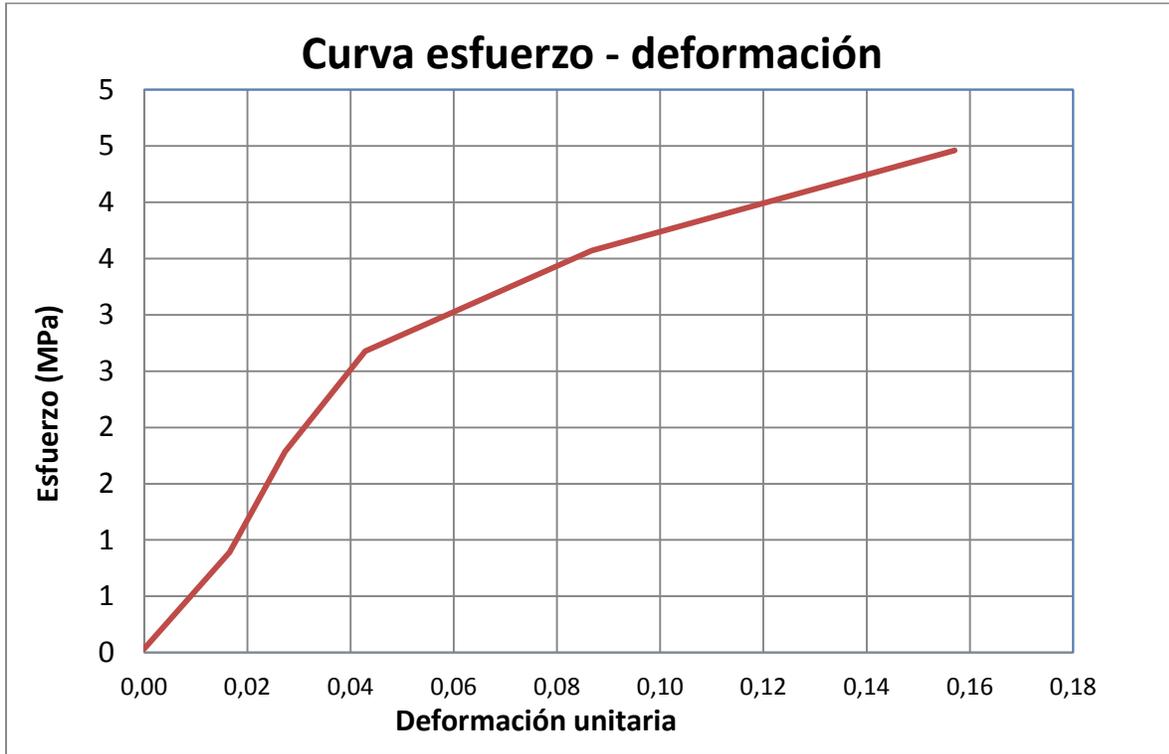
Esfuerzo Máx.: 4,35 MPa

Elasticidad: 64,13 MPa

$H_{promedio} = 60,48$ mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,1	0,000 0	0,000 0	0,0000	0,0000	0,000 0	0,0000		0	0,04	0,00000	
2,5	1,041 4	0,965 2	1,0033	0,0000	0,000 0	0,0000	0,0000	1,2	0,89	0,01659	51,64
4,9	1,651 0	1,651 0	1,6510	0,0508	0,190 5	0,1207	0,0023	1,9	1,78	0,02730	83,32
7,4	2,540 0	2,641 6	2,5908	0,3302	0,533 4	0,4318	0,0082	2,9	2,68	0,04284	57,42
9,8	5,054 6	5,435 6	5,2451	1,4732	1,887 2	1,6802	0,0317	5,7	3,57	0,08673	
12,3	9,499 6	9,499 6	9,4996	5,0292	3,998 0	4,5136	0,0852	10,2	4,46	0,15707	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-5

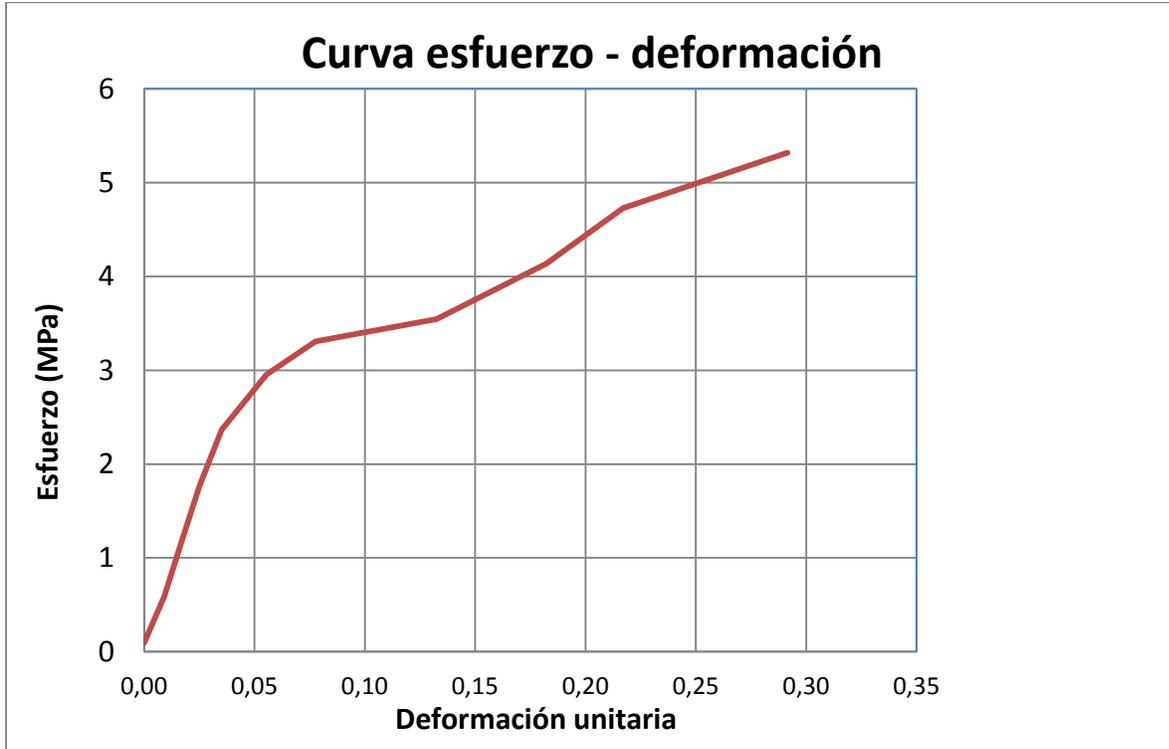


Resultados de muestra tipo cubo C2-6 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:		MUESTRA No.: C2-6
L ₁ promedio =	64,28 mm	P. Máx.: 22,81 kN
L ₂ promedio =	64,58 mm	Esfuerzo Máx.: 5,50 MPa
L _T promedio =	64,43 mm	Elasticidad: 65,32 MPa
Área =	4151 mm ²	
H _{promedio} =	61,12 mm	

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv) (mm)	Mesa (mm)			
0,4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,09	0,00000	
2,5	0,5842	0,5334	0,5588	0,1270	0,0508	0,0889	0,0014	0,6	0,59	0,00914	54,29
4,9	1,0922	0,9906	1,0414	0,1270	0,0508	0,0889	0,0014	1,2	1,18	0,01704	74,83
7,4	1,6002	1,4732	1,5367	0,1778	0,0508	0,1143	0,0018	1,7	1,77	0,02514	72,92
9,8	2,2098	2,0828	2,1463	0,3556	0,0508	0,2032	0,0032	2,4	2,36	0,03512	59,24
12,3	3,4290	3,3528	3,3909	0,6604	0,0508	0,3556	0,0055	3,7	2,95	0,05548	
13,7	4,7498	4,7498	4,7498	1,3716	0,0508	0,7112	0,0110	5,2	3,31	0,07771	
14,7	7,8994	8,3058	8,1026	2,2606	0,0508	1,1557	0,0179	8,8	3,55	0,13257	
17,2	10,9982	11,2776	11,1379	4,6736	0,6604	2,6670	0,0414	12,5	4,14	0,18223	
19,6	13,0302	13,5128	13,2715					14,7	4,73	0,21714	
22,1	20,0914	15,5448	17,8181					17,1	5,32	0,29153	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C2-6



Resultados de muestra tipo cubo C6-7 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

$L_{1promedio} = 60,15 \text{ mm}$
 $L_{2promedio} = 59,83 \text{ mm}$
 $L_{Tpromedio} = 59,99 \text{ mm}$
 Área = 3599 mm²

MUESTRA No.: C6-7

P. Máx.: 13,24 kN

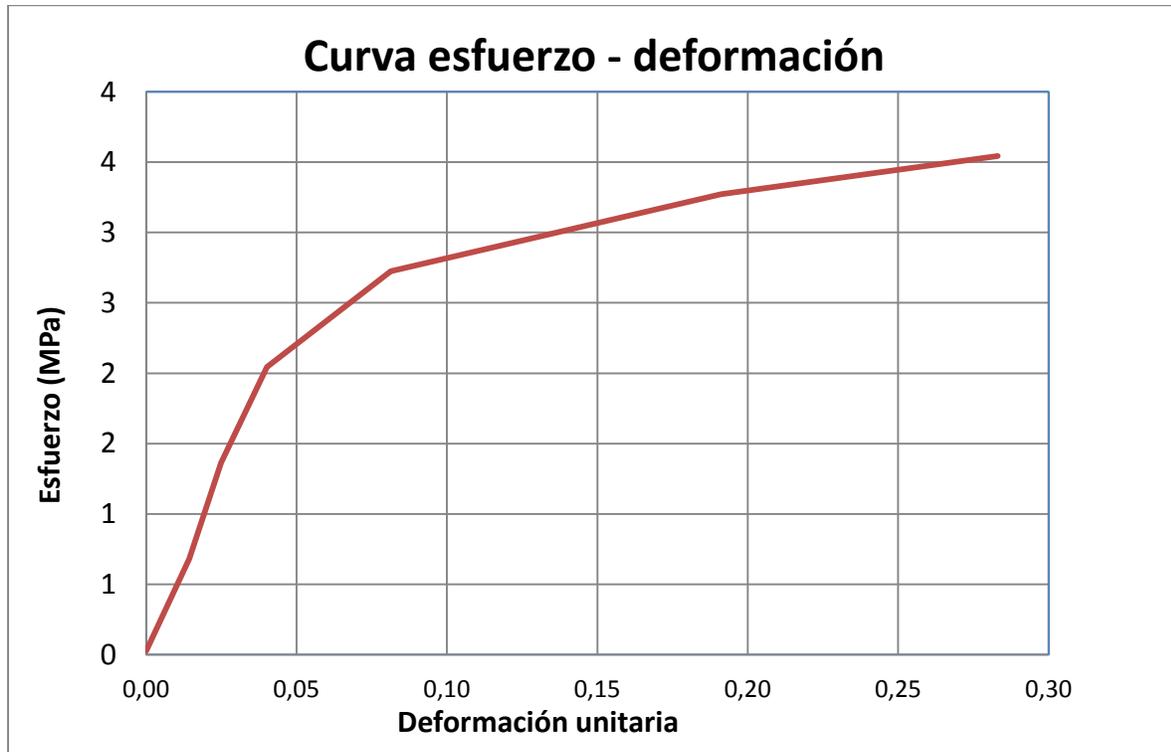
Esfuerzo Máx.: 3,68 MPa

Elasticidad: 51,63 MPa

$H_{promedio} = 60,12 \text{ mm}$

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,03	0,00000	
2,5	1,0414	0,6858	0,8636	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,1	0,68	0,01436	45,55
4,9	1,7272	1,2700	1,4986	0,0000	0,0254	0,0127	0,0002	1,7	1,36	0,02493	64,52
7,4	2,6924	2,1336	2,4130	0,0762	0,3302	0,2032	0,0034	2,7	2,04	0,04014	44,81
9,8	5,1054	4,6736	4,8895	0,4318	3,6322	2,0320	0,0339	5,1	2,73	0,08133	
11,8	11,7094	11,2776	11,4935	1,0414	6,3500	3,6957	0,0616	11,8	3,27	0,19117	
12,8	17,5514	16,4846	17,0180	4,1402	8,3820	6,2611	0,1044	17,8	3,54	0,28306	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-7



Resultados de muestra tipo cubo C6-8 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

$L_{1promedio} = 60,25$ mm
 $L_{2promedio} = 59,93$ mm
 $L_{Tpromedio} = 60,09$ mm
 Área = 3610 mm²

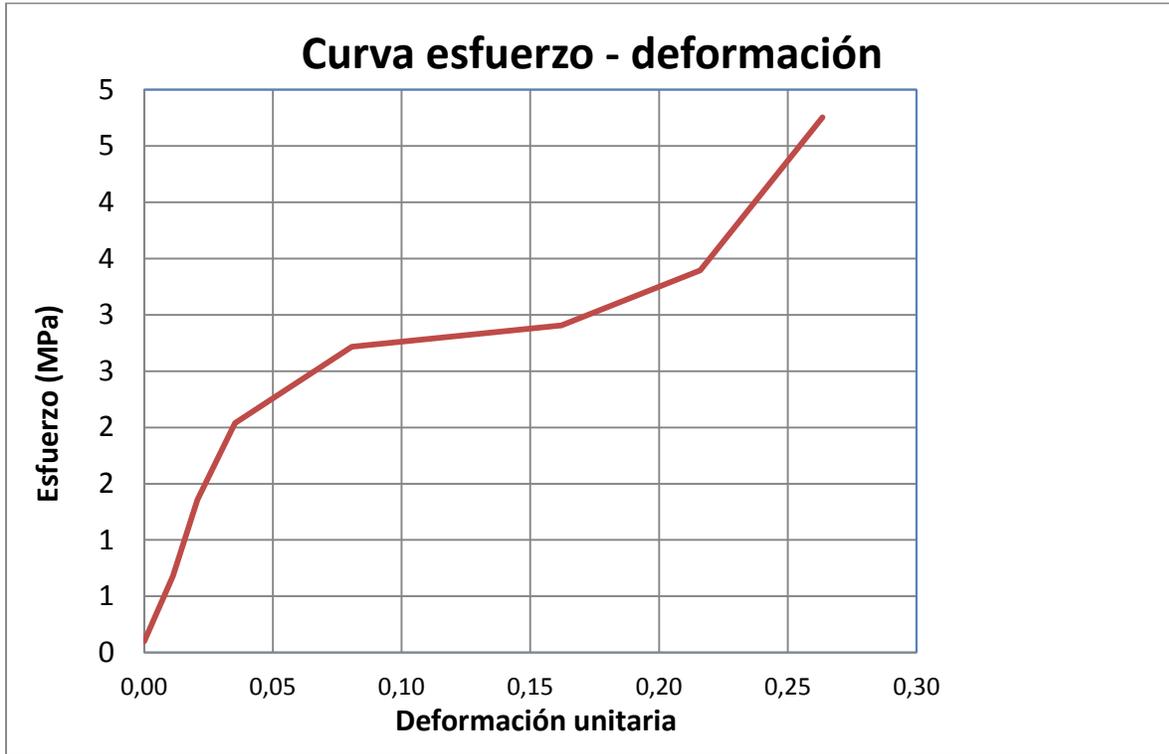
MUESTRA No.: C6-8

P. Máx.: 22,27 kN
Esfuerzo Máx.: 6,17 MPa
Elasticidad: 56,57 MPa

$H_{promedio} = 60,10$ mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,10	0,00000	
2,5	0,6858	0,6604	0,6731	0,0254	0,0000	0,0127	0,0002	0,7	0,68	0,01120	51,68
4,9	1,3208	1,1684	1,2446	0,2032	0,0254	0,1143	0,0019	1,4	1,36	0,02071	71,44
7,4	2,2098	2,0320	2,1209	0,5334	0,2032	0,3683	0,0061	2,3	2,04	0,03529	46,59
9,8	4,8768	4,8260	4,8514	1,9050	0,7112	1,3081	0,0218	5	2,72	0,08072	
10,5	9,5758	9,9060	9,7409	4,6736	0,0762	2,3749	0,0395	10,3	2,91	0,16207	
12,3	13,0048	12,9540	12,9794	5,9690	0,7112	2,6289	0,0438	13,6	3,40	0,21595	
17,2	15,9258	15,7480	15,8369					16,9	4,75	0,26350	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-8



Resultados de muestra tipo cubo C6-9 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:

$L_{1promedio} = 59,93$ mm
 $L_{2promedio} = 60,07$ mm
 $L_{Tpromedio} = 60,00$ mm
 Área = 3600 mm²

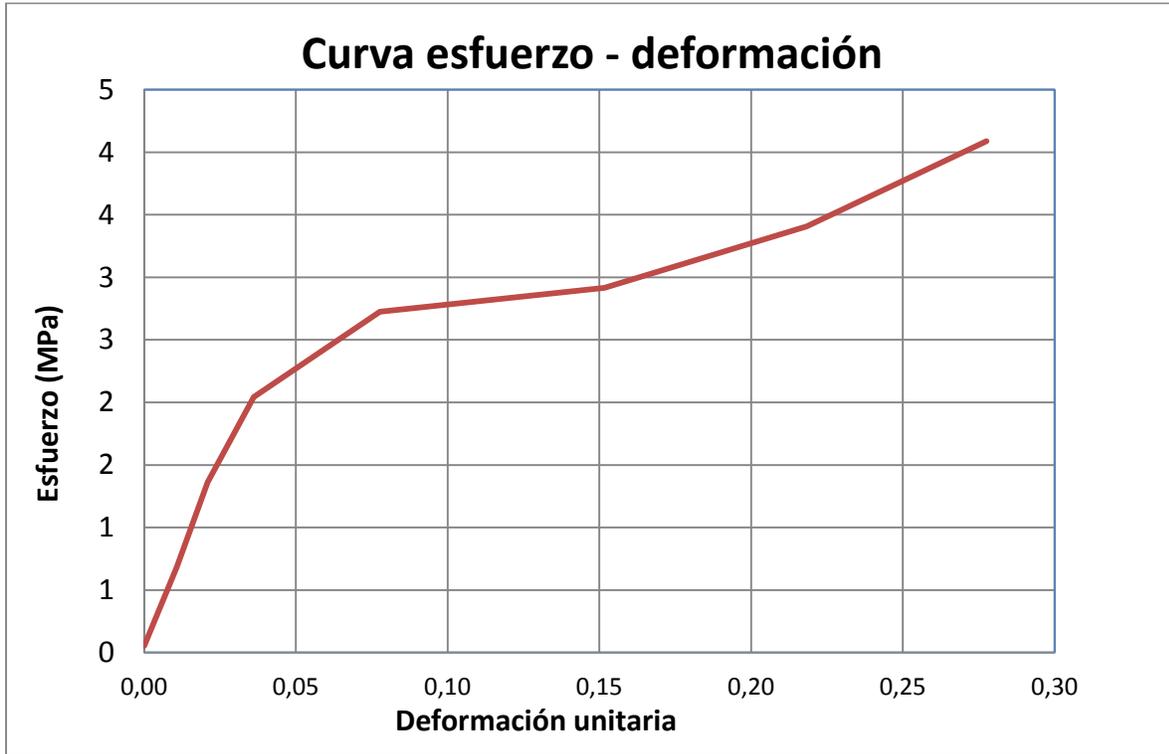
MUESTRA No.: C6-9

P. Máx.: 10,50 kN
Esfuerzo Máx.: 2,92 MPa
Elasticidad: 56,63 MPa

$H_{promedio} = 60,03$ mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,05	0,00000	
2,5	0,6604	0,6350	0,6477	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7	0,68	0,01079	58,09
4,9	1,3208	1,1938	1,2573	0,0000	0,0508	0,0254	0,0004	1,4	1,36	0,02095	67,09
7,4	2,2352	2,1082	2,1717	0,1778	0,3556	0,2667	0,0044	2,3	2,04	0,03618	44,72
9,8	4,6736	4,6482	4,6609	0,5080	1,4224	0,9652	0,0161	4,6	2,73	0,07765	
10,5	8,9916	9,2202	9,1059	-1,7780	4,0640	1,1430	0,0191	8,7	2,92	0,15170	
12,3	13,0556	13,1572	13,1064					12,4	3,41	0,21835	
14,7	16,6116	16,7132	16,6624					16	4,09	0,27759	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-9



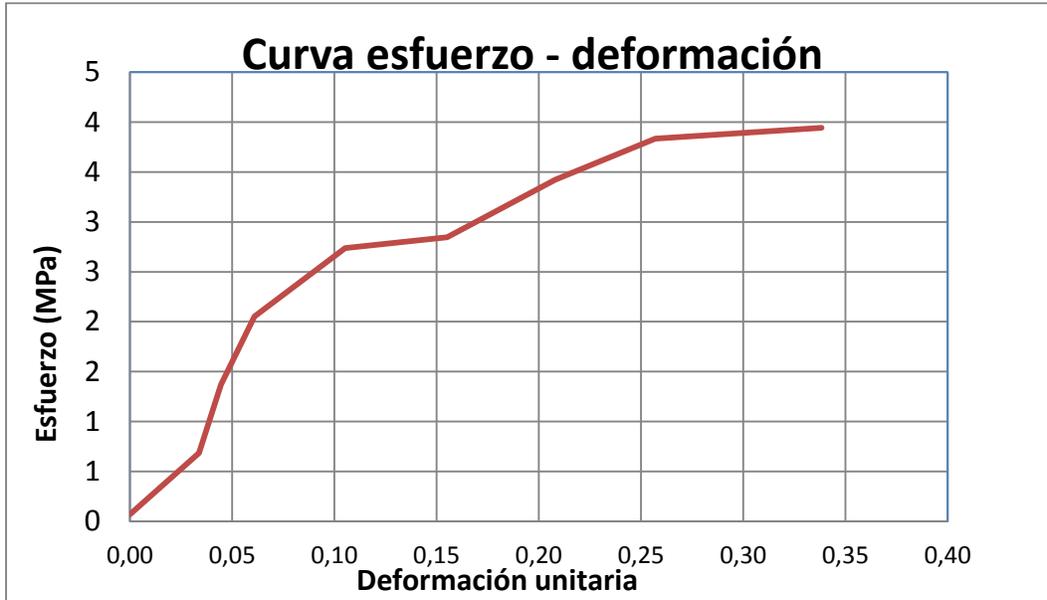
Resultados de muestra tipo cubo C6-10 sometida a compresión en sentido Z

Área de contacto:		MUESTRA No.: C6-10
L _{1promedio} =	59,42 mm	P. Máx.: 10,20 kN
L _{2promedio} =	60,30 mm	Esfuerzo Máx.: 2,85 MPa
L _{Tpromedio} =	59,86 mm	Elasticidad: 53,06 MPa
Área =	3583 mm ²	

H_{promedio} = 59,70 mm

Carga (kN)	Deformación								Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (Long)	E (MPa)
	Def1 (mm)	Def2 (mm)	Dpromedio Long (mm)	Def3 (mm)	Def4 (mm)	Dpromedio Long (mm)	(Transv)	Mesa (mm)			
0,2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0	0,07	0,00000	
2,5	0,7874	3,2512	2,0193	0,0762	0,0000	0,0381	0,0006	0,9	0,68	0,03383	
4,9	1,4478	3,8608	2,6543	0,2540	0,0000	0,1270	0,0021	1,5	1,37	0,04446	64,35
7,4	2,4384	4,8260	3,6322	0,7112	0,3048	0,5080	0,0085	2,5	2,05	0,06084	41,78
9,8	5,0292	7,5438	6,2865	2,1590	1,1938	1,6764	0,0280	5,1	2,74	0,10531	
10,2	8,0264	10,4902	9,2583	4,0132	2,5400	3,2766	0,0547	8,1	2,85	0,15509	
12,3	11,3284	13,5128	12,4206	5,5372	4,1656	4,8514	0,0810	11,3	3,42	0,20806	
13,7	14,1224	16,5608	15,3416	6,1722	7,5184	6,8453	0,1144	14,4	3,83	0,25699	
14,1	19,2024	21,1836	20,1930					19,3	3,94	0,33826	

Comportamiento durante ensayo a compresión de Muestra C6-10



B. Anexo: Resultados de ensayos a tensión en muestras tipo probeta

Valores de esfuerzos a compresión máximos en sentido X. Fuente: Autor

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	Esf. Máx.	Módulo elástico
		(kN)	(MPa)	(MPa)
1	T-01	3,32	6,54	389
2	T-02	3,23	6,49	429
3	T-03	2,60	5,16	331
4	T-04	2,65	5,19	304
5	T-05	2,75	5,93	309
6	T-06	2,55	5,18	318
7	T-07	3,01	6,24	416
8	T-08	2,83	5,31	309
9	T-09	2,71	5,03	292
10	T-10	2,57	5,45	304

Análisis estadístico ensayo a compresión en sentido X. Fuente: Autor

VALOR	Esf. Máx. (MPa)	Módulo de elástico (MPa)
Promedio:	5,65	340,1
Desviación estándar:	0,59	51,1
Coefficiente de variación	10,4%	15%
<u>Valor característico</u>	<u>4,57</u>	<u>251,1</u>

MUESTRA No.: T-01

Área de contacto:

e= 31,82 mm
 h = 15,93 mm
 Área = 506,89 mm²

Log. Ext. Inicial = 150 mmPmax = 3,32 kNVel. = 3 mm/s

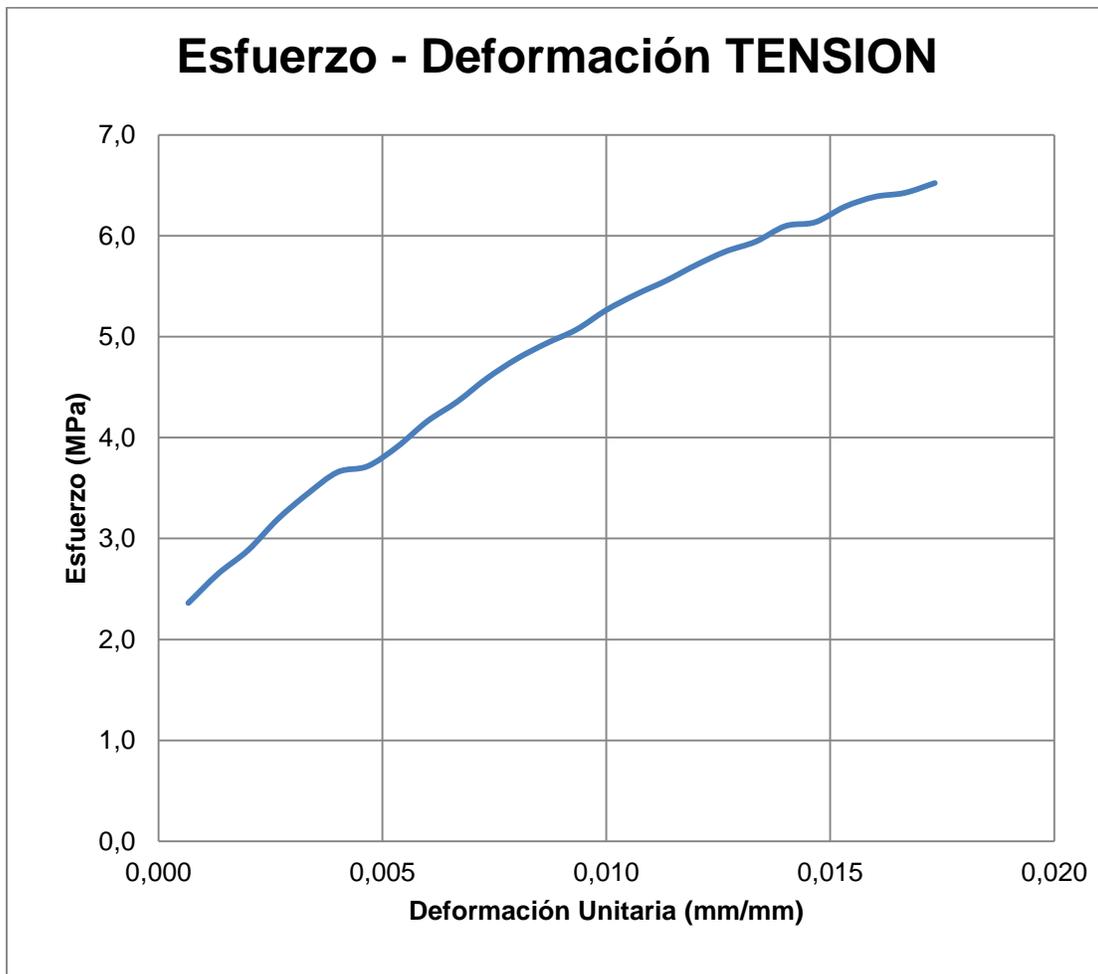
Resistencia a Tracción = 6,54 MPa

Modulo elástico = 290,30 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	1,197	0,1	0,00067	2,361	
2	1,344	0,2	0,00133	2,651	435,45
3	1,462	0,3	0,00200	2,884	348,36
4	1,619	0,4	0,00267	3,193	464,48
5	1,746	0,5	0,00333	3,445	377,39
6	1,854	0,6	0,00400	3,658	319,33
7	1,884	0,7	0,00467	3,716	87,09
8	1,982	0,8	0,00533	3,909	290,30
9	2,109	0,9	0,00600	4,161	377,39
10	2,207	1	0,00667	4,354	290,30
11	2,325	1,1	0,00733	4,587	348,36
12	2,423	1,2	0,00800	4,780	290,30
13	2,502	1,3	0,00867	4,935	232,24
14	2,570	1,4	0,00933	5,071	203,21
15	2,668	1,5	0,01000	5,264	290,30
16	2,747	1,6	0,01067	5,419	232,24
17	2,815	1,7	0,01133	5,554	203,21
18	2,894	1,8	0,01200	5,709	232,24
19	2,963	1,9	0,01267	5,845	203,21
20	3,012	2	0,01333	5,941	145,15
21	3,090	2,1	0,01400	6,096	232,24
22	3,110	2,2	0,01467	6,135	58,06
23	3,188	2,3	0,01533	6,290	232,24
24	3,237	2,4	0,01600	6,387	145,15
25	3,257	2,5	0,01667	6,425	58,06

26	3,306	2,6	0,01733	6,522	145,15
----	-------	-----	---------	-------	--------

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-01



MUESTRA No.: T-02

Área de contacto:

e= 32,36 mm
 h = 15,37 mm
 Área = 497,37 mm²

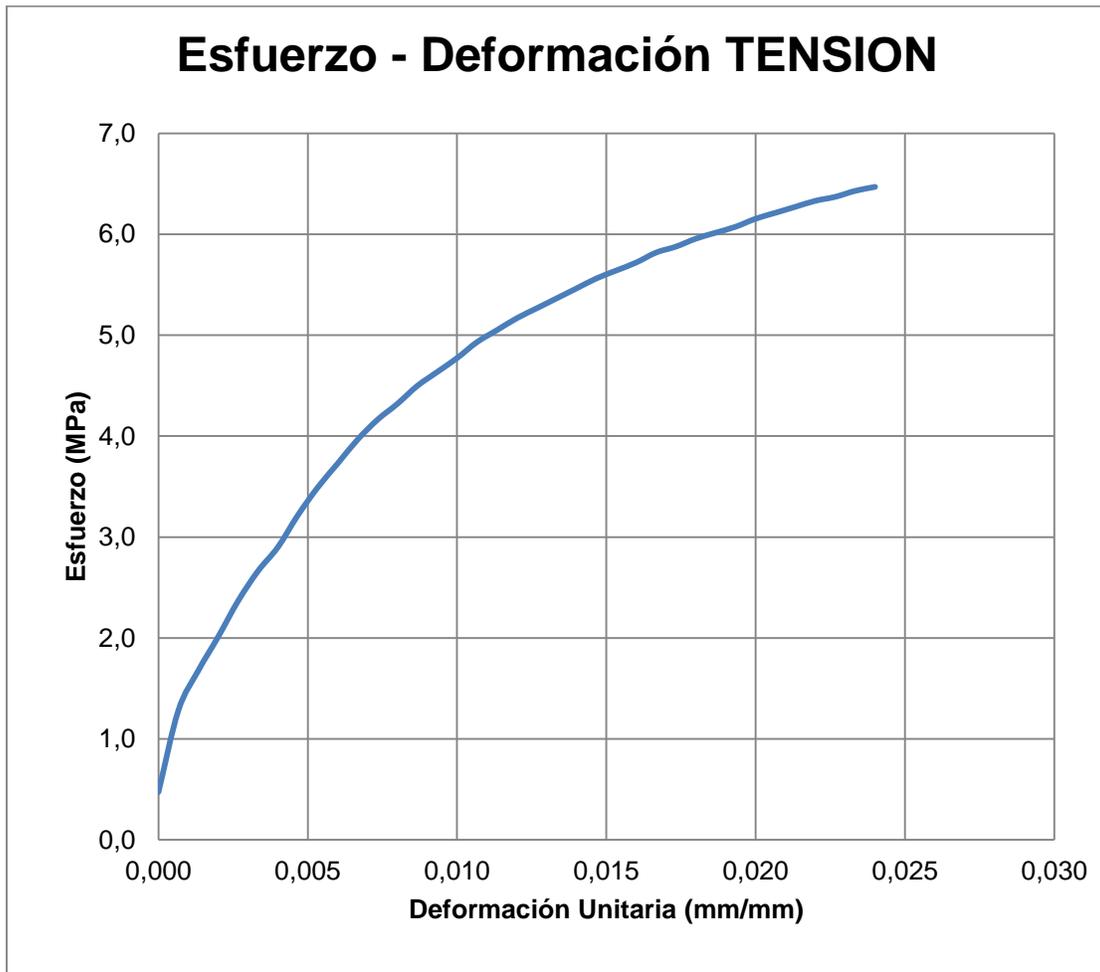
Log. Ext. Inicial = 150 mmPmax = 3,23 kNVel.= 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 6,49 MPa

Módulo elástico = 364,89 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,235	0	0,00000	0,473	
2	0,638	0,1	0,00067	1,282	1213,00
3	0,834	0,2	0,00133	1,677	591,71
4	1,001	0,3	0,00200	2,012	502,95
5	1,177	0,4	0,00267	2,367	532,54
6	1,324	0,5	0,00333	2,663	443,78
7	1,442	0,6	0,00400	2,899	355,03
8	1,599	0,7	0,00467	3,215	473,37
9	1,736	0,8	0,00533	3,491	414,20
10	1,854	0,9	0,00600	3,728	355,03
11	1,972	1	0,00667	3,964	355,03
12	2,070	1,1	0,00733	4,162	295,85
13	2,148	1,2	0,00800	4,319	236,68
14	2,237	1,3	0,00867	4,497	266,27
15	2,305	1,4	0,00933	4,635	207,10
16	2,374	1,5	0,01000	4,773	207,10
17	2,453	1,6	0,01067	4,931	236,68
18	2,511	1,7	0,01133	5,049	177,51
19	2,570	1,8	0,01200	5,168	177,51
20	2,619	1,9	0,01267	5,266	147,93
21	2,668	2	0,01333	5,365	147,93
22	2,717	2,1	0,01400	5,463	147,93
23	2,766	2,2	0,01467	5,562	147,93
24	2,806	2,3	0,01533	5,641	118,34
25	2,845	2,4	0,01600	5,720	118,34
26	2,894	2,5	0,01667	5,818	147,93
27	2,923	2,6	0,01733	5,878	88,76
28	2,963	2,7	0,01800	5,957	118,34
29	2,992	2,8	0,01867	6,016	88,76
30	3,021	2,9	0,01933	6,075	88,76
31	3,061	3	0,02000	6,154	118,34
32	3,090	3,1	0,02067	6,213	88,76
33	3,120	3,2	0,02133	6,272	88,76
34	3,149	3,3	0,02200	6,331	88,76
35	3,169	3,4	0,02267	6,371	59,17
36	3,198	3,5	0,02333	6,430	88,76
37	3,218	3,6	0,02400	6,469	59,17

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-02



MUESTRA No.: T-03

Área de contacto:

e= 32,42 mm

h = 15,54 mm

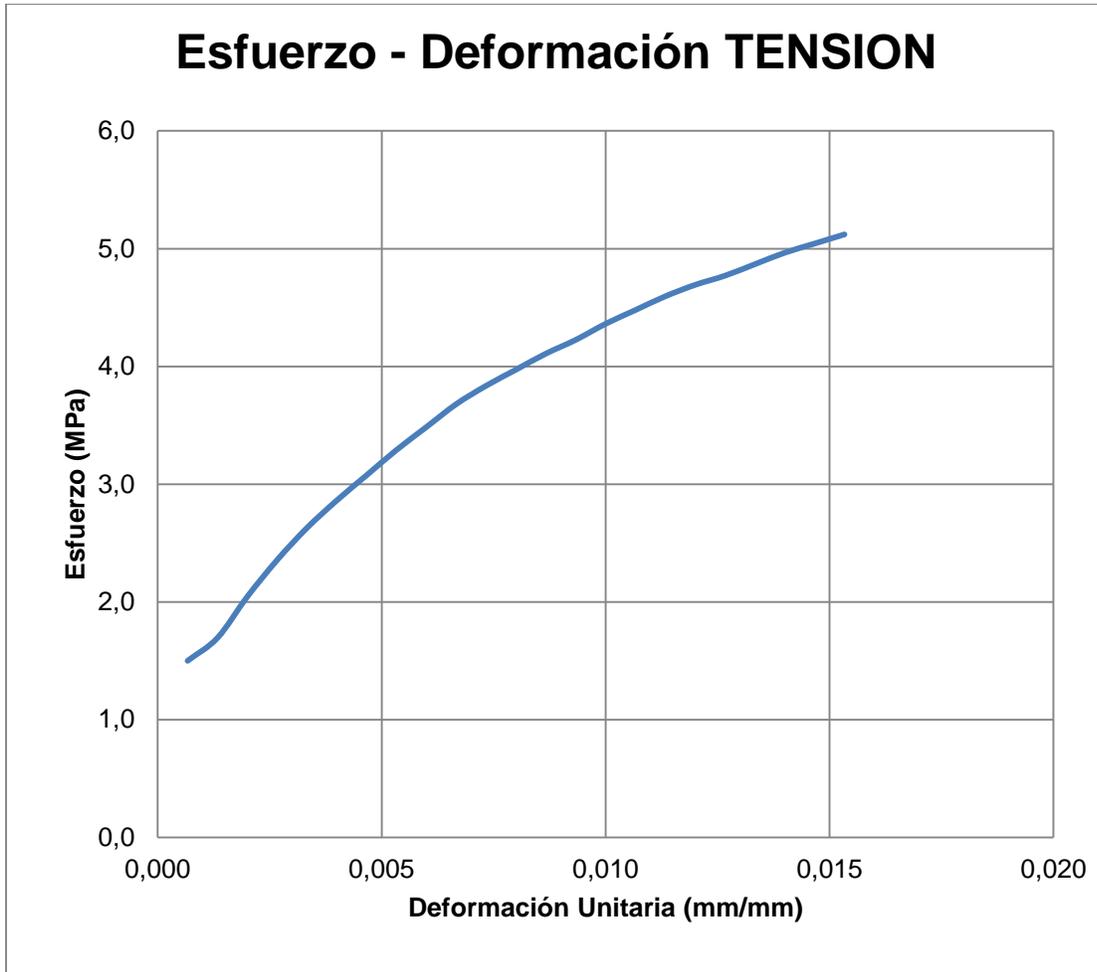
Área = 503,81 mm²Log. Ext. Inicial = 150 mmPmax = 2,60 kNVel. = 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,16 MPa

Módulo elástico = 316,42 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,755	0,1	0,00067	1,499	
2	0,853	0,2	0,00133	1,694	292,08
3	1,030	0,3	0,00200	2,045	525,74
4	1,187	0,4	0,00267	2,356	467,32
5	1,324	0,5	0,00333	2,629	408,91
6	1,442	0,6	0,00400	2,862	350,49
7	1,550	0,7	0,00467	3,077	321,28
8	1,658	0,8	0,00533	3,291	321,28
9	1,756	0,9	0,00600	3,485	292,08
10	1,854	1	0,00667	3,680	292,08
11	1,933	1,1	0,00733	3,836	233,66
12	2,001	1,2	0,00800	3,972	204,45
13	2,070	1,3	0,00867	4,109	204,45
14	2,129	1,4	0,00933	4,225	175,25
15	2,197	1,5	0,01000	4,362	204,45
16	2,256	1,6	0,01067	4,479	175,25
17	2,315	1,7	0,01133	4,595	175,25
18	2,364	1,8	0,01200	4,693	146,04
19	2,403	1,9	0,01267	4,771	116,83
20	2,453	2	0,01333	4,868	146,04
21	2,502	2,1	0,01400	4,965	146,04
22	2,541	2,2	0,01467	5,043	116,83
23	2,580	2,3	0,01533	5,121	116,83

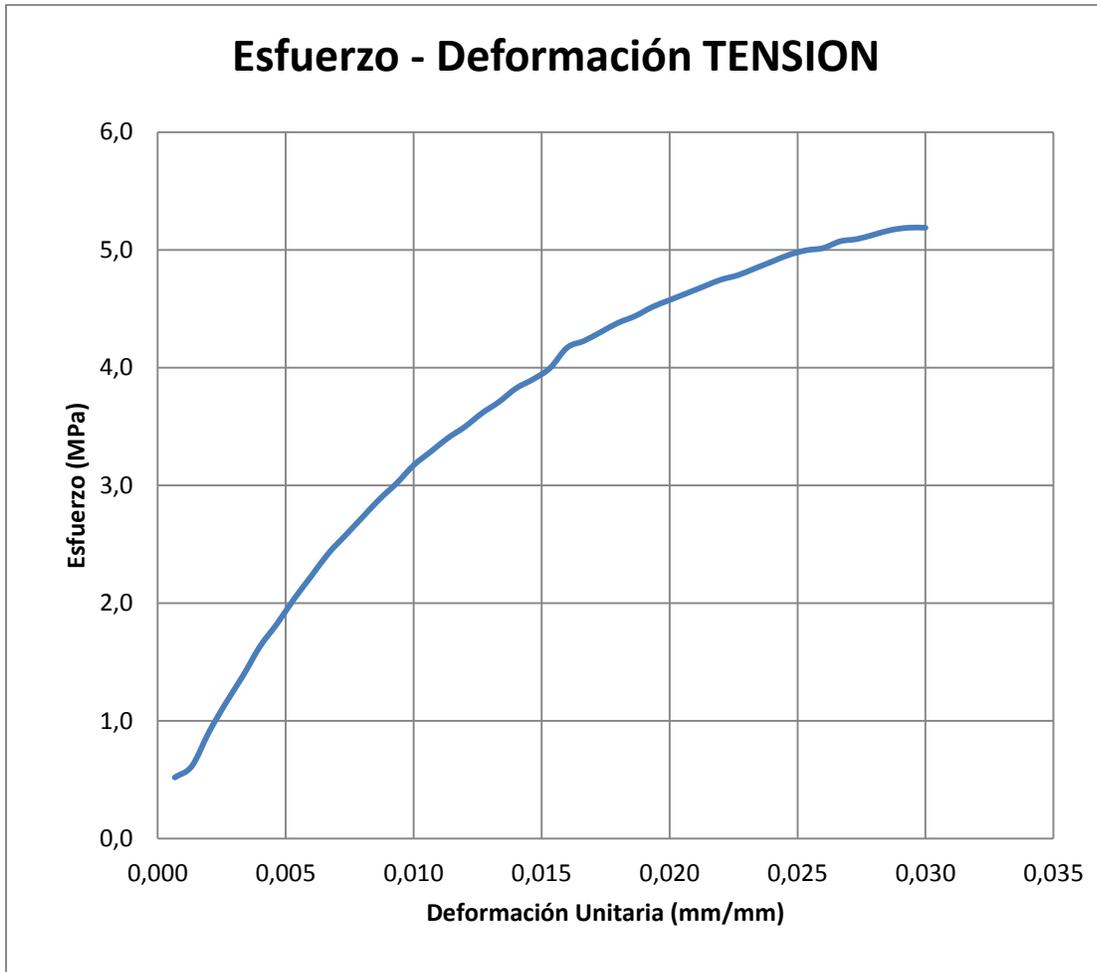
Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-03



MUESTRA No.: T-04
Área de contacto:
 e= 31,4 mm
 h = 16,26 mm
 Área = 510,56 mm²
Log. Ext. Inicial = 150 mm
Pmax = 2,65 kN
Vel.= 3 mm/seg
Resistencia a Tracción = 5,19 MPa
Módulo elástico = 300,22 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,265	0,1	0,00067	0,519	
2	0,314	0,2	0,00133	0,615	144,11
3	0,461	0,3	0,00200	0,903	432,32
4	0,589	0,4	0,00267	1,153	374,67
5	0,706	0,5	0,00333	1,383	345,85
6	0,834	0,6	0,00400	1,633	374,67
7	0,932	0,7	0,00467	1,825	288,21
8	1,040	0,8	0,00533	2,037	317,03
9	1,138	0,9	0,00600	2,229	288,21
10	1,236	1	0,00667	2,421	288,21
11	1,315	1,1	0,00733	2,575	230,57
12	1,393	1,2	0,00800	2,728	230,57
13	1,472	1,3	0,00867	2,882	230,57
14	1,540	1,4	0,00933	3,017	201,75
15	1,619	1,5	0,01000	3,170	230,57
16	1,678	1,6	0,01067	3,286	172,93
17	1,736	1,7	0,01133	3,401	172,93
18	1,785	1,8	0,01200	3,497	144,11
19	1,844	1,9	0,01267	3,612	172,93
20	1,893	2	0,01333	3,708	144,11
21	1,952	2,1	0,01400	3,824	172,93
22	1,991	2,2	0,01467	3,900	115,28
23	2,040	2,3	0,01533	3,997	144,11
24	2,129	2,4	0,01600	4,169	259,39
25	2,158	2,5	0,01667	4,227	86,46
26	2,197	2,6	0,01733	4,304	115,28
27	2,237	2,7	0,01800	4,381	115,28
28	2,266	2,8	0,01867	4,438	86,46
29	2,305	2,9	0,01933	4,515	115,28
30	2,335	3	0,02000	4,573	86,46
31	2,364	3,1	0,02067	4,631	86,46
32	2,394	3,2	0,02133	4,688	86,46
33	2,423	3,3	0,02200	4,746	86,46
34	2,443	3,4	0,02267	4,784	57,64
35	2,472	3,5	0,02333	4,842	86,46
36	2,502	3,6	0,02400	4,900	86,46
37	2,531	3,7	0,02467	4,957	86,46
38	2,551	3,8	0,02533	4,996	57,64
39	2,560	3,9	0,02600	5,015	28,82
40	2,590	4	0,02667	5,073	86,46
41	2,600	4,1	0,02733	5,092	28,82
42	2,619	4,2	0,02800	5,130	57,64
43	2,639	4,3	0,02867	5,169	57,64
44	2,649	4,4	0,02933	5,188	28,82
45	2,649	4,5	0,03000	5,188	0,00

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-04



MUESTRA No.: T-05

Área de contacto:

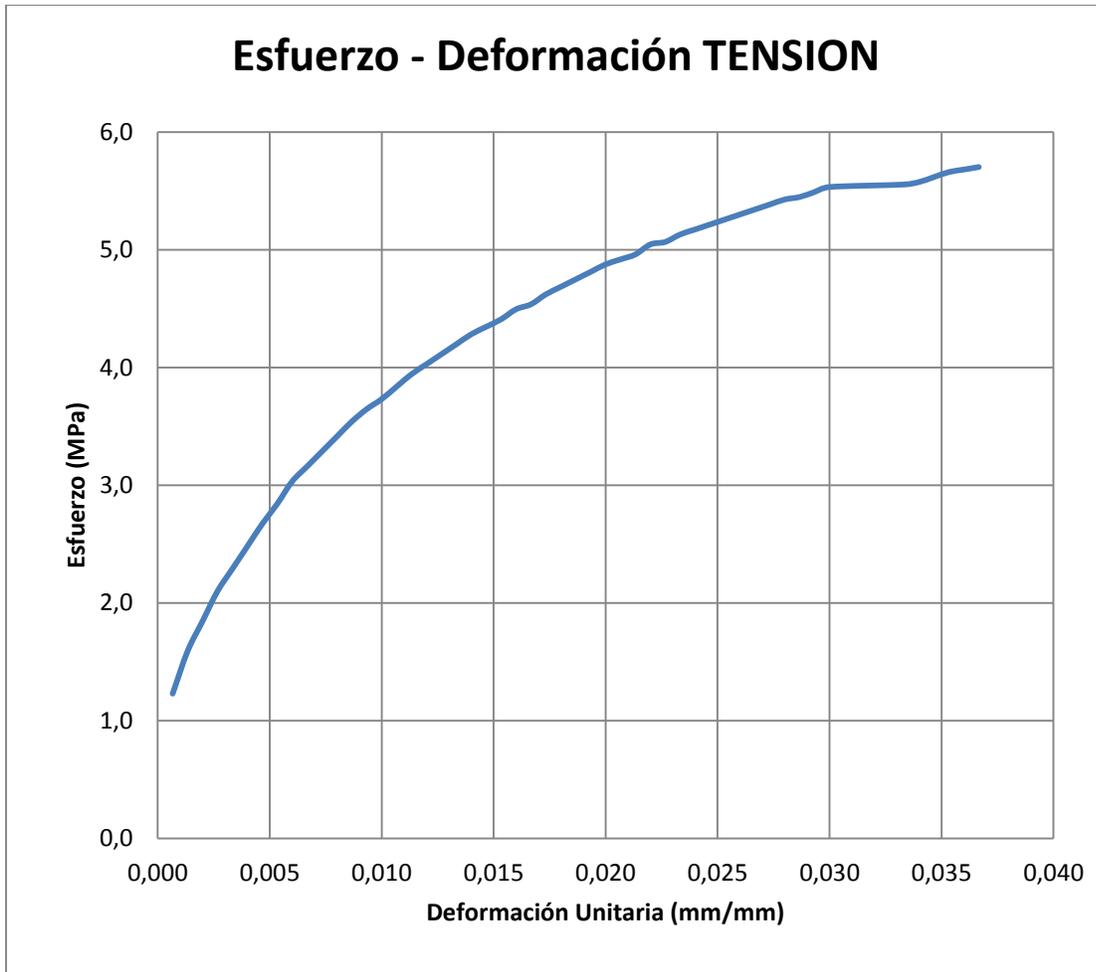
e= 31,57 mm
 h = 14,66 mm
 Área = 462,82 mm²

Log. Ext. Inicial = 150 mm
 Pmax = 2,75 kN
 Vel.= 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,93 MPa
 Módulo elástico = 273,43 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,569	0,1	0,00067	1,229	
2	0,736	0,2	0,00133	1,590	540,51
3	0,853	0,3	0,00200	1,844	381,53
4	0,971	0,4	0,00267	2,098	381,53
5	1,059	0,5	0,00333	2,289	286,15
6	1,148	0,6	0,00400	2,480	286,15
7	1,236	0,7	0,00467	2,671	286,15
8	1,315	0,8	0,00533	2,840	254,36
9	1,403	0,9	0,00600	3,031	286,15
10	1,462	1	0,00667	3,158	190,77
11	1,521	1,1	0,00733	3,285	190,77
12	1,579	1,2	0,00800	3,413	190,77
13	1,638	1,3	0,00867	3,540	190,77
14	1,687	1,4	0,00933	3,646	158,97
15	1,727	1,5	0,01000	3,731	127,18
16	1,776	1,6	0,01067	3,837	158,97
17	1,825	1,7	0,01133	3,943	158,97
18	1,864	1,8	0,01200	4,027	127,18
19	1,903	1,9	0,01267	4,112	127,18
20	1,942	2	0,01333	4,197	127,18
21	1,982	2,1	0,01400	4,282	127,18
22	2,011	2,2	0,01467	4,345	95,38
23	2,040	2,3	0,01533	4,409	95,38
24	2,080	2,4	0,01600	4,494	127,18
25	2,099	2,5	0,01667	4,536	63,59
26	2,139	2,6	0,01733	4,621	127,18
27	2,168	2,7	0,01800	4,684	95,38
28	2,197	2,8	0,01867	4,748	95,38
29	2,227	2,9	0,01933	4,812	95,38
30	2,256	3	0,02000	4,875	95,38
31	2,276	3,1	0,02067	4,918	63,59
32	2,296	3,2	0,02133	4,960	63,59
33	2,335	3,3	0,02200	5,045	127,18
34	2,345	3,4	0,02267	5,066	31,79
35	2,374	3,5	0,02333	5,130	95,38
36	2,394	3,6	0,02400	5,172	63,59
37	2,413	3,7	0,02467	5,214	63,59
38	2,433	3,8	0,02533	5,257	63,59
39	2,453	3,9	0,02600	5,299	63,59
40	2,472	4	0,02667	5,341	63,59
41	2,492	4,1	0,02733	5,384	63,59
42	2,511	4,2	0,02800	5,426	63,59
43	2,521	4,3	0,02867	5,447	31,79
44	2,541	4,4	0,02933	5,490	63,59
45	2,560	4,5	0,03000	5,532	63,59
46	2,570	5	0,03333	5,553	6,36
47	2,580	5,1	0,03400	5,575	31,79
48	2,600	5,2	0,03467	5,617	63,59
49	2,619	5,3	0,03533	5,659	63,59
50	2,629	5,4	0,03600	5,681	31,79
51	2,639	5,5	0,03667	5,702	31,79

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-05



MUESTRA No.: T-06

Área de contacto:

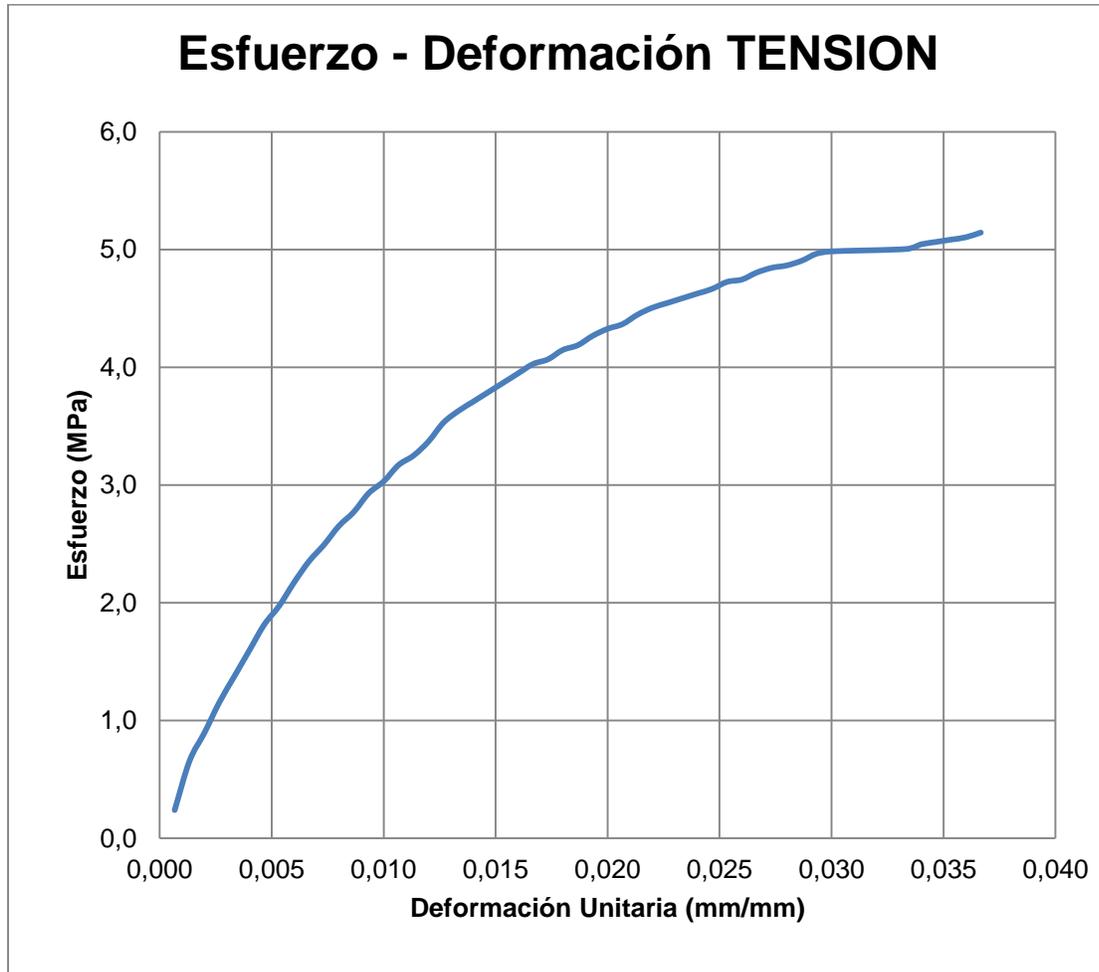
e= 31,74 mm
 h = 15,5 mm
 Área = 491,97 mm²

Log. Ext. Inicial = 150 mm
 Pmax = 2,55 kN
 Vel.= 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,18 MPa
 Módulo elástico = 299,10 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,118	0,1	0,00067	0,239	
2	0,324	0,2	0,00133	0,658	628,12
3	0,441	0,3	0,00200	0,897	358,92
4	0,569	0,4	0,00267	1,157	388,83
5	0,677	0,5	0,00333	1,376	329,01
6	0,785	0,6	0,00400	1,595	329,01
7	0,893	0,7	0,00467	1,815	329,01
8	0,971	0,8	0,00533	1,974	239,28
9	1,069	0,9	0,00600	2,173	299,10
10	1,158	1	0,00667	2,353	269,19
11	1,226	1,1	0,00733	2,493	209,37
12	1,305	1,2	0,00800	2,652	239,28
13	1,364	1,3	0,00867	2,772	179,46
14	1,442	1,4	0,00933	2,931	239,28
15	1,491	1,5	0,01000	3,031	149,55
16	1,560	1,6	0,01067	3,170	209,37
17	1,599	1,7	0,01133	3,250	119,64
18	1,658	1,8	0,01200	3,370	179,46
19	1,736	1,9	0,01267	3,529	239,28
20	1,785	2	0,01333	3,629	149,55
21	1,825	2,1	0,01400	3,709	119,64
22	1,864	2,2	0,01467	3,789	119,64
23	1,903	2,3	0,01533	3,868	119,64
24	1,942	2,4	0,01600	3,948	119,64
25	1,982	2,5	0,01667	4,028	119,64
26	2,001	2,6	0,01733	4,068	59,82
27	2,040	2,7	0,01800	4,148	119,64
28	2,060	2,8	0,01867	4,187	59,82
29	2,099	2,9	0,01933	4,267	119,64
30	2,129	3	0,02000	4,327	89,73
31	2,148	3,1	0,02067	4,367	59,82
32	2,188	3,2	0,02133	4,447	119,64
33	2,217	3,3	0,02200	4,506	89,73
34	2,237	3,4	0,02267	4,546	59,82
35	2,256	3,5	0,02333	4,586	59,82
36	2,276	3,6	0,02400	4,626	59,82
37	2,296	3,7	0,02467	4,666	59,82
38	2,325	3,8	0,02533	4,726	89,73
39	2,335	3,9	0,02600	4,746	29,91
40	2,364	4	0,02667	4,806	89,73
41	2,384	4,1	0,02733	4,845	59,82
42	2,394	4,2	0,02800	4,865	29,91
43	2,413	4,3	0,02867	4,905	59,82
44	2,443	4,4	0,02933	4,965	89,73
45	2,453	4,5	0,03000	4,985	29,91
46	2,462	5	0,03333	5,005	5,98
47	2,482	5,1	0,03400	5,045	59,82
48	2,492	5,2	0,03467	5,065	29,91
49	2,502	5,3	0,03533	5,085	29,91
50	2,511	5,4	0,03600	5,105	29,91
51	2,531	5,5	0,03667	5,145	59,82

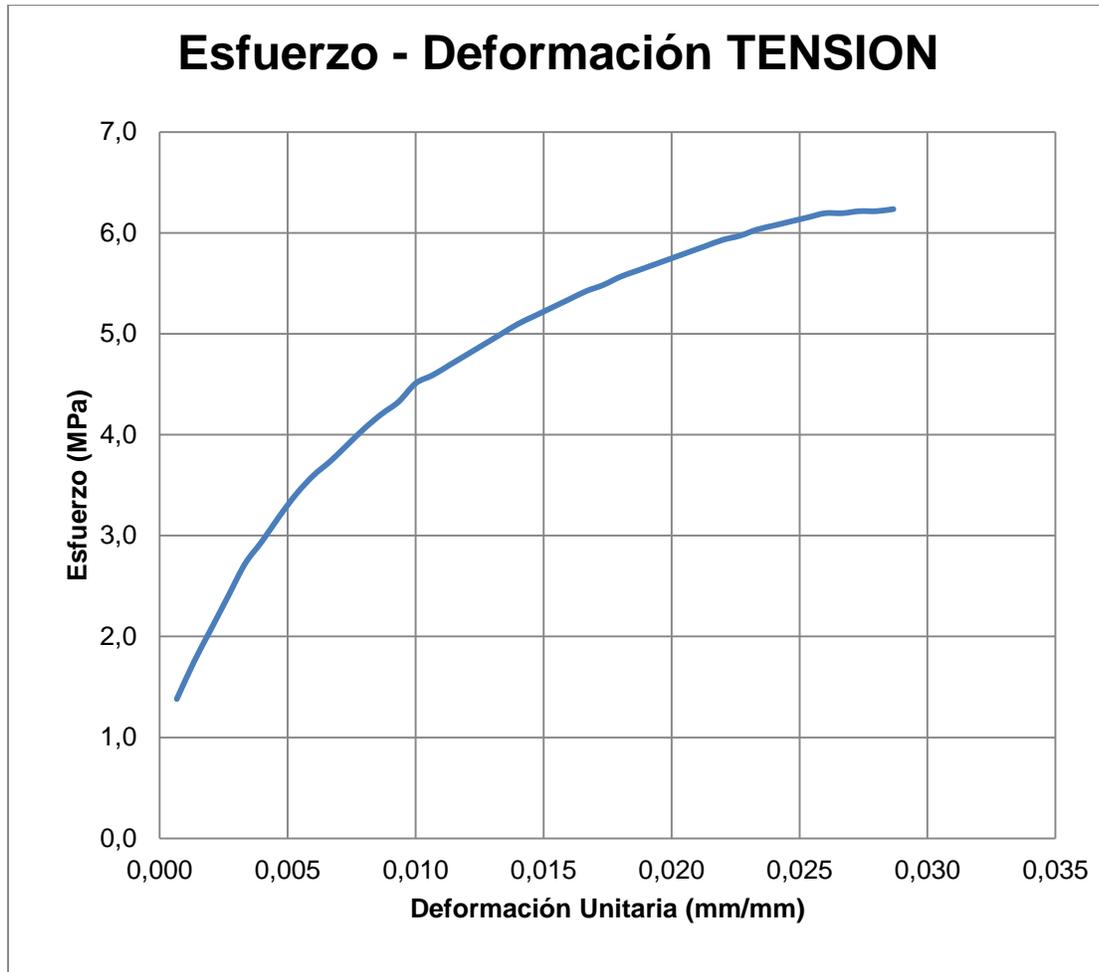
Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-06



MUESTRA No.: T-07
Área de contacto:
 e= 31,84 mm
 h = 15,17 mm
 Área = 483,01 mm²
Log. Ext. Inicial = 150 mm
Pmax = 3,01 kN
Vel. = 3 mm/seg
Resistencia a Tracción = 6,24 MPa
Módulo elástico = 347,30 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,667	0,1	0,00067	1,381	
2	0,844	0,2	0,00133	1,747	548,37
3	1,001	0,3	0,00200	2,072	487,44
4	1,158	0,4	0,00267	2,397	487,44
5	1,315	0,5	0,00333	2,722	487,44
6	1,422	0,6	0,00400	2,945	335,12
7	1,540	0,7	0,00467	3,189	365,58
8	1,648	0,8	0,00533	3,412	335,12
9	1,736	0,9	0,00600	3,595	274,19
10	1,805	1	0,00667	3,737	213,26
11	1,884	1,1	0,00733	3,900	243,72
12	1,962	1,2	0,00800	4,062	243,72
13	2,031	1,3	0,00867	4,204	213,26
14	2,090	1,4	0,00933	4,326	182,79
15	2,178	1,5	0,01000	4,509	274,19
16	2,217	1,6	0,01067	4,590	121,86
17	2,266	1,7	0,01133	4,692	152,33
18	2,315	1,8	0,01200	4,793	152,33
19	2,364	1,9	0,01267	4,895	152,33
20	2,413	2	0,01333	4,996	152,33
21	2,462	2,1	0,01400	5,098	152,33
22	2,502	2,2	0,01467	5,179	121,86
23	2,541	2,3	0,01533	5,260	121,86
24	2,580	2,4	0,01600	5,342	121,86
25	2,619	2,5	0,01667	5,423	121,86
26	2,649	2,6	0,01733	5,484	91,40
27	2,688	2,7	0,01800	5,565	121,86
28	2,717	2,8	0,01867	5,626	91,40
29	2,747	2,9	0,01933	5,687	91,40
30	2,776	3	0,02000	5,748	91,40
31	2,806	3,1	0,02067	5,809	91,40
32	2,835	3,2	0,02133	5,870	91,40
33	2,865	3,3	0,02200	5,931	91,40
34	2,884	3,4	0,02267	5,971	60,93
35	2,914	3,5	0,02333	6,032	91,40
36	2,933	3,6	0,02400	6,073	60,93
37	2,953	3,7	0,02467	6,113	60,93
38	2,972	3,8	0,02533	6,154	60,93
39	2,992	3,9	0,02600	6,195	60,93
40	2,992	4	0,02667	6,195	0,00
41	3,002	4,1	0,02733	6,215	30,47
42	3,002	4,2	0,02800	6,215	0,00
43	3,012	4,3	0,02867	6,235	30,47

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-07



MUESTRA No.: T-08

Área de contacto:

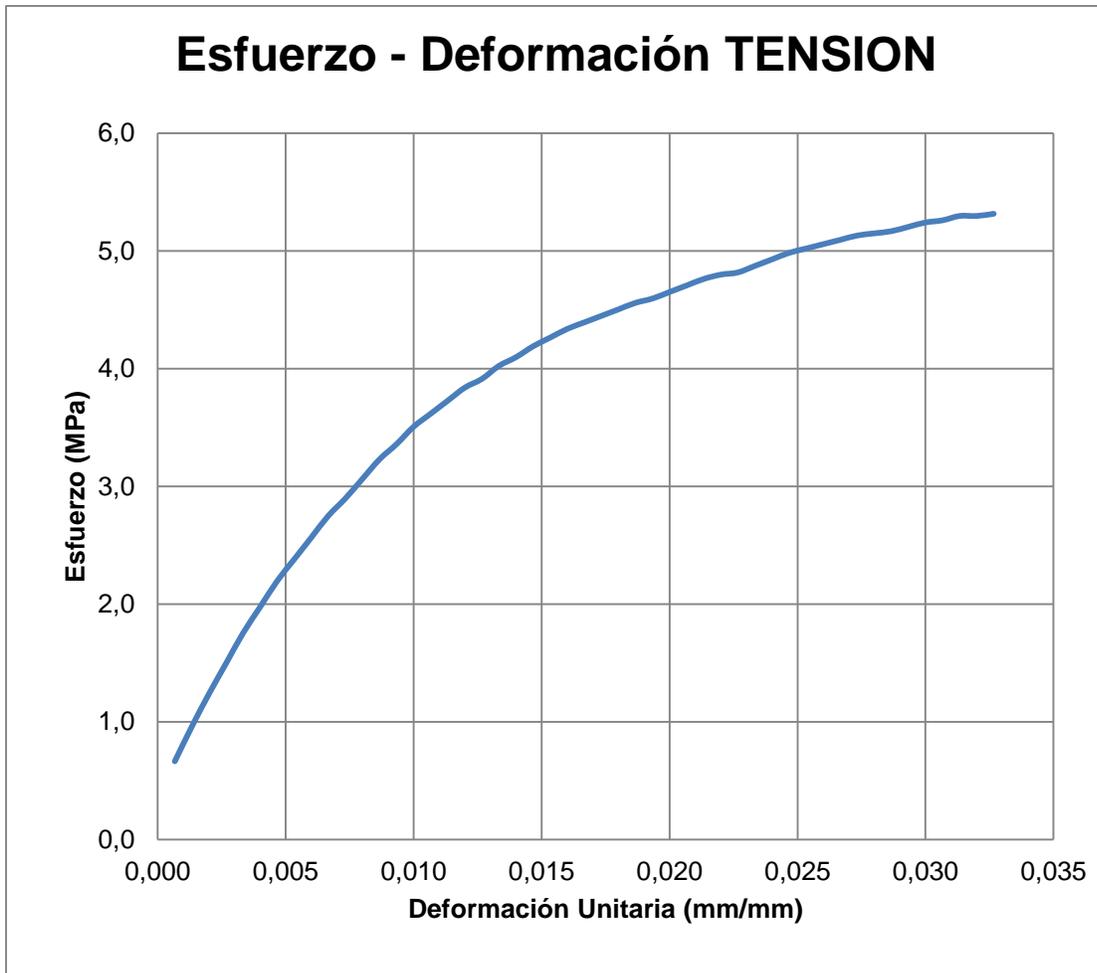
e= 31,7 mm
 h = 16,77 mm
 Área = 531,61 mm²

Log. Ext. Inicial = 150 mm
Pmax = 2,83 kN
Vel.= 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,31 MPa
Módulo elástico = 315,55 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,353	0,1	0,00067	0,664	
2	0,510	0,2	0,00133	0,960	442,88
3	0,657	0,3	0,00200	1,236	415,20
4	0,795	0,4	0,00267	1,495	387,52
5	0,932	0,5	0,00333	1,753	387,52
6	1,050	0,6	0,00400	1,975	332,16
7	1,167	0,7	0,00467	2,196	332,16
8	1,265	0,8	0,00533	2,380	276,80
9	1,364	0,9	0,00600	2,565	276,80
10	1,462	1	0,00667	2,750	276,80
11	1,540	1,1	0,00733	2,897	221,44
12	1,628	1,2	0,00800	3,063	249,12
13	1,717	1,3	0,00867	3,229	249,12
14	1,785	1,4	0,00933	3,359	193,76
15	1,864	1,5	0,01000	3,506	221,44
16	1,923	1,6	0,01067	3,617	166,08
17	1,982	1,7	0,01133	3,728	166,08
18	2,040	1,8	0,01200	3,838	166,08
19	2,080	1,9	0,01267	3,912	110,72
20	2,139	2	0,01333	4,023	166,08
21	2,178	2,1	0,01400	4,097	110,72
22	2,227	2,2	0,01467	4,189	138,40
23	2,266	2,3	0,01533	4,263	110,72
24	2,305	2,4	0,01600	4,337	110,72
25	2,335	2,5	0,01667	4,392	83,04
26	2,364	2,6	0,01733	4,447	83,04
27	2,394	2,7	0,01800	4,503	83,04
28	2,423	2,8	0,01867	4,558	83,04
29	2,443	2,9	0,01933	4,595	55,36
30	2,472	3	0,02000	4,650	83,04
31	2,502	3,1	0,02067	4,706	83,04
32	2,531	3,2	0,02133	4,761	83,04
33	2,551	3,3	0,02200	4,798	55,36
34	2,560	3,4	0,02267	4,816	27,68
35	2,590	3,5	0,02333	4,872	83,04
36	2,619	3,6	0,02400	4,927	83,04
37	2,649	3,7	0,02467	4,982	83,04
38	2,668	3,8	0,02533	5,019	55,36
39	2,688	3,9	0,02600	5,056	55,36
40	2,708	4	0,02667	5,093	55,36
41	2,727	4,1	0,02733	5,130	55,36
42	2,737	4,2	0,02800	5,149	27,68
43	2,747	4,3	0,02867	5,167	27,68
44	2,766	4,4	0,02933	5,204	55,36
45	2,786	4,5	0,03000	5,241	55,36
46	2,796	4,6	0,03067	5,259	27,68
47	2,815	4,7	0,03133	5,296	55,36
48	2,815	4,8	0,03200	5,296	0,00
49	2,825	4,9	0,03267	5,315	27,68

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-08



MUESTRA No.: T-09

Área de contacto:

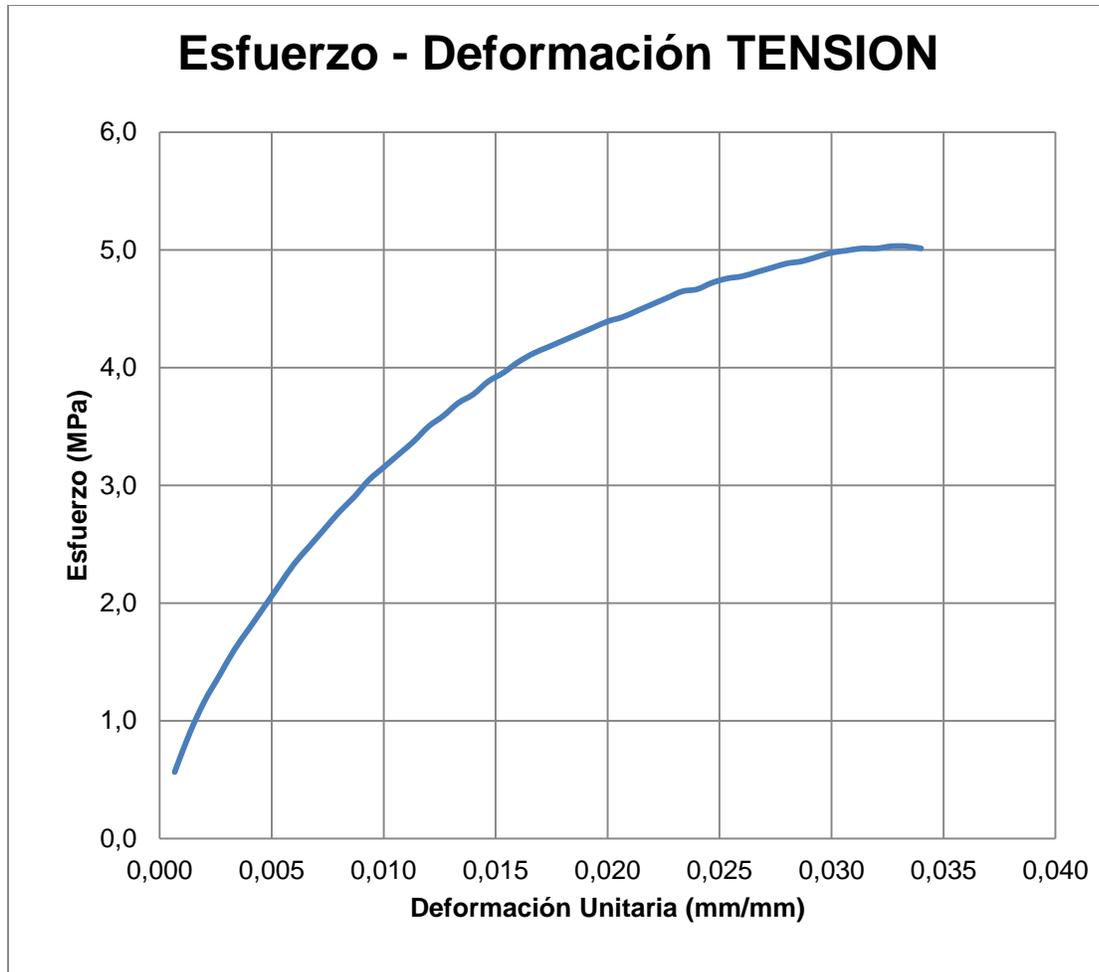
e= 31,85 mm
 h = 16,9 mm
 Área = 538,27 mm²

Log. Ext. Inicial = 150 mm
Pmax = 2,71 kN
Vel. = 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,03 MPa
 Módulo elástico = 281,58 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,304	0,1	0,00067	0,565	
2	0,481	0,2	0,00133	0,893	492,08
3	0,628	0,3	0,00200	1,166	410,07
4	0,746	0,4	0,00267	1,385	328,05
5	0,863	0,5	0,00333	1,604	328,05
6	0,961	0,6	0,00400	1,786	273,38
7	1,059	0,7	0,00467	1,968	273,38
8	1,158	0,8	0,00533	2,151	273,38
9	1,256	0,9	0,00600	2,333	273,38
10	1,334	1	0,00667	2,479	218,70
11	1,413	1,1	0,00733	2,624	218,70
12	1,491	1,2	0,00800	2,770	218,70
13	1,560	1,3	0,00867	2,898	191,36
14	1,638	1,4	0,00933	3,044	218,70
15	1,697	1,5	0,01000	3,153	164,03
16	1,756	1,6	0,01067	3,262	164,03
17	1,815	1,7	0,01133	3,372	164,03
18	1,884	1,8	0,01200	3,499	191,36
19	1,933	1,9	0,01267	3,590	136,69
20	1,991	2	0,01333	3,700	164,03
21	2,031	2,1	0,01400	3,773	109,35
22	2,090	2,2	0,01467	3,882	164,03
23	2,129	2,3	0,01533	3,955	109,35
24	2,178	2,4	0,01600	4,046	136,69
25	2,217	2,5	0,01667	4,119	109,35
26	2,246	2,6	0,01733	4,174	82,01
27	2,276	2,7	0,01800	4,228	82,01
28	2,305	2,8	0,01867	4,283	82,01
29	2,335	2,9	0,01933	4,338	82,01
30	2,364	3	0,02000	4,392	82,01
31	2,384	3,1	0,02067	4,429	54,68
32	2,413	3,2	0,02133	4,483	82,01
33	2,443	3,3	0,02200	4,538	82,01
34	2,472	3,4	0,02267	4,593	82,01
35	2,502	3,5	0,02333	4,647	82,01
36	2,511	3,6	0,02400	4,666	27,34
37	2,541	3,7	0,02467	4,720	82,01
38	2,560	3,8	0,02533	4,757	54,68
39	2,570	3,9	0,02600	4,775	27,34
40	2,590	4	0,02667	4,811	54,68
41	2,609	4,1	0,02733	4,848	54,68
42	2,629	4,2	0,02800	4,884	54,68
43	2,639	4,3	0,02867	4,903	27,34
44	2,659	4,4	0,02933	4,939	54,68
45	2,678	4,5	0,03000	4,975	54,68
46	2,688	4,6	0,03067	4,994	27,34
47	2,698	4,7	0,03133	5,012	27,34
48	2,698	4,8	0,03200	5,012	0,00
49	2,708	4,9	0,03267	5,030	27,34
50	2,708	5	0,03333	5,030	0,00
51	2,698	5,1	0,03400	5,012	-27,34

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-09



MUESTRA No.: T-10

Área de contacto:

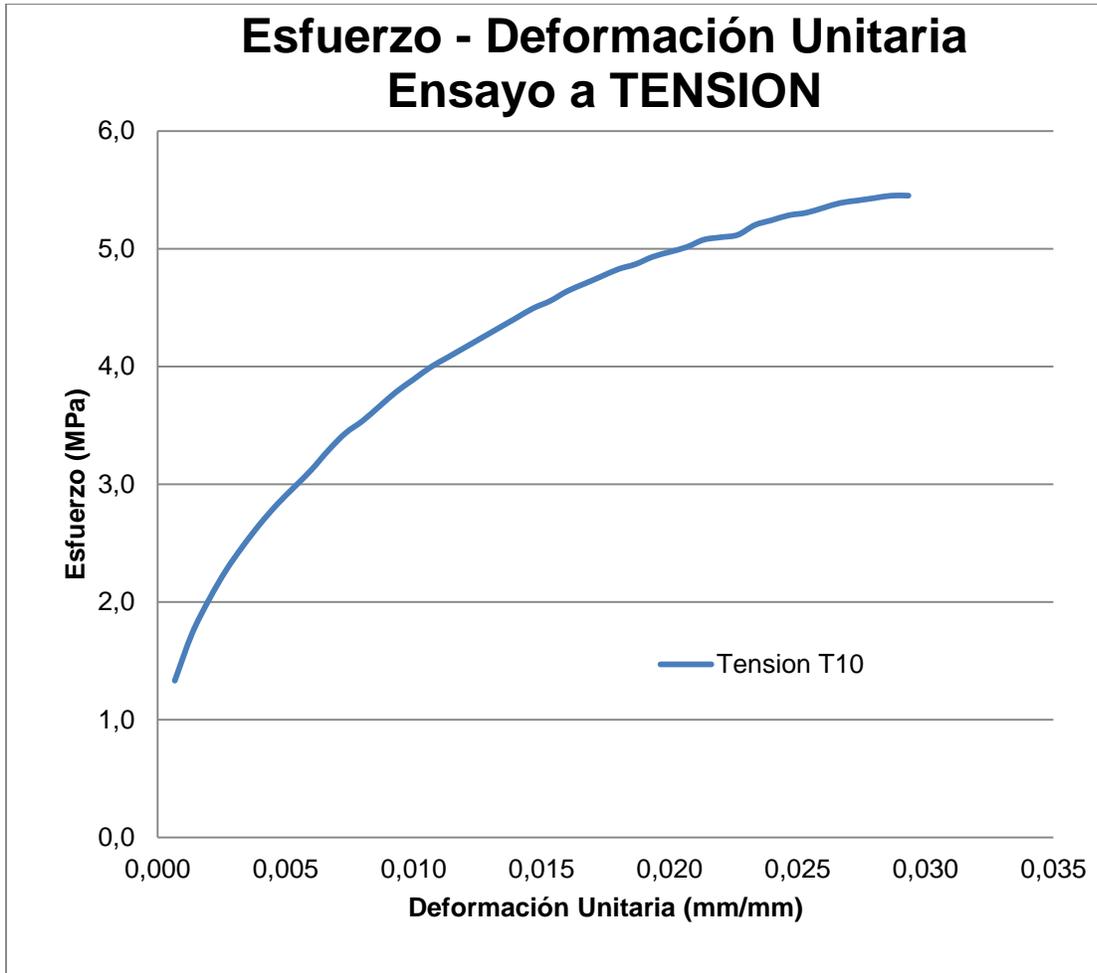
e= 32,21 mm
 h = 14,64 mm
 Área = 471,55 mm²

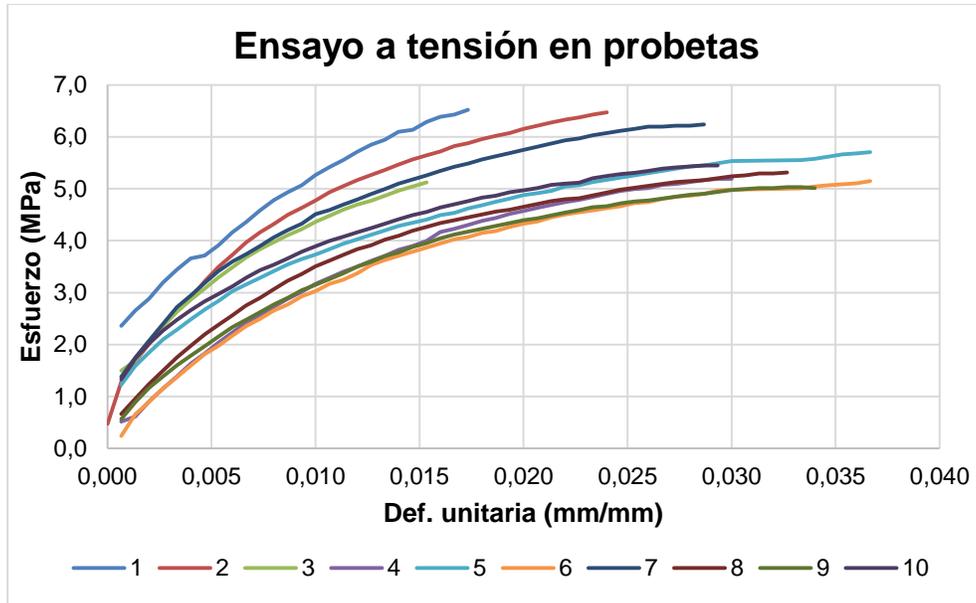
Log. Ext. Inicial = 150 mm
 Pmax = 2,57 kN
 Vel.= 3 mm/seg

Resistencia a Tracción = 5,45 MPa
 Modulo elástico = 271,49 MPa

n	Carga (kN)	Def. (mm)	(Long)	Esfuerzo (MPa)	E (MPa)
1	0,628	0,1	0,00067	1,331	
2	0,814	0,2	0,00133	1,727	592,90
3	0,952	0,3	0,00200	2,018	436,87
4	1,069	0,4	0,00267	2,268	374,46
5	1,167	0,5	0,00333	2,476	312,05
6	1,256	0,6	0,00400	2,663	280,85
7	1,334	0,7	0,00467	2,829	249,64
8	1,403	0,8	0,00533	2,975	218,44
9	1,472	0,9	0,00600	3,121	218,44
10	1,550	1	0,00667	3,287	249,64
11	1,619	1,1	0,00733	3,433	218,44
12	1,668	1,2	0,00800	3,537	156,03
13	1,727	1,3	0,00867	3,661	187,23
14	1,785	1,4	0,00933	3,786	187,23
15	1,834	1,5	0,01000	3,890	156,03
16	1,884	1,6	0,01067	3,994	156,03
17	1,923	1,7	0,01133	4,077	124,82
18	1,962	1,8	0,01200	4,161	124,82
19	2,001	1,9	0,01267	4,244	124,82
20	2,040	2	0,01333	4,327	124,82
21	2,080	2,1	0,01400	4,410	124,82
22	2,119	2,2	0,01467	4,494	124,82
23	2,148	2,3	0,01533	4,556	93,62
24	2,188	2,4	0,01600	4,639	124,82
25	2,217	2,5	0,01667	4,702	93,62
26	2,246	2,6	0,01733	4,764	93,62
27	2,276	2,7	0,01800	4,826	93,62
28	2,296	2,8	0,01867	4,868	62,41
29	2,325	2,9	0,01933	4,930	93,62
30	2,345	3	0,02000	4,972	62,41
31	2,364	3,1	0,02067	5,014	62,41
32	2,394	3,2	0,02133	5,076	93,62
33	2,403	3,3	0,02200	5,097	31,21
34	2,413	3,4	0,02267	5,118	31,21
35	2,453	3,5	0,02333	5,201	124,82
36	2,472	3,6	0,02400	5,242	62,41
37	2,492	3,7	0,02467	5,284	62,41
38	2,502	3,8	0,02533	5,305	31,21
39	2,521	3,9	0,02600	5,347	62,41
40	2,541	4	0,02667	5,388	62,41
41	2,551	4,1	0,02733	5,409	31,21
42	2,560	4,2	0,02800	5,430	31,21
43	2,570	4,3	0,02867	5,451	31,21
44	2,570	4,4	0,02933	5,451	0,00

Comportamiento durante ensayo a tensión de muestra T-10





C. Anexo: Resultados de ensayos a cortante en muestras

- Metodología con punzón 1:

Resultado y especificaciones de muestras en ensayo a cortante metodología de punzón

1

MUESTRA No.:	CT-1 A	Vensayo :	1	mm/min
e lamina=	1,83 cm	Dirección:	2	
D Punzón =	1,27 cm	Pmáx.:	5,75	kN
Área =	7,30 cm ²	σ máx.:	7,88	MPa

MUESTRA No.:	CT-2 A	Vensayo :	1	mm/min
e lamina=	1,82 cm	Dirección:	2	
D Punzón =	1,27 cm	Pmáx.:	5,55	kN
Área =	7,28 cm ²	σ máx.:	7,63	MPa

MUESTRA No.:	CT-3 A	Vensayo :	1	mm/min
e lamina=	1,86 cm	Dirección:	2	
D Punzón =	1,27 cm	Pmáx.:	5,20	kN
Área =	7,41 cm ²	σ Máx.:	7,01	MPa

Resumen de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología de punzón 1

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	σ máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1 A	575	7,88
2	CT-2 A	555	7,63
3	CT-3 A	520	7,01

Análisis estadístico de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología de punzón 1

VALOR	σ máx. (MPa)
Promedio:	7,51
Desviación estándar:	0,443
Coeficiente de variación	5,85%
<u>Valor característico</u>	<u>6,18</u>

- Metodología con sección de bloques:

Resultado y especificaciones de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de bloque

MUESTRA No.:	CT-1 B	Vensayo :	1	mm/min
L =	9,97	cm	Dirección:	3
h secc. = H =	6,866	cm	Pmáx.:	24,90
Área =	68,44	cm ²	σ máx.:	3,64
				MPa

MUESTRA No.:	CT-2 B	Vensayo :	1	mm/min
L =	10,04	cm	Dirección:	3
h secc. = H =	6,88	cm	Pmáx.:	21,92
Área =	69,08	cm ²	σ máx.:	3,17
				MPa

MUESTRA No.:	CT-3 B	Vensayo :	1	mm/min
L =	10,11	cm	Dirección:	3
h secc. = H =	6,76	cm	Pmáx.:	21,67
Área =	68,35	cm ²	σ máx.:	3,17
				MPa

Resumen de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de bloque

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	σ máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1 B	2490	3,64
2	CT-2 B	2192	3,17
3	CT-3 B	2167	3,17

Análisis estadístico de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de bloque

VALOR	σ máx. (MPa)
Promedio:	3,33
Desviación estándar:	0,269
Coefficiente de variación	8,10%
<u>Valor característico</u>	<u>2,58</u>

- Metodología con sección de aletas de bloques:

Resultado y especificaciones de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de aletas de bloques

MUESTRA No.:	<u>CT-1 C</u>	Vensayo :	<u>1</u> mm/min
Ancho Secc. =	<u>1,82</u> cm	Dirección:	<u>3</u>
h secc. =	<u>3,018</u> cm	Pmáx.:	<u>8,00</u> kN
Área =	<u>5,49</u> cm ²	σ máx.:	<u>14,56</u> MPa
Luz entre apoyos =	<u>3,16</u> cm		

MUESTRA No.:	<u>CT-2 C</u>	Vensayo :	<u>1</u> mm/min
Ancho Secc. =	<u>1,82</u> cm	Dirección:	<u>3</u>
h secc. =	<u>3,018</u> cm	Pmáx.:	<u>9,17</u> kN
Área =	<u>5,49</u> cm ²	σ máx.:	<u>16,69</u> MPa
Luz entre apoyos =	<u>3,38</u> cm		

MUESTRA No.:	<u>CT-3 C</u>	Vensayo :	<u>1</u> mm/min
Ancho Secc. =	<u>1,89</u> cm	Dirección:	<u>3</u>
h secc. =	<u>3,004</u> cm	Pmáx.:	<u>8,68</u> kN
Área =	<u>5,67</u> cm ²	σ máx.:	<u>15,30</u> MPa
Luz entre apoyos =	<u>2,72</u> cm		

Resumen de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de aletas de bloques

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	σ máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1 C	800	14,56
2	CT-2 C	917	16,69
3	CT-3 C	868	15,30

Análisis estadístico de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología con sección de aletas de bloques

VALOR	σ máx. (MPa)
Promedio:	15,52
Desviación estándar:	1,081
Coefficiente de variación:	7,0%
<u>Valor característico</u>	<u>12,42</u>

Los resultados de esta metodología fueron descartadas porque sus resultados no se consideran de cortante puro.

- Metodología escogida,, metodología con punzón:

Resumen de resultado de muestras en ensayo a cortante metodología de punzón 2

Nº Ensayo	Nombre muestra	P máx.	σ máx.
		(kN)	(MPa)
1	CT-1	4,35	7,45
2	CT-2	3,74	6,39
3	CT-3	4,34	7,29
4	CT-4	2,44	4,17
5	CT-5	2,56	4,38
6	CT-6	4,34	7,32
7	CT-7	4,04	6,99
8	CT-8	4,12	6,95
9	CT-9	3,74	6,28
10	CT-10	4,1	6,97

Análisis estadístico de resultado de muestras en ensayo a cortante con punzón
metodología escogida

VALOR	Esf. Máx. (MPa)
Promedio:	6,42
Desviación estándar:	1,19
Coefficiente de variación:	18,5%
<u>Valor Característico</u>	<u>3,90</u>

D. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en bloques Brickarp®

- Resultado de bloques Brickarp® con y sin agujeros ensayados a compresión:

Nº Ensayo	Agujeros	Nombre muestra	P máx.	σ máx.
			(kN)	(MPa)
1	Con agujeros	CB-1	261,5	8,23
2	Con agujeros	CB-2	212,5	6,67
3	Con agujeros	CB-3	261,8	8,32
4	Con agujeros	CB-4	134,2	4,22
5	Con agujeros	CB-5	178,1	5,58
6	Sin agujeros	CB-6	144,5	4,52
7	Sin agujeros	CB-7	178,0	5,59
8	Sin agujeros	CB-8	154,0	4,80
9	Sin agujeros	CB-9	151,9	4,74
10	Sin agujeros	CB-10	141,1	4,42

- Análisis estadístico de los bloques con agujeros

Muestra Con agujeros

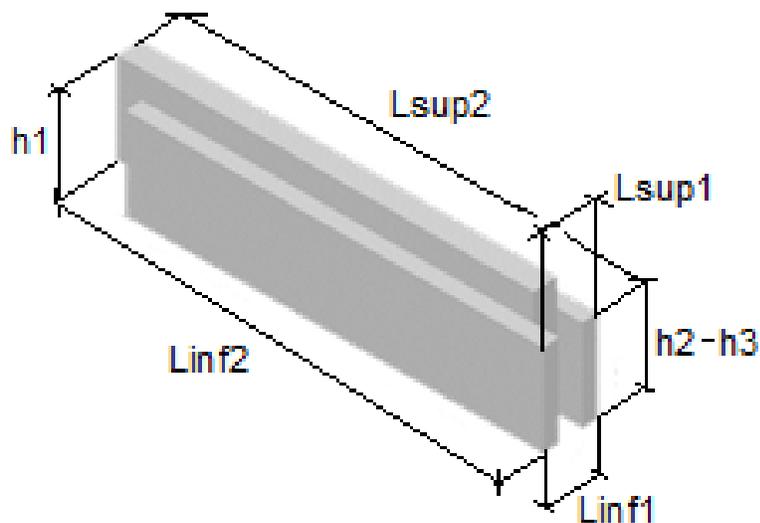
VALOR	$\sigma_{\text{máx.}}$ (MPa)
Promedio:	6,60
Desviación estándar:	1,757
Coefficiente de variación	26,5%
<u>Valor característico</u>	<u>3,15</u>

- Análisis estadístico de los bloques sin agujeros

Muestra Sin agujeros

VALOR	$\sigma_{\text{máx.}}$ (MPa)
Promedio:	4,82
Desviación estándar:	0,461
Coefficiente de variación	9,5%
<u>Valor característico</u>	<u>3,85</u>

- Para los ensayos se tomaron medidas de los bloques según la siguiente imagen:



Siendo la medida de h_3 , la misma que h_2 pero en el extremo opuesto del bloque.

- Ensayo a muestra CB-01

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	<u>03-oct-13</u>	Vensayo :	<u>1</u> mm/min
MUESTRA No.:	<u>CB-01</u>	Dirección:	<u>3</u>
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	<u>6,833</u> cm	H1 =	<u>13</u> cm
Lsup2 =	<u>46,5</u> cm	H2 =	<u>10</u> cm
Linf1 =	<u>6,833</u> cm	H3 =	<u>10</u>
Linf2 =	<u>46,5</u> cm		
Área agujeros =	<u>0,146</u> cm ²	Pmáx.:	<u>261,50</u> kN
Área Prom =	<u>317,59</u> cm ²	$\sigma_{máx.}$:	8,23 MPa

- Ensayo a muestra CB-02

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	03-oct-13	Vel ensayo :	3 mm/min
MUESTRA No.:	CB-02	Dirección:	3
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	6,852 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,848 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,146 cm ²	Pmáx.:	212,50 kN
Área Prom =	318,38 cm ²	$\sigma_{máx.}$:	6,67 MPa

- Ensayo a muestra CB-03

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	03-oct-13	Vel ensayo :	1 mm/min
MUESTRA No.:	CB-03	Dirección:	3
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	6,709 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,833 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,146 cm ²	Pmáx.:	261,80 kN
Área Prom =	314,71 cm ²	$\sigma_{máx.}$:	8,32 MPa

- Ensayo a muestra CB-04

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	03-oct-13	Vel ensayo :	1 mm/min
MUESTRA No.:	CB-04	Dirección:	3
Área de contacto:		Alturas	
Lsup1 =	6,842 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,846 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,146 cm ²	Pmáx.:	134,20 kN
Área Prom =	318,10 cm ²	σ máx.:	4,22 MPa

- Ensayo a muestra CB-05

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	04-oct-13	Vel ensayo :	1 mm/min
MUESTRA No.:	CB-05	Dirección:	3
Área de contacto:		Alturas	
Lsup1 =	6,901 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,84 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,146 cm ²	Pmáx.:	178,10 kN
Área Prom =	319,33 Cm ²	σ máx.:	5,58 MPa

- Ensayo a muestra CB-06

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	04-oct-13	Vel ensayo :	1 mm/min
MUESTRA No.:	CB-06	Dirección:	3
Área de contacto:		Alturas	
Lsup1 =	6,9 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,84 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,000 cm ²	Pmáx.:	144,50 kN
Área Prom =	319,46 cm ²	$\sigma_{\text{máx.}}$:	4,52 MPa

- Ensayo a muestra CB-07

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	04-oct-13	Vel ensayo :	1 mm/min
MUESTRA No.:	CB-07	Dirección:	3
Área de contacto:		Alturas	
Lsup1 =	6,888 cm	H1 =	13 cm
Lsup2 =	46,5 cm	H2 =	10 cm
Linf1 =	6,804 cm	H3 =	10
Linf2 =	46,5 cm		
Área agujeros =	0,000 cm ²	Pmáx.:	178,00 kN
Área Prom =	318,34 cm ²	$\sigma_{\text{máx.}}$:	5,59 MPa

- Ensayo a muestra CB-08

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	<u>04-oct-13</u>	Vel ensayo :	<u>1</u> mm/min
MUESTRA No.:	<u>CB-08</u>	Dirección:	<u>3</u>
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	<u>6,892</u> cm	H1 =	<u>13</u> cm
Lsup2 =	<u>46,5</u> cm	H2 =	<u>10</u> cm
Linf1 =	<u>6,895</u> cm	H3 =	<u>10</u>
Linf2 =	<u>46,5</u> cm		
Área agujeros =	<u>0,000</u> cm ²	Pmáx.:	<u>154,00</u> kN
Área Prom =	<u>320,55</u> cm ²	$\sigma_{\text{máx.}}$:	4,80 MPa

- Ensayo a muestra CB-09

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
FECHA:	<u>04-oct-13</u>	Vel ensayo :	<u>1</u> mm/min
MUESTRA No.:	<u>CB-09</u>	Dirección:	<u>3</u>
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	<u>6,899</u> cm	H1 =	<u>13</u> cm
Lsup2 =	<u>46,5</u> cm	H2 =	<u>10</u> cm
Linf1 =	<u>6,875</u> cm	H3 =	<u>10</u>
Linf2 =	<u>46,5</u> cm		
Área agujeros =	<u>0,000</u> cm ²	Pmáx.:	<u>151,88</u> kN
Área Prom =	<u>320,25</u> cm ²	$\sigma_{\text{máx.}}$:	4,74 MPa

- Ensayo a muestra CB-09

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA			
LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS			
PROYECTO:	FASE PRELIMINAR SISTEMA BRICKARP ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES COMPLETOS		
FECHA:	<u>04-oct-13</u>	Vel ensayo :	<u>1</u> mm/min
MUESTRA No.:	<u>CB-10</u>	Dirección:	<u>3</u>
<u>Área de contacto:</u>		<u>Alturas</u>	
Lsup1 =	<u>6,893</u> cm	H1 =	<u>13</u> cm
Lsup2 =	<u>46,5</u> cm	H2 =	<u>10</u> cm
Linf1 =	<u>6,842</u> cm	H3 =	<u>10</u>
Linf2 =	<u>46,5</u> cm		
Área agujeros =	<u>0,000</u> cm ²	Pmáx.:	<u>141,10</u> kN
Área Prom =	<u>319,34</u> cm ²	$\sigma_{\text{máx.}}$:	4,42 MPa

E. Anexo: Resultados de ensayos a compresión en columnas prPEAD con canales y espigos de ensamble sin refuerzo de 2,40m, 1,60m y 0,80m

Las columnas ensayadas de 2,40m se nombran desde CC-01 hasta CC-05.

- Dimensiones y propiedades geométricas

ÁREA DE ELEMENTOS			COLUMNAS h = 2,40 m			
Dimensiones	CC-01	CC-02	CC-03	CC-04	CC-05	UN
1	41,7	49,59	43,51	40,84	40,7	mm
2	29,71	30,32	29,97	29,87	29,87	mm
3	40,61	39,16	45,98	42,19	42,2	mm
4	150,54	149,14	156	149,75	150,52	mm
5	60,04	60,145	62,6	59,14	60,48	mm
6	59,6	61,85	69,76	60,71	59,45	mm
7	147,97	146,15	157	148,14	149,36	mm
8	58,83	58,25	63,61	58,61	59,06	mm
9	61,45	59,81	64,5	61,54	58,8	mm
10	146,8	140,38	157	148,82	150,65	mm
11	60,51	61,5	63,255	59,57	58,1	mm
12	59,91	60,07	61,995	60,705	61,28	mm
13	148,84	149,37	158	147,27	150,35	mm
14	31,63	32,02	31,7	31,28	31,85	mm
A	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
B	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
C	28,3	24,2	24,6	28,3	29,4	mm
D	26,5	22,3	28,9	28,7	32,8	mm
E	28,4	27,8	32,8	27,0	31,0	mm
h prom.:	148,4	147,8	157,5	147,7	149,9	mm
Ancho prom.:	148,7	144,8	156,5	149,3	150,6	mm
A1	22.063	21.390	24.649	22.050	22.566	mm ²
A2	3852	3341	3893	3779	4170	mm ²
A Total	18.211	18.049	20.755	18.271	18.395	mm²

- Inercia de la sección de columnas de 2,40m

Columnas	Altura (m)	Área (mm²)	Inercia (mm⁴) x 10⁶
CC-01	2,40	18.211	33,05
CC-02	2,40	18.049	33,02
CC-03	2,40	20.755	42,32
CC-04	2,40	18.271	32,77
CC-05	2,40	18.395	34,02

- A continuación se muestran los resultado de columnas de 2,40m:

COLUMNA CC1

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ² mm	Def 1 10 ² mm	Def 2 10 ³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
3	2,16	4475,00	4296,00	1424,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
10	7,20	4370,00	4295,00	1484,00	-0,01	0,60	1,05	0,60	0,40
20	14,40	4221,00	4302,00	1527,00	0,06	1,03	2,54	1,03	0,79
30	21,59	4038,00	4365,00	1602,00	0,69	1,78	4,37	1,91	1,19
36	25,91	3910,00	4407,00	1633,00	1,11	2,09	5,65	2,37	1,42
40	28,79	3820,00	4446,00	1673,00	1,50	2,49	6,55	2,91	1,58
45	32,38	3720,00	4487,00	1702,00	1,91	2,78	7,55	3,37	1,78
50	35,98	3600,00	4552,00	1732,00	2,56	3,08	8,75	4,00	1,98
55	39,57	3470,00	4604,00	1786,00	3,08	3,62	10,05	4,75	2,17
60	43,16	3382,00	4663,00	1810,00	3,67	3,86	10,93	5,33	2,37
65	46,76	3258,00	4741,00	1874,00	4,45	4,50	12,17	6,33	2,57
70	50,35	3135,00	4837,00	1932,00	5,41	5,08	13,40	7,42	2,76
75	53,94	2910,00	4950,00	2000,00	6,54	5,76	15,65	8,71	2,96
80	57,53	2860,00	5198,00	2100,00	9,02	6,76	16,15	11,27	3,16
85	61,12	2670,00	5408,00	2220,00	11,12	7,96	18,05	13,68	3,36
90	64,71	2475,00	5650,00	2402,00	13,54	9,78	20,00	16,70	3,55
92	66,15	2350,00	5790,00	2590,00	14,94	11,66	21,25	18,95	3,63
95	68,30	2230,00	6163,00	2735,00	18,67	13,11	22,45	22,81	3,75
97	69,73	2136,00	6395,00	2920,00	20,99	14,96	23,39	25,78	3,83
100	71,89	2055,00	6800,00	3220,00	25,04	17,96	24,20	30,81	3,95

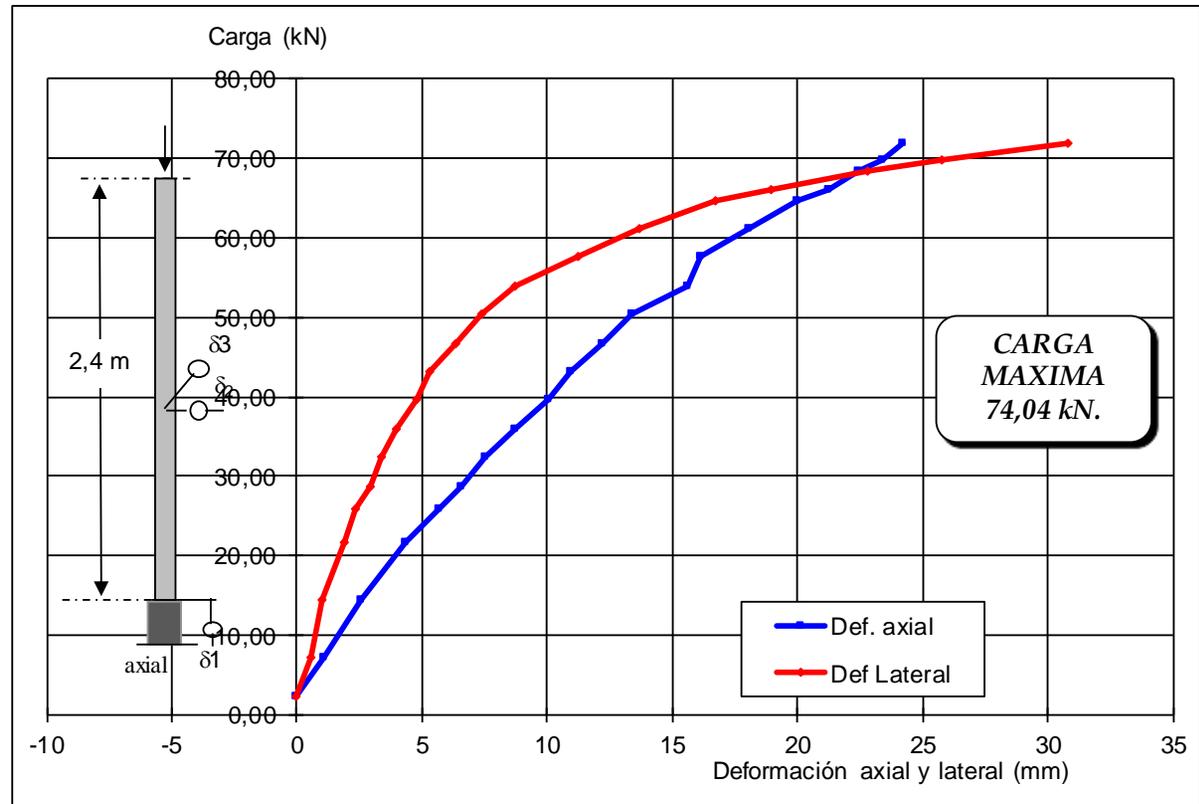
Pmax	103	Carga puente
	74	kN
Esf. Max	4,07	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33052468	mm ⁴
L. Col. medida	2396	mm

MUESTRA No.CC1 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL L = 2,40 m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
2,16	0,00	0
7,20	0,60	1,05
14,40	1,03	2,54
21,59	1,91	4,37
25,91	2,37	5,65
28,79	2,91	6,55
32,38	3,37	7,55
35,98	4,00	8,75
39,57	4,75	10,05
43,16	5,33	10,93
46,76	6,33	12,17
50,35	7,42	13,40
53,94	8,71	15,65
57,53	11,27	16,15
61,12	13,68	18,05
64,71	16,70	20,00
66,15	18,95	21,25
68,30	22,81	22,45
69,73	25,78	23,39
71,89	30,81	24,20

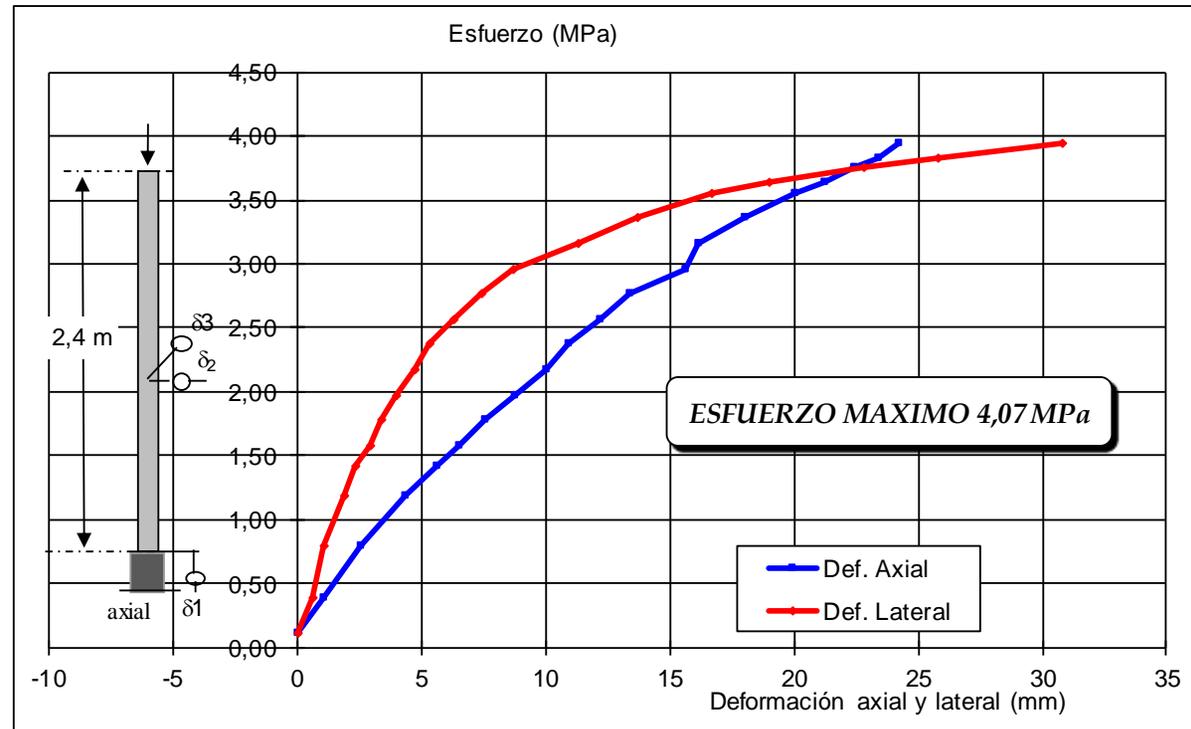


MUESTRA No.CC1 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 2,40 m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,12	0,00	0
0,40	0,60	1,05
0,79	1,03	2,54
1,19	1,91	4,37
1,42	2,37	5,65
1,58	2,91	6,55
1,78	3,37	7,55
1,98	4,00	8,75
2,17	4,75	10,05
2,37	5,33	10,93
2,57	6,33	12,17
2,76	7,42	13,40
2,96	8,71	15,65
3,16	11,27	16,15
3,36	13,68	18,05
3,55	16,70	20,00
3,63	18,95	21,25
3,75	22,81	22,45
3,83	25,78	23,39
3,95	30,81	24,20



COLUMNA CC2

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4365,00	1214,00	789,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	7,20	4310,00	1295,00	796,00	0,81	0,07	0,55	0,81	0,40
15	10,80	4252,00	1396,00	798,00	1,82	0,09	1,13	1,82	0,60
20	14,40	4170,00	1504,00	804,00	2,90	0,15	1,95	2,90	0,80
25	18,00	4052,00	1600,00	812,00	3,86	0,23	3,13	3,87	1,00
30	21,59	4006,00	1659,00	812,00	4,45	0,23	3,59	4,46	1,20
35	25,19	3920,00	1700,00	812,00	4,86	0,23	4,45	4,87	1,40
40	28,79	3800,00	1753,00	798,00	5,39	0,09	5,65	5,39	1,59
45	32,38	3708,00	1795,00	781,00	5,81	-0,08	6,57	5,81	1,79
50	35,98	3590,00	1857,00	755,00	6,43	-0,34	7,75	6,44	1,99
55	39,57	3498,00	1912,00	733,00	6,98	-0,56	8,67	7,00	2,19
60	43,16	3402,00	1979,00	708,00	7,65	-0,81	9,63	7,69	2,39
65	46,76	3282,00	2080,00	674,00	8,66	-1,15	10,83	8,74	2,59
70	50,35	3158,00	2193,00	635,00	9,79	-1,54	12,07	9,91	2,79
75	53,94	3075,00	2290,00	602,00	10,76	-1,87	12,90	10,92	2,99
80	57,53	2888,00	2500,00	525,00	12,86	-2,64	14,77	13,13	3,19
85	61,12	2740,00	2758,00	446,00	15,44	-3,43	16,25	15,82	3,39
90	64,71	2622,00	3005,00	380,00	17,91	-4,09	17,43	18,37	3,59
95	68,30	2490,00	3480,00	280,00	22,66	-5,09	18,75	23,22	3,78

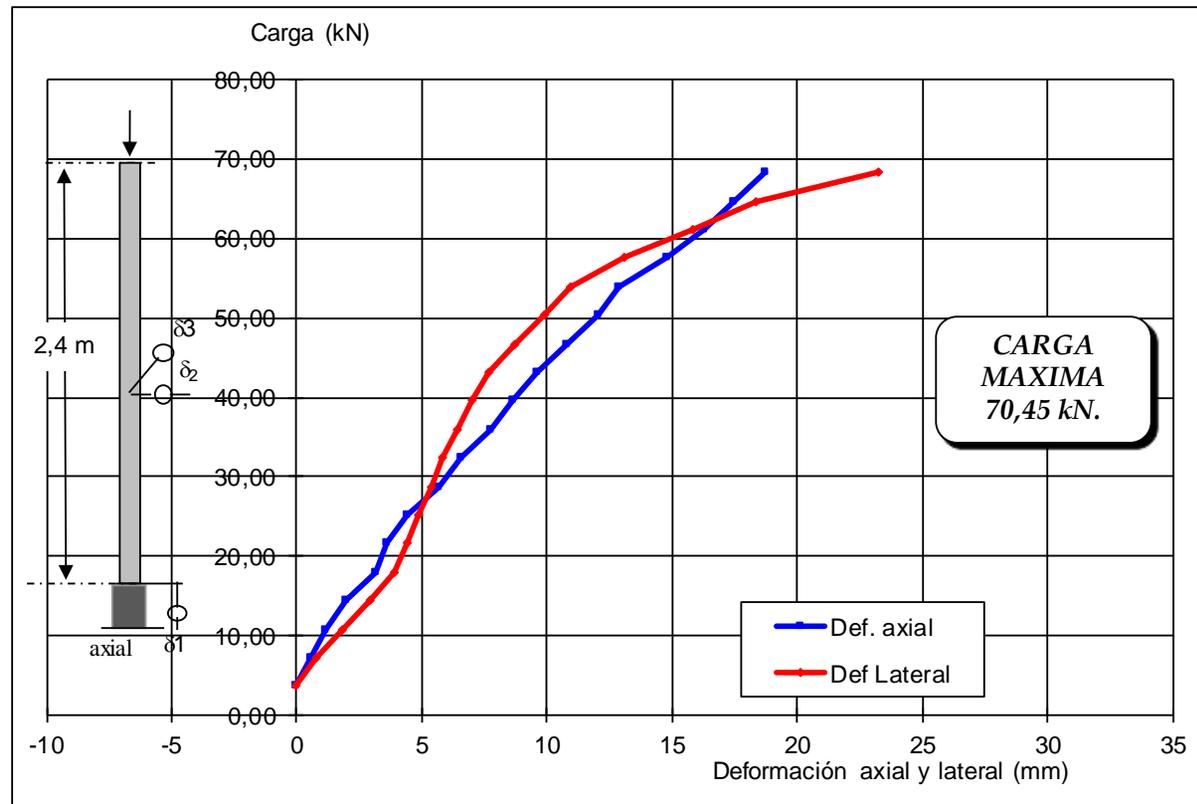
Pmax	98	Carga puente
	70,45	kN
Esf. Max	3,90	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33022883	mm ⁴
L. Col. medida	2398	mm

MUESTRA No.CC2 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 2,40 m

AREA = 18048,61 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Carga (kg)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,81	0,55
10,80	1,82	1,13
14,40	2,90	1,95
18,00	3,87	3,13
21,59	4,46	3,59
25,19	4,87	4,45
28,79	5,39	5,65
32,38	5,81	6,57
35,98	6,44	7,75
39,57	7,00	8,67
43,16	7,69	9,63
46,76	8,74	10,83
50,35	9,91	12,07
53,94	10,92	12,90
57,53	13,13	14,77
61,12	15,82	16,25
64,71	18,37	17,43
68,30	23,22	18,75

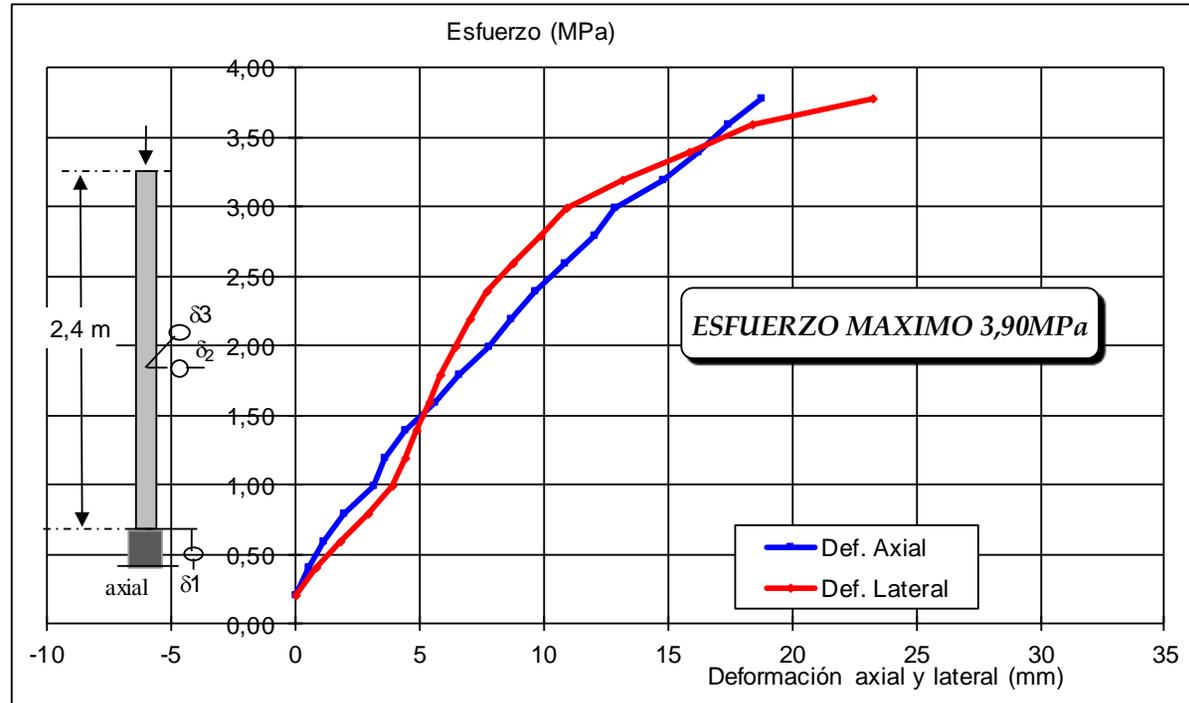


MUESTRA No.CC2 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL L = 2,40 m

AREA = 18048,61 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,20	0,00	0
0,40	0,81	0,55
0,60	1,82	1,13
0,80	2,90	1,95
1,00	3,87	3,13
1,20	4,46	3,59
1,40	4,87	4,45
1,59	5,39	5,65
1,79	5,81	6,57
1,99	6,44	7,75
2,19	7,00	8,67
2,39	7,69	9,63
2,59	8,74	10,83
2,79	9,91	12,07
2,99	10,92	12,90
3,19	13,13	14,77
3,39	15,82	16,25
3,59	18,37	17,43
3,78	23,22	18,75



COLUMNA CC3

Carga Puente	Carga (kg)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10^{-2} mm	Def 1 10^{-2} mm	Def 2 10^{-3} mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4299,00	1091,00	782,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
10	7,20	4235,00	1120,00	782,00	0,29	0,00	0,64	0,29	0,35
15	10,80	4142,00	1154,00	790,00	0,63	0,08	1,57	0,64	0,52
20	14,40	4070,00	1170,00	805,00	0,79	0,23	2,29	0,82	0,69
25	18,00	3985,00	1175,00	830,00	0,84	0,48	3,14	0,97	0,87
30	21,59	3880,00	1173,00	869,00	0,82	0,87	4,19	1,20	1,04
35	25,19	3762,00	1162,00	901,00	0,71	1,19	5,37	1,39	1,21
40	28,79	3672,00	1151,00	931,00	0,60	1,49	6,27	1,61	1,39
45	32,38	3553,00	1137,00	980,00	0,46	1,98	7,46	2,03	1,56
50	35,98	3435,00	1126,00	1021,00	0,35	2,39	8,64	2,42	1,73
55	39,57	3315,00	1118,00	1080,00	0,27	2,98	9,84	2,99	1,91
60	43,16	3198,00	1107,00	1140,00	0,16	3,58	11,01	3,58	2,08
65	46,76	3080,00	1098,00	1208,00	0,07	4,26	12,19	4,26	2,25
70	50,35	2972,00	1084,00	1300,00	-0,07	5,18	13,27	5,18	2,43
75	53,94	2820,00	1040,00	1540,00	-0,51	7,58	14,79	7,60	2,60
80	57,53	2702,00	980,00	1615,00	-1,11	8,33	15,97	8,40	2,77
85	61,12	2588,00	938,00	1790,00	-1,53	10,08	17,11	10,20	2,94
90	64,71	2440,00	902,00	2020,00	-1,89	12,38	18,59	12,52	3,12
93	66,86	2292,00	860,00	2330,00	-2,31	15,48	20,07	15,65	3,22
95	68,30	2200,00	820,00	2600,00	-2,71	18,18	20,99	18,38	3,29

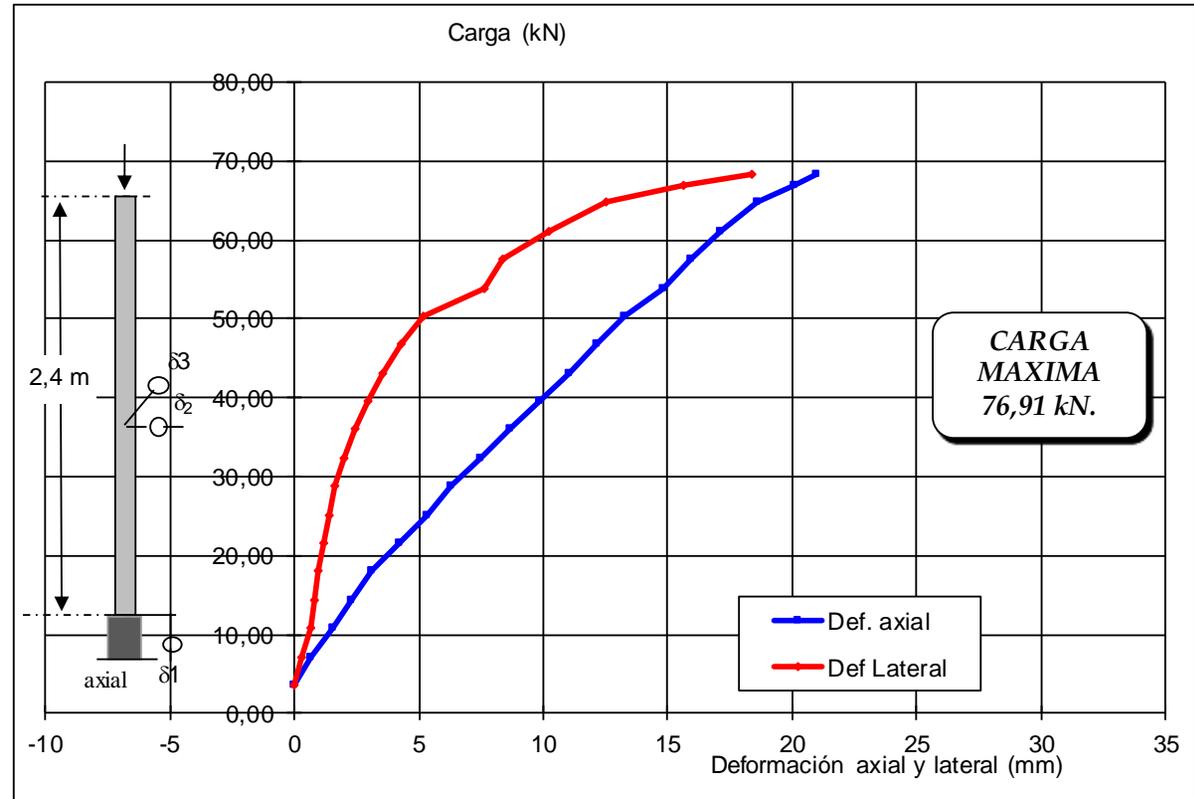
Pmax	107	Carga puente
	7691	kN
Esf. Max	3,71	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	42319534	mm ⁴
L. Col. medida	2398	mm

MUESTRA No.CC3 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 2,40 m

AREA = 20755,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,29	0,64
10,80	0,64	1,57
14,40	0,82	2,29
18,00	0,97	3,14
21,59	1,20	4,19
25,19	1,39	5,37
28,79	1,61	6,27
32,38	2,03	7,46
35,98	2,42	8,64
39,57	2,99	9,84
43,16	3,58	11,01
46,76	4,26	12,19
50,35	5,18	13,27
53,94	7,60	14,79
57,53	8,40	15,97
61,12	10,20	17,11
64,71	12,52	18,59
66,86	15,65	20,07
68,30	18,38	20,99



COLUMNA CC4

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
4	2,88	3582,00	1400,00	380,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
10	7,20	3522,00	1510,00	315,00	1,10	-0,65	0,60	1,28	0,39
15	10,80	3475,00	1580,00	280,00	1,80	-1,00	1,07	2,06	0,59
20	14,40	3405,00	1632,00	247,00	2,32	-1,33	1,77	2,67	0,79
25	18,00	3321,00	1711,00	220,00	3,11	-1,60	2,61	3,50	0,98
30	21,59	3244,00	1778,00	193,00	3,78	-1,87	3,38	4,22	1,18
35	25,19	3167,00	1847,00	158,00	4,47	-2,22	4,15	4,99	1,38
40	28,79	3074,00	1914,00	119,00	5,14	-2,61	5,08	5,76	1,58
45	32,38	2983,00	2004,00	70,00	6,04	-3,10	5,99	6,79	1,77
50	35,98	2892,00	2091,00	17,00	6,91	-3,63	6,90	7,81	1,97
55	39,57	2804,00	2182,00	4957,00	7,82	-4,23	7,78	8,89	2,17
60	43,16	2696,00	2304,00	4880,00	9,04	-5,00	8,86	10,33	2,36
65	46,76	2506,00	2404,00	4810,00	10,04	-5,70	10,76	11,55	2,56
70	50,35	2483,00	2560,00	4709,00	11,60	-6,71	10,99	13,40	2,76
75	53,94	2377,00	2727,00	4590,00	13,27	-7,90	12,05	15,44	2,95

Pmax	89	Carga puente
	64	kN
Esf. Max	3,50	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	32774106	mm ⁴
L. Col. medida	2398	mm

COLUMNA CC5

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
6	4,32	3592,00	1381,00	1100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
10	7,20	3548,00	1368,00	1100,00	-0,13	0,00	0,44	0,13	0,39
15	10,80	3482,00	1117,00	1097,00	-2,64	-0,03	1,10	2,64	0,59
20	14,40	3400,00	1113,00	1095,00	-2,68	-0,05	1,92	2,68	0,78
25	18,00	3324,00	1113,00	1097,00	-2,68	-0,03	2,68	2,68	0,98
30	21,59	3235,00	1134,00	1097,00	-2,47	-0,03	3,57	2,47	1,17
35	25,19	3152,00	1175,00	1112,00	-2,06	0,12	4,40	2,06	1,37
40	28,79	3040,00	1318,00	1138,00	-0,63	0,38	5,52	0,74	1,56
45	32,38	2940,00	1589,00	1168,00	2,08	0,68	6,52	2,19	1,76
50	35,98	2850,00	1742,00	1190,00	3,61	0,90	7,42	3,72	1,96
55	39,57	2725,00	1736,00	1224,00	3,55	1,24	8,67	3,76	2,15
60	43,16	2625,00	2000,00	1265,00	6,19	1,65	9,67	6,41	2,35
65	46,76	2502,00	1932,00	1300,00	5,51	2,00	10,90	5,86	2,54
70	50,35	2388,00	2057,00	1341,00	6,76	2,41	12,04	7,18	2,74
75	53,94	2268,00	2215,00	1380,00	8,34	2,80	13,24	8,80	2,93
80	57,53	2154,00	2298,00	1415,00	9,17	3,15	14,38	9,70	3,13
85	61,12	2005,00	2546,00	1490,00	11,65	3,90	15,87	12,29	3,32
90	64,71	1878,00	2762,00	1510,00	13,81	4,10	17,14	14,41	3,52
95	68,30	1730,00	3090,00	1588,00	17,09	4,88	18,62	17,77	3,71

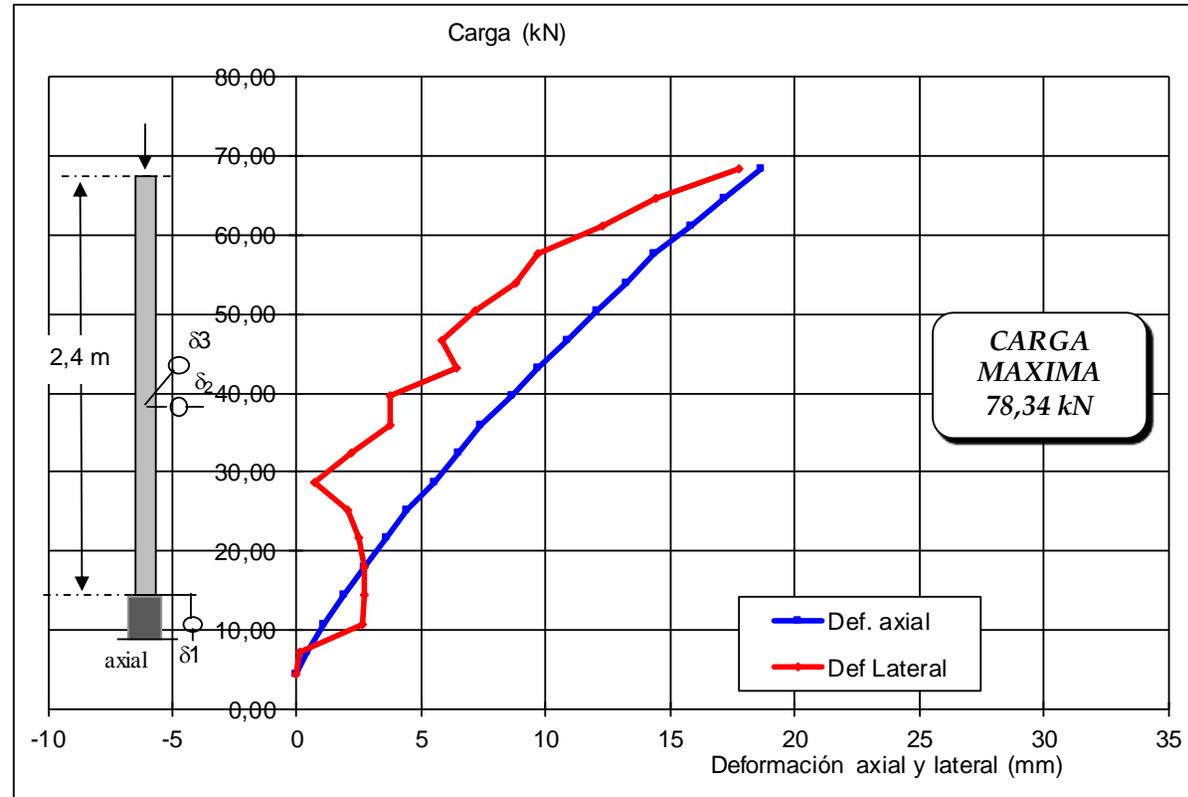
Pmax	109	Carga puente
	7834	kN
Esf. Max	4,26	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	34016479	mm ⁴
L. Col. medida	2395	mm

MUESTRA No.CC5 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 2,40 m

AREA = 18395,48 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 09 de 2013

Carga (kg)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
4,32	0,00	0
7,20	0,13	0,44
10,80	2,64	1,10
14,40	2,68	1,92
18,00	2,68	2,68
21,59	2,47	3,57
25,19	2,06	4,40
28,79	0,74	5,52
32,38	2,19	6,52
35,98	3,72	7,42
39,57	3,76	8,67
43,16	6,41	9,67
46,76	5,86	10,90
50,35	7,18	12,04
53,94	8,80	13,24
57,53	9,70	14,38
61,12	12,29	15,87
64,71	14,41	17,14
68,30	17,77	18,62



- Resultado de columnas de 1,60m:

Las columnas ensayadas de 1,60m se nombran desde CC-06 hasta CC-10.

ÁREA DE ELEMENTOS			COLUMNAS h = 1,60 m			
Dimensiones	CC-06	CC-07	CC-08	CC-09	CC-10	UN
1	41,7	49,59	43,51	40,84	40,7	mm
2	29,71	30,32	29,97	29,87	29,87	mm
3	40,61	39,16	45,98	42,19	42,2	mm
4	150,54	149,14	156	149,75	150,52	mm
5	60,04	60,145	62,6	59,14	60,48	mm
6	59,6	61,85	69,76	60,71	59,45	mm
7	147,97	146,15	157	148,14	149,36	mm
8	58,83	58,25	63,61	58,61	59,06	mm
9	61,45	59,81	64,5	61,54	58,8	mm
10	146,8	140,38	157	148,82	150,65	mm
11	60,51	61,5	63,255	59,57	58,1	mm
12	59,91	60,07	61,995	60,705	61,28	mm
13	148,84	149,37	158	147,27	150,35	mm
14	31,63	32,02	31,7	31,28	31,85	mm
A	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
B	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
C	28,3	24,2	24,6	28,3	29,4	mm
D	26,5	22,3	28,9	28,7	32,8	mm
E	28,4	27,8	32,8	27,0	31,0	mm
h prom.:	148,4	147,8	157,5	147,7	149,9	mm
Ancho prom.:	148,7	144,8	156,5	149,3	150,6	mm
A1	22.063,4	21.389,7	24.648,8	22.050,1	22.565,9	mm2
A2	3852,2	3341,1	3893,4	3778,8	4170,4	mm2
A Total	18.211,15	18.048,61	20.755,36	18.271,36	18.395,48	mm2

- A continuación se muestra la inercia en la sección de las columnas de 1,60m

Columnas	Altura	Área	Inercia
	(m)	(mm ²)	(mm ⁴)
CC-06	1,60	18.211	33.052.468
CC-07	1,60	18.049	33.022.883
CC-08	1,60	20.755	42.319.534
CC-09	1,60	18.271	32.774.106
CC-10	1,60	18.395	34.016.479

- A continuación se muestran los resultados de las columnas de 1,60m

COLUMNA CC6

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10^{-2} mm	Def 1 10^{-2} mm	Def 2 10^{-3} mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4046,00	1040,00	80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	7,20	3998,00	1043,00	90,00	0,03	0,10	0,48	0,10	0,40
20	14,40	3900,00	1086,00	95,00	0,46	0,15	1,46	0,48	0,79
30	21,59	3776,00	1180,00	105,00	1,40	0,25	2,70	1,42	1,19
40	28,79	3647,00	1263,00	107,00	2,23	0,27	3,99	2,25	1,58
50	35,98	3510,00	1347,00	107,00	3,07	0,27	5,36	3,08	1,98
60	43,16	3460,00	1434,00	100,00	3,94	0,20	5,86	3,95	2,37
66	47,47	3203,00	1493,00	97,00	4,53	0,17	8,43	4,53	2,61
70	50,35	3110,00	1560,00	96,00	5,20	0,16	9,36	5,20	2,76
75	53,94	2955,00	1650,00	96,00	6,10	0,16	10,91	6,10	2,96
80	57,53	2833,00	1711,00	96,00	6,71	0,16	12,13	6,71	3,16
85	61,12	2708,00	1799,00	96,00	7,59	0,16	13,38	7,59	3,36
90	64,71	2618,00	1885,00	96,00	8,45	0,16	14,28	8,45	3,55
95	68,30	2525,00	1966,00	96,00	9,26	0,16	15,21	9,26	3,75
100	71,89	2402,00	2079,00	96,00	10,39	0,16	16,44	10,39	3,95
105	75,47	2310,00	2178,00	96,00	11,38	0,16	17,36	11,38	4,14
110	79,06	2190,00	2300,00	96,00	12,60	0,16	18,56	12,60	4,34
115	82,65	2070,00	2476,00	96,00	14,36	0,16	19,76	14,36	4,54
120	86,23	1955,00	2643,00	100,00	16,03	0,20	20,91	16,03	4,74
125	89,82	1830,00	2850,00	103,00	18,10	0,23	22,16	18,10	4,93

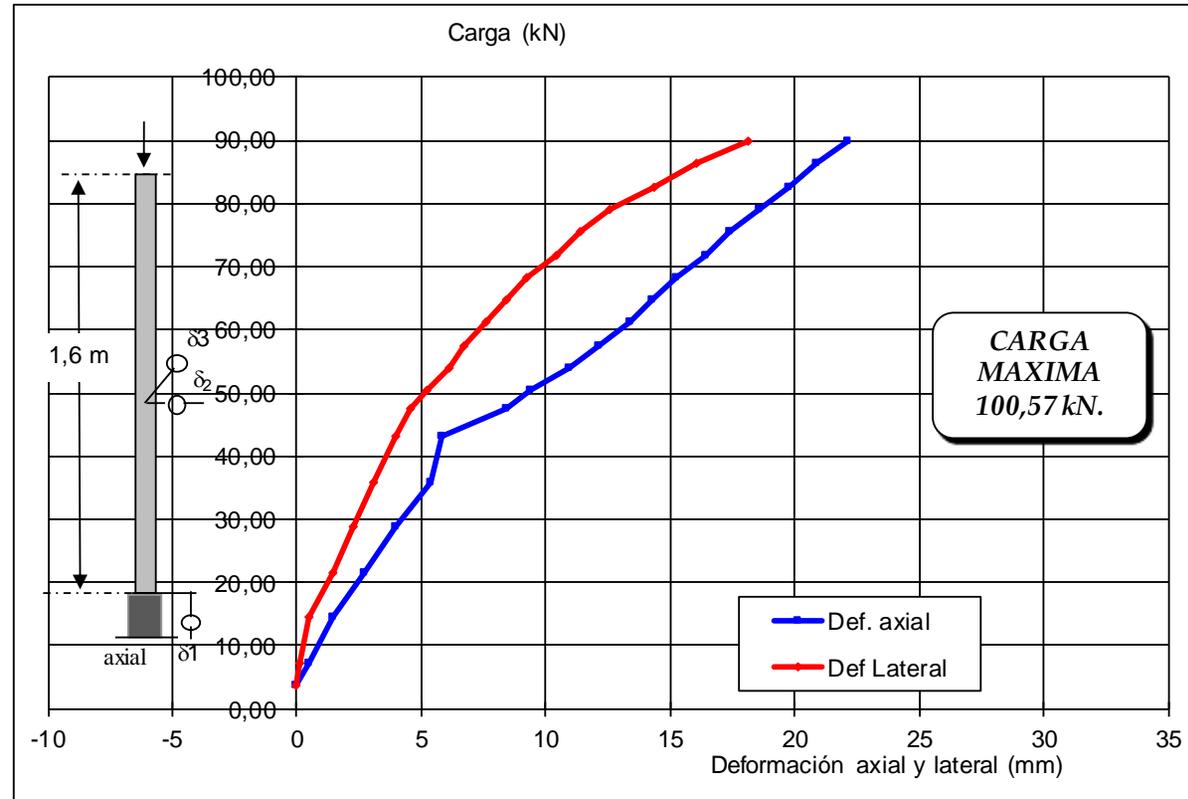
Pmax	140	Carga puente
	101	kN
Esf. Max	5,52	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33052468	mm ⁴
L. Col. medida	1602	mm
Esf. Critico	0,23	MPa

MUESTRA No.CC6 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60 m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 09 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,10	0,48
14,40	0,48	1,46
21,59	1,42	2,70
28,79	2,25	3,99
35,98	3,08	5,36
43,16	3,95	5,86
47,47	4,53	8,43
50,35	5,20	9,36
53,94	6,10	10,91
57,53	6,71	12,13
61,12	7,59	13,38
64,71	8,45	14,28
68,30	9,26	15,21
71,89	10,39	16,44
75,47	11,38	17,36
79,06	12,60	18,56
82,65	14,36	19,76
86,23	16,03	20,91
89,82	18,10	22,16

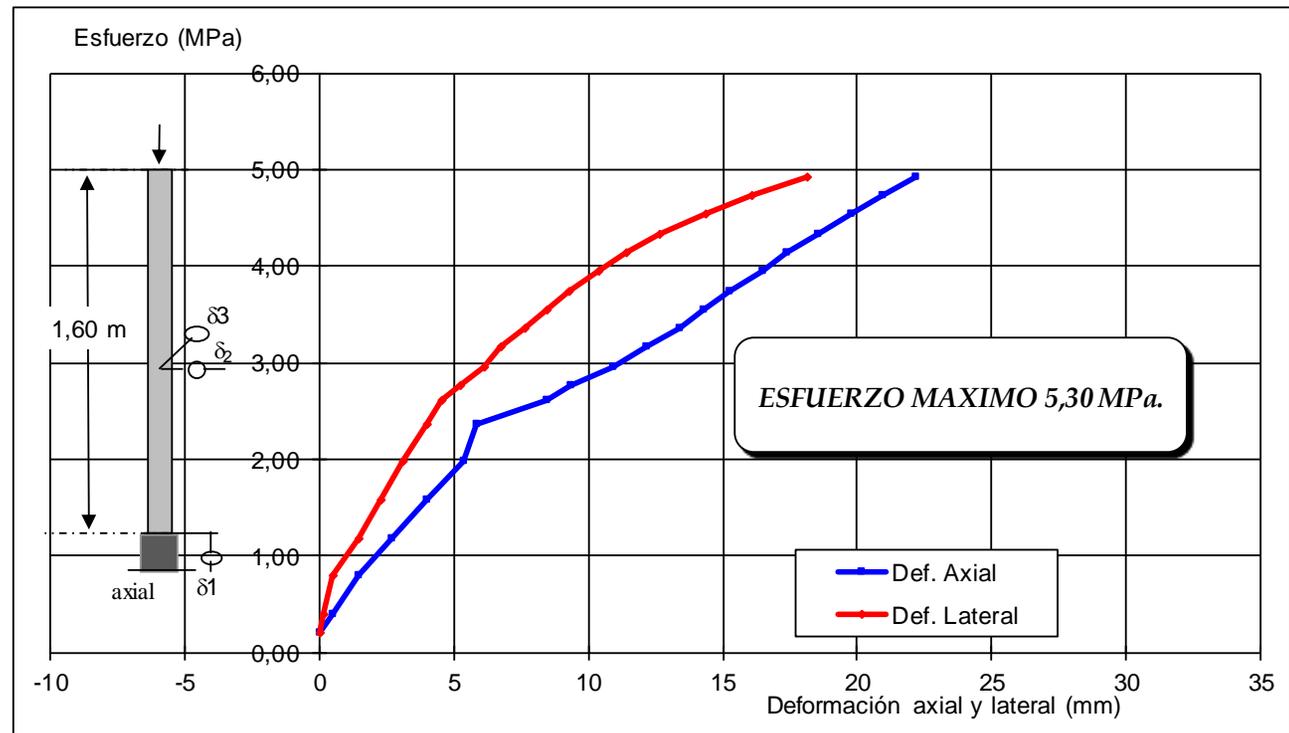


MUESTRA No.CC6 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60 m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,20	0,00	0
0,40	0,10	0,48
0,79	0,48	1,46
1,19	1,42	2,70
1,58	2,25	3,99
1,98	3,08	5,36
2,37	3,95	5,86
2,61	4,53	8,43
2,76	5,20	9,36
2,96	6,10	10,91
3,16	6,71	12,13
3,36	7,59	13,38
3,55	8,45	14,28
3,75	9,26	15,21
3,95	10,39	16,44
4,14	11,38	17,36
4,34	12,60	18,56
4,54	14,36	19,76
4,74	16,03	20,91
4,93	18,10	22,16



COLUMNA CC7

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
6	4,32	3829,00	1326,00	4860,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
10	7,20	3768,00	1232,00	4860,00	-0,94	0,00	0,61	0,94	0,40
15	10,80	3710,00	1161,00	4854,00	-1,65	-0,06	1,19	1,65	0,60
20	14,40	3656,00	1144,00	4845,00	-1,82	-0,15	1,73	1,83	0,80
25	18,00	3609,00	1121,00	4845,00	-2,05	-0,15	2,20	2,06	1,00
30	21,59	3548,00	1108,00	4845,00	-2,18	-0,15	2,81	2,19	1,20
35	25,19	3490,00	1098,00	4816,00	-2,28	-0,44	3,39	2,32	1,40
40	28,79	3428,00	1082,00	4814,00	-2,44	-0,46	4,01	2,48	1,59
45	32,38	3348,00	1072,00	4806,00	-2,54	-0,54	4,81	2,60	1,79
50	35,98	3278,00	1062,00	4800,00	-2,64	-0,60	5,51	2,71	1,99
55	39,57	3210,00	1051,00	4795,00	-2,75	-0,65	6,19	2,83	2,19
60	43,16	3120,00	1035,00	4790,00	-2,91	-0,70	7,09	2,99	2,39
65	46,76	3028,00	1020,00	4784,00	-3,06	-0,76	8,01	3,15	2,59
70	50,35	2932,00	1002,00	4780,00	-3,24	-0,80	8,97	3,34	2,79
75	53,94	2862,00	985,00	4778,00	-3,41	-0,82	9,67	3,51	2,99
80	57,53	2762,00	962,00	4776,00	-3,64	-0,84	10,67	3,74	3,19
85	61,12	2670,00	943,00	4774,00	-3,83	-0,86	11,59	3,93	3,39
90	64,71	2572,00	917,00	4773,00	-4,09	-0,87	12,57	4,18	3,59
95	68,30	2475,00	890,00	4771,00	-4,36	-0,89	13,54	4,45	3,78
100	71,89	2378,00	860,00	4770,00	-4,66	-0,90	14,51	4,75	3,98
105	75,47	2248,00	810,00	4768,00	-5,16	-0,92	15,81	5,24	4,18
110	79,06	2148,00	760,00	4768,00	-5,66	-0,92	16,81	5,73	4,38
115	82,65	2048,00	710,00	4766,00	-6,16	-0,94	17,81	6,23	4,58
120	86,23	1912,00	620,00	4766,00	-7,06	-0,94	19,17	7,12	4,78
125	89,82	1772,00	530,00	4765,00	-7,96	-0,95	20,57	8,02	4,98

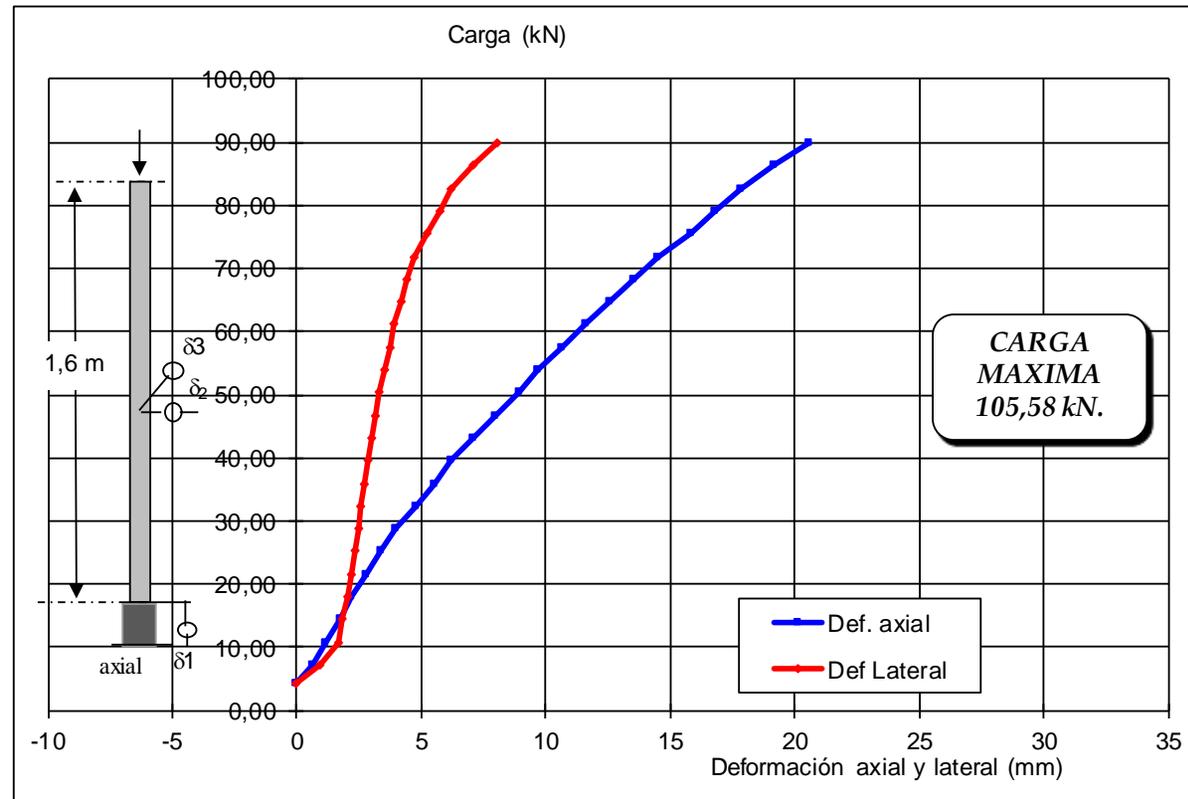
Pmax	147	Carga puente
	106	kN
Esf. Max	5,85	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33022883	mm ⁴
L. Col. medida	1598	mm
Esf. Critico	0,24	MPa

MUESTRA No.CC7 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60 m

AREA = 18048,61 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 09 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
4,32	0,00	0
7,20	0,94	0,61
10,80	1,65	1,19
14,40	1,83	1,73
18,00	2,06	2,20
21,59	2,19	2,81
25,19	2,32	3,39
28,79	2,48	4,01
32,38	2,60	4,81
35,98	2,71	5,51
39,57	2,83	6,19
43,16	2,99	7,09
46,76	3,15	8,01
50,35	3,34	8,97
53,94	3,51	9,67
57,53	3,74	10,67
61,12	3,93	11,59
64,71	4,18	12,57
68,30	4,45	13,54
71,89	4,75	14,51
75,47	5,24	15,81

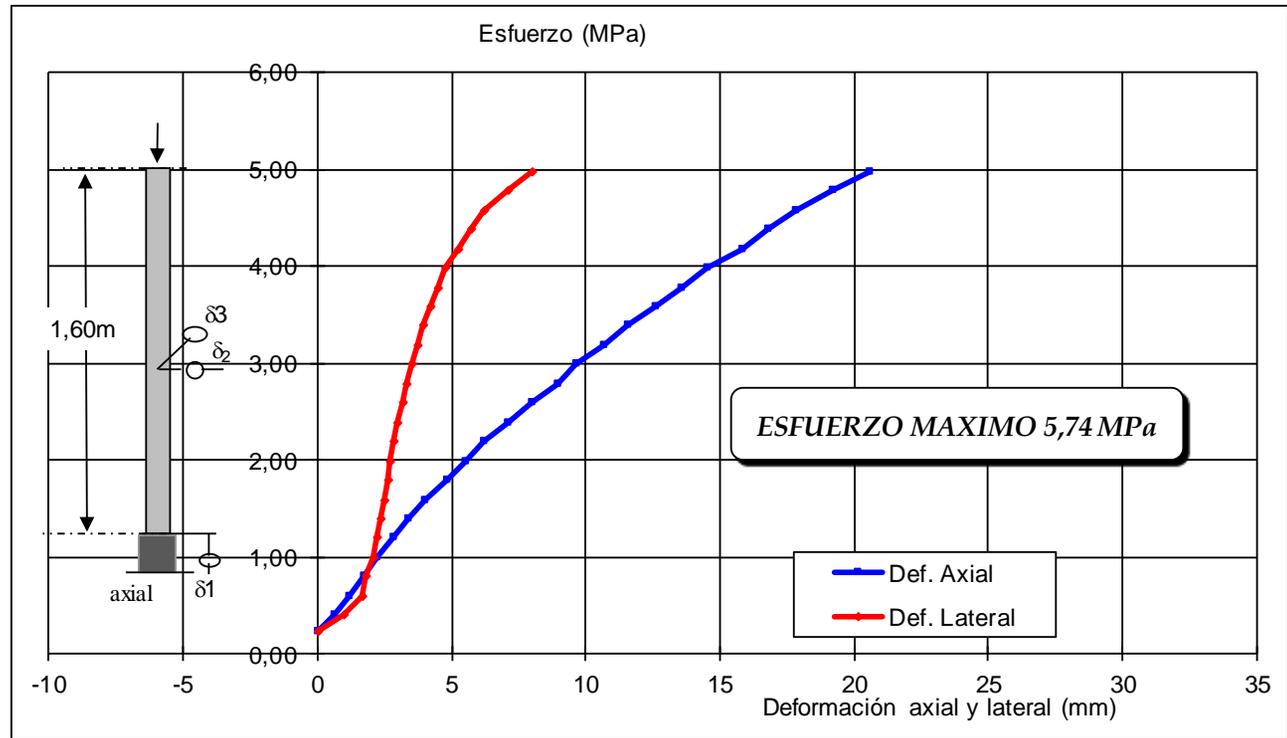


MUESTRA No.CC7 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60m

AREA = 18048,61 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,24	0,00	0
0,40	0,94	0,61
0,60	1,65	1,19
0,80	1,83	1,73
1,00	2,06	2,20
1,20	2,19	2,81
1,40	2,32	3,39
1,59	2,48	4,01
1,79	2,60	4,81
1,99	2,71	5,51
2,19	2,83	6,19
2,39	2,99	7,09
2,59	3,15	8,01
2,79	3,34	8,97
2,99	3,51	9,67
3,19	3,74	10,67
3,39	3,93	11,59
3,59	4,18	12,57
3,78	4,45	13,54
3,98	4,75	14,51
4,18	5,24	15,81
4,38	5,73	16,81



COLUMNA CC8

Carga Puente	Carga (kg)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4200,00	1603,00	1647,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
10	7,20	4125,00	1612,00	1770,00	0,09	1,23	0,75	1,23	0,35
15	10,80	4038,00	1654,00	1909,00	0,51	2,62	1,62	2,67	0,52
20	14,40	3958,00	1680,00	2030,00	0,77	3,83	2,42	3,91	0,69
25	18,00	3882,00	1691,00	2132,00	0,88	4,85	3,18	4,93	0,87
30	21,59	3810,00	1716,00	2190,00	1,13	5,43	3,90	5,55	1,04
35	25,19	3748,00	1763,00	2216,00	1,60	5,69	4,52	5,91	1,21
40	28,79	3685,00	1790,00	2239,00	1,87	5,92	5,15	6,21	1,39
45	32,38	3602,00	1814,00	2205,00	2,11	5,58	5,98	5,97	1,56
50	35,98	3538,00	1858,00	2291,00	2,55	6,44	6,62	6,93	1,73
55	39,57	3442,00	1894,00	2318,00	2,91	6,71	7,58	7,31	1,91
60	43,16	3380,00	1916,00	2342,00	3,13	6,95	8,20	7,62	2,08
65	46,76	3285,00	1981,00	2376,00	3,78	7,29	9,15	8,21	2,25
70	50,35	3198,00	2008,00	2405,00	4,05	7,58	10,02	8,59	2,43
75	53,94	3110,00	2076,00	2441,00	4,73	7,94	10,90	9,24	2,60
80	57,53	3028,00	2106,00	2475,00	5,03	8,28	11,72	9,69	2,77
85	61,12	2935,00	2177,00	2510,00	5,74	8,63	12,65	10,36	2,94
90	64,71	2842,00	2220,00	2553,00	6,17	9,06	13,58	10,96	3,12
95	68,30	2750,00	2295,00	2597,00	6,92	9,50	14,50	11,75	3,29
100	71,89	2658,00	2367,00	2641,00	7,64	9,94	15,42	12,54	3,46
105	75,47	2558,00	2450,00	2701,00	8,47	10,54	16,42	13,52	3,64
110	79,06	2468,00	2510,00	2752,00	9,07	11,05	17,32	14,30	3,81
115	82,65	2358,00	2605,00	2820,00	10,02	11,73	18,42	15,43	3,98

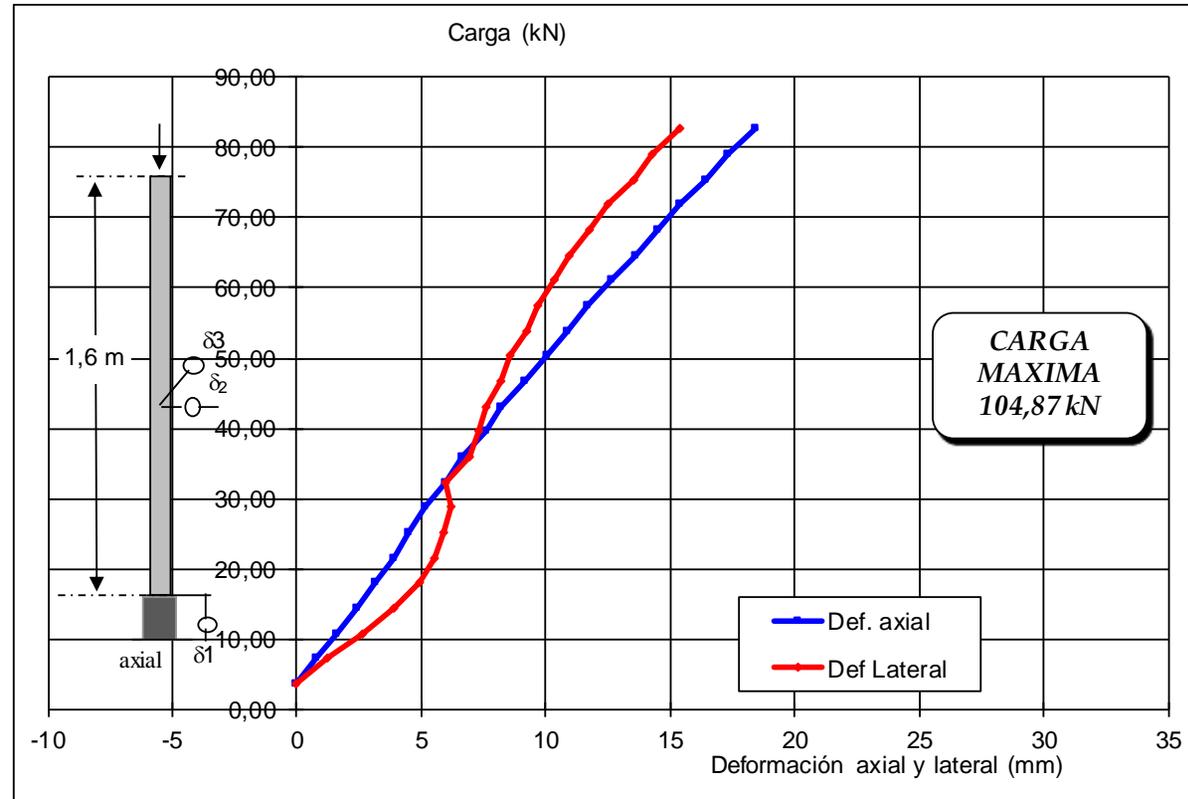
Pmax	146	Carga puente
	105	kN
Esf. Max	5,05	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	42319534	mm4
L. Col. medida	1600	mm

MUESTRA No.CC8 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60 m

AREA = 20755,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 09 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	1,23	0,75
10,80	2,67	1,62
14,40	3,91	2,42
18,00	4,93	3,18
21,59	5,55	3,90
25,19	5,91	4,52
28,79	6,21	5,15
32,38	5,97	5,98
35,98	6,93	6,62
39,57	7,31	7,58
43,16	7,62	8,20
46,76	8,21	9,15
50,35	8,59	10,02
53,94	9,24	10,90
57,53	9,69	11,72
61,12	10,36	12,65
64,71	10,96	13,58
68,30	11,75	14,50
71,89	12,54	15,42
75,47	13,52	16,42
79,06	14,30	17,32
82,65	15,43	18,42

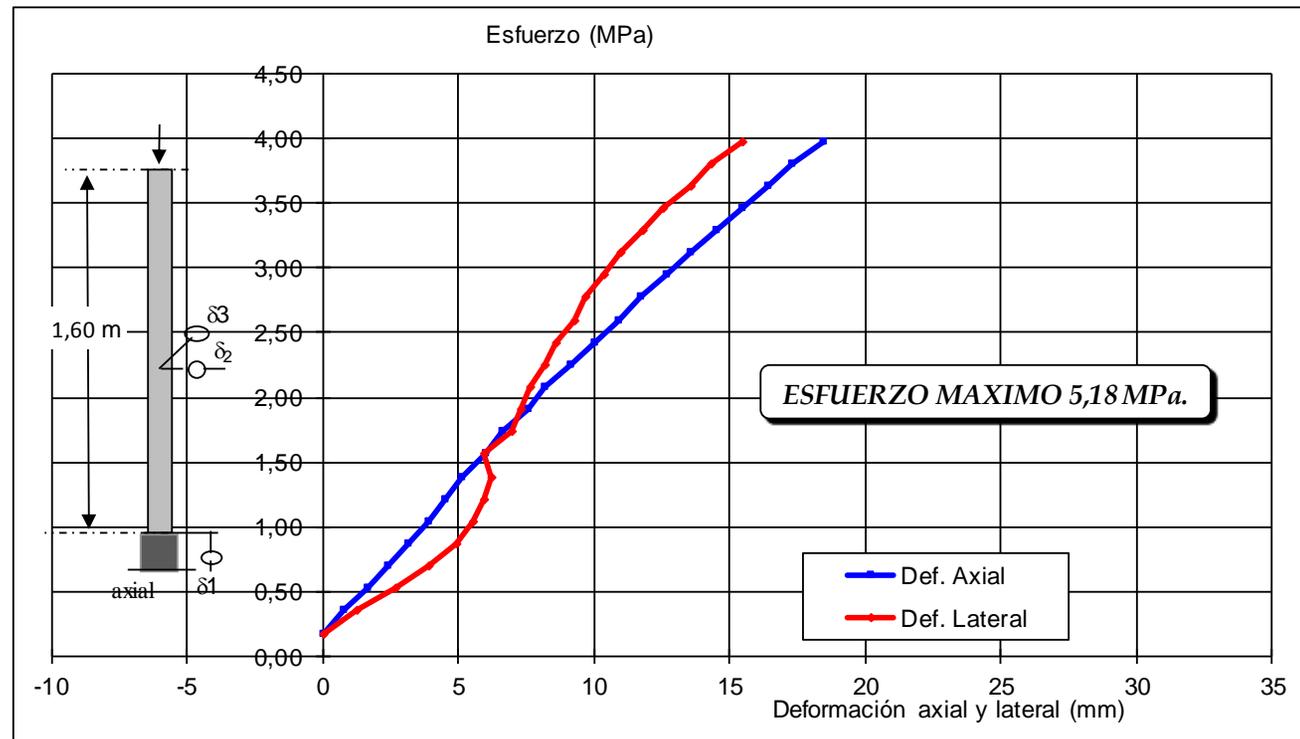


MUESTRA No.CC8 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60m

AREA = 20755,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,17	0,00	0
0,35	1,23	0,75
0,52	2,67	1,62
0,69	3,91	2,42
0,87	4,93	3,18
1,04	5,55	3,90
1,21	5,91	4,52
1,39	6,21	5,15
1,56	5,97	5,98
1,73	6,93	6,62
1,91	7,31	7,58
2,08	7,62	8,20
2,25	8,21	9,15
2,43	8,59	10,02
2,60	9,24	10,90
2,77	9,69	11,72
2,94	10,36	12,65
3,12	10,96	13,58
3,29	11,75	14,50
3,46	12,54	15,42
3,64	13,52	16,42
3,81	14,30	17,32
3,98	15,43	18,42



COLUMNA CC9

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4018,00	504,00	2106,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	7,20	3960,00	509,00	2180,00	0,05	0,74	0,58	0,74	0,39
15	10,80	3898,00	556,00	2247,00	0,52	1,41	1,20	1,50	0,59
20	14,40	3845,00	583,00	2295,00	0,79	1,89	1,73	2,05	0,79
25	18,00	3780,00	605,00	2340,00	1,01	2,34	2,38	2,55	0,98
30	21,59	3720,00	653,00	2363,00	1,49	2,57	2,98	2,97	1,18
35	25,19	3665,00	679,00	2382,00	1,75	2,76	3,53	3,27	1,38
40	28,79	3592,00	706,00	2402,00	2,02	2,96	4,26	3,58	1,58
45	32,38	3540,00	746,00	2415,00	2,42	3,09	4,78	3,92	1,77
50	35,98	3470,00	749,00	2428,00	2,45	3,22	5,48	4,05	1,97
55	39,57	3388,00	796,00	2444,00	2,92	3,38	6,30	4,47	2,17
60	43,16	3310,00	843,00	2459,00	3,39	3,53	7,08	4,89	2,36
65	46,76	3230,00	880,00	2476,00	3,76	3,70	7,88	5,28	2,56
70	50,35	3140,00	908,00	2497,00	4,04	3,91	8,78	5,62	2,76
75	53,94	3050,00	971,00	2518,00	4,67	4,12	9,68	6,23	2,95
80	57,53	2970,00	998,00	2538,00	4,94	4,32	10,48	6,56	3,15
85	61,12	2875,00	1070,00	2565,00	5,66	4,59	11,43	7,29	3,35
90	64,71	2782,00	1109,00	2593,00	6,05	4,87	12,36	7,77	3,54
95	68,30	2688,00	1191,00	2621,00	6,87	5,15	13,30	8,59	3,74
100	71,89	2492,00	1264,00	2655,00	7,60	5,49	15,26	9,38	3,93
105	75,47	2496,00	1345,00	2690,00	8,41	5,84	15,22	10,24	4,13
110	79,06	2400,00	1408,00	2728,00	9,04	6,22	16,18	10,97	4,33
115	82,65	2278,00	1545,00	2776,00	10,41	6,70	17,40	12,38	4,52
120	86,23	2150,00	1682,00	2830,00	11,78	7,24	18,68	13,83	4,72

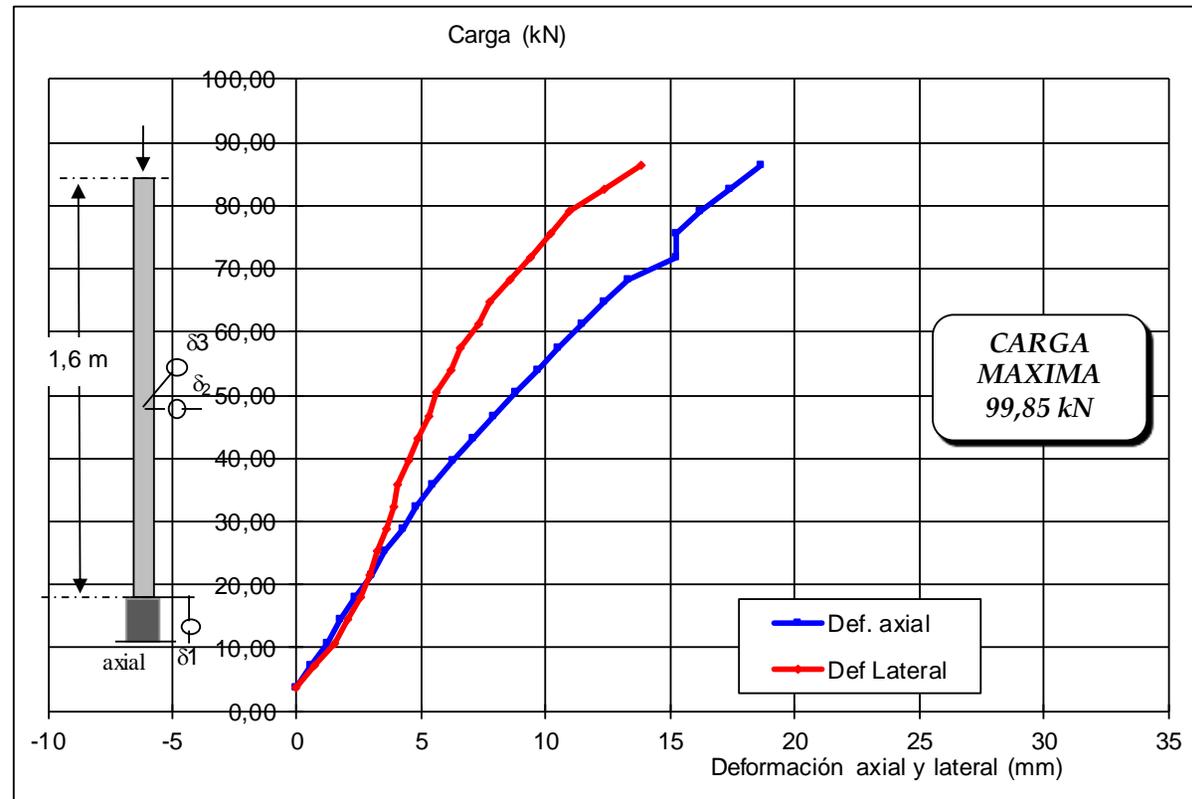
Pmax	139	Carga puente
	100	kN
Esf. Max	5,46	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	32774106	mm ⁴
L. Col. medida	1596	mm

MUESTRA No.CC9 - COMPRESIÓN EN COLUMNAL = 1,60 m

AREA = 18271,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 10 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,74	0,58
10,80	1,50	1,20
14,40	2,05	1,73
18,00	2,55	2,38
21,59	2,97	2,98
25,19	3,27	3,53
28,79	3,58	4,26
32,38	3,92	4,78
35,98	4,05	5,48
39,57	4,47	6,30
43,16	4,89	7,08
46,76	5,28	7,88
50,35	5,62	8,78
53,94	6,23	9,68
57,53	6,56	10,48
61,12	7,29	11,43
64,71	7,77	12,36
68,30	8,59	13,30
71,89	9,38	15,26
75,47	10,24	15,22
79,06	10,97	16,18
82,65	12,38	17,40
86,23	13,83	18,68

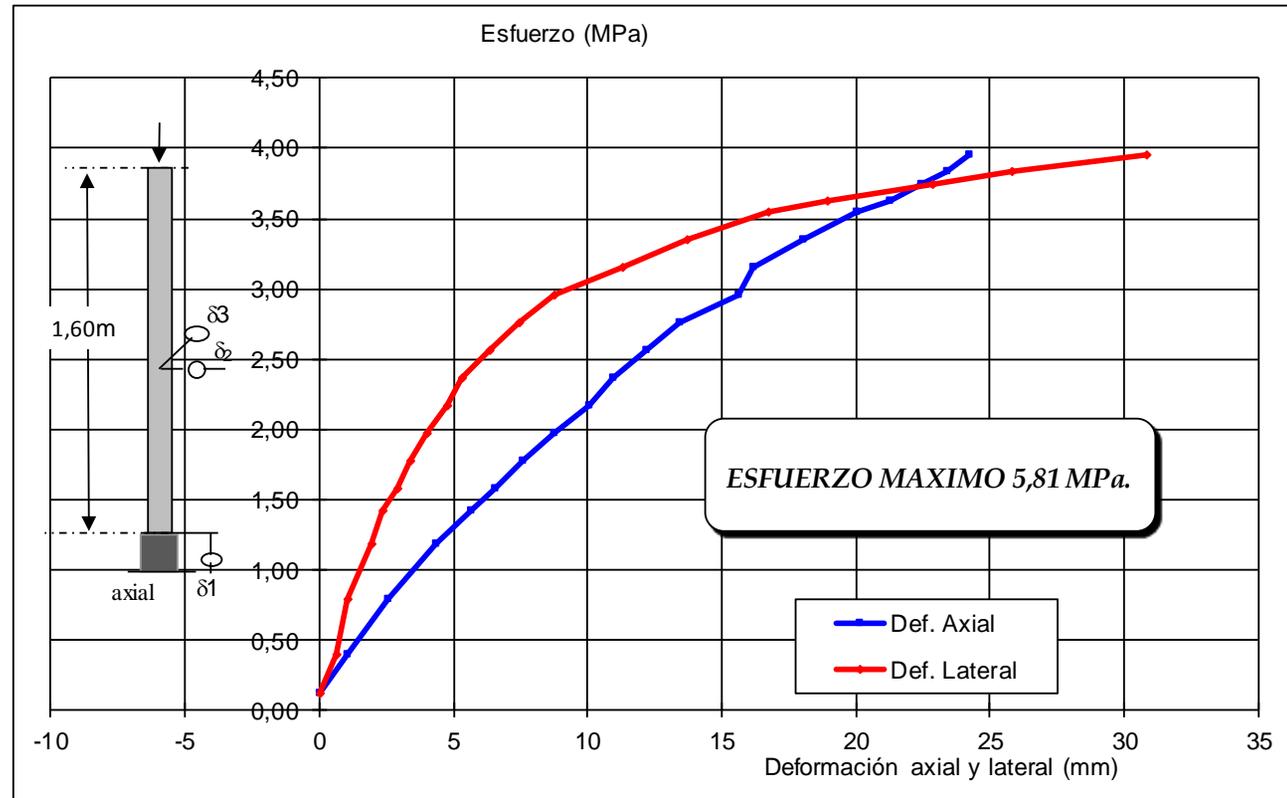


MUESTRA No.CC9 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 1,60m

AREA = 18271,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,20	0,00	0
0,39	0,74	0,58
0,59	1,50	1,20
0,79	2,05	1,73
0,98	2,55	2,38
1,18	2,97	2,98
1,38	3,27	3,53
1,58	3,58	4,26
1,77	3,92	4,78
1,97	4,05	5,48
2,17	4,47	6,30
2,36	4,89	7,08
2,56	5,28	7,88
2,76	5,62	8,78
2,95	6,23	9,68
3,15	6,56	10,48
3,35	7,29	11,43
3,54	7,77	12,36
3,74	8,59	13,30
3,93	9,38	15,26
4,13	10,24	15,22
4,33	10,97	16,18
4,52	12,38	17,40
4,72	13,83	18,68



COLUMNA CC10

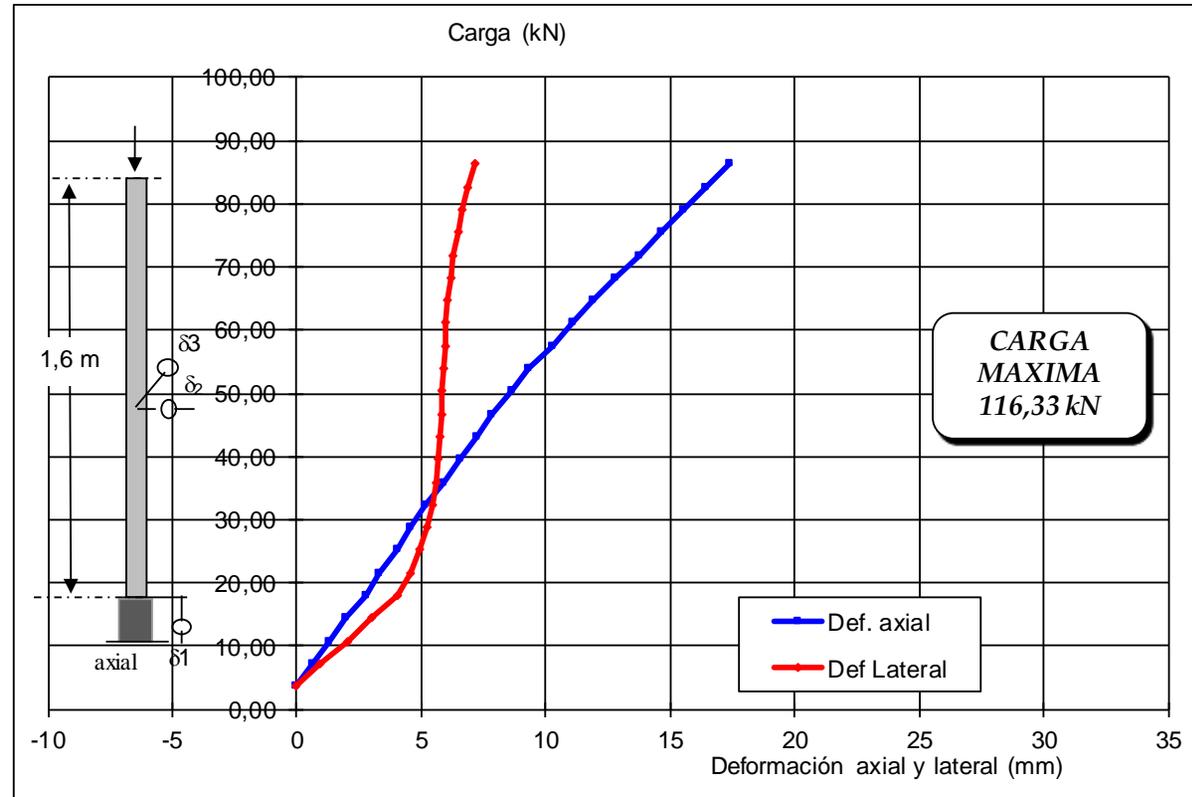
Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
5	3,60	4104,00	936,00	1200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	7,20	4042,00	840,00	1192,00	-0,96	-0,08	0,62	0,96	0,39
15	10,80	3973,00	735,00	1198,00	-2,01	-0,02	1,31	2,01	0,59
20	14,40	3908,00	632,00	1210,00	-3,04	0,10	1,96	3,04	0,78
25	18,00	3825,00	530,00	1215,00	-4,06	0,15	2,79	4,06	0,98
30	21,59	3770,00	482,00	1220,00	-4,54	0,20	3,34	4,54	1,17
35	25,19	3700,00	440,00	1229,00	-4,96	0,29	4,04	4,97	1,37
40	28,79	3645,00	415,00	1236,00	-5,21	0,36	4,59	5,22	1,56
45	32,38	3590,00	390,00	1244,00	-5,46	0,44	5,14	5,48	1,76
50	35,98	3513,00	375,00	1253,00	-5,61	0,53	5,91	5,63	1,96
55	39,57	3450,00	370,00	1256,00	-5,66	0,56	6,54	5,69	2,15
60	43,16	3380,00	364,00	1265,00	-5,72	0,65	7,24	5,76	2,35
65	46,76	3320,00	359,00	1269,00	-5,77	0,69	7,84	5,81	2,54
70	50,35	3240,00	356,00	1277,00	-5,80	0,77	8,64	5,85	2,74
75	53,94	3170,00	351,00	1282,00	-5,85	0,82	9,34	5,91	2,93
80	57,53	3080,00	348,00	1290,00	-5,88	0,90	10,24	5,95	3,13
85	61,12	2992,00	344,00	1298,00	-5,92	0,98	11,12	6,00	3,32
90	64,71	2915,00	337,00	1305,00	-5,99	1,05	11,89	6,08	3,52
95	68,30	2822,00	330,00	1315,00	-6,06	1,15	12,82	6,17	3,71
100	71,89	2728,00	320,00	1327,00	-6,16	1,27	13,76	6,29	3,91
105	75,47	2638,00	305,00	1338,00	-6,31	1,38	14,66	6,46	4,10
110	79,06	2550,00	285,00	1349,00	-6,51	1,49	15,54	6,68	4,30
115	82,65	2462,00	265,00	1360,00	-6,71	1,60	16,42	6,90	4,49
120	86,23	2365,00	240,00	1373,00	-6,96	1,73	17,39	7,17	4,69

Pmax	162	Carga puente
	11633	kN
Esf. Max	6,32	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	34016479	mm ⁴
L. Col. medida	1563	mm

MUESTRA No.CC10 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 1,60 m**AREA = 18395,48 mm²**

Fecha de Ensayo: Octubre 10 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,96	0,62
10,80	2,01	1,31
14,40	3,04	1,96
18,00	4,06	2,79
21,59	4,54	3,34
25,19	4,97	4,04
28,79	5,22	4,59
32,38	5,48	5,14
35,98	5,63	5,91
39,57	5,69	6,54
43,16	5,76	7,24
46,76	5,81	7,84
50,35	5,85	8,64
53,94	5,91	9,34
57,53	5,95	10,24
61,12	6,00	11,12
64,71	6,08	11,89
68,30	6,17	12,82
71,89	6,29	13,76
75,47	6,46	14,66
79,06	6,68	15,54
82,65	6,90	16,42
86,23	7,17	17,39

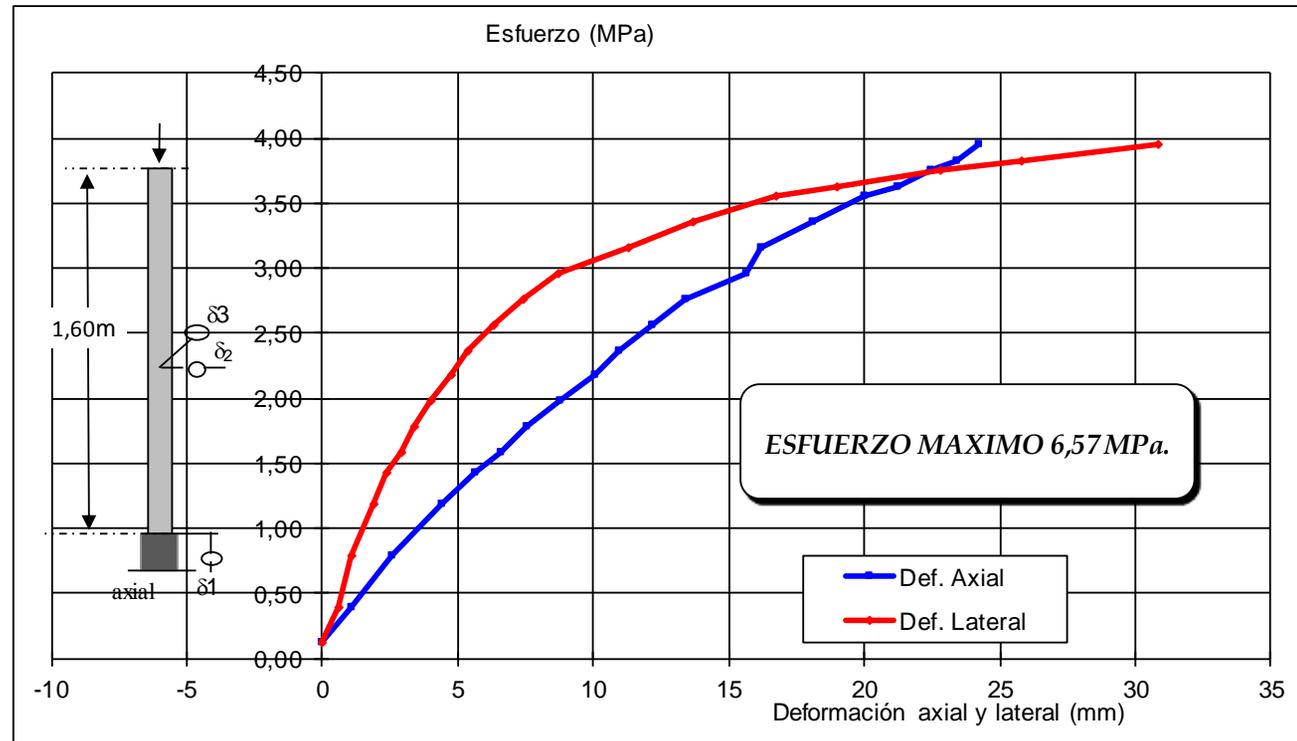


MUESTRA No.CC10 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 1,60m

AREA = 18395,48 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,20	0,00	0
0,39	0,96	0,62
0,59	2,01	1,31
0,78	3,04	1,96
0,98	4,06	2,79
1,17	4,54	3,34
1,37	4,97	4,04
1,56	5,22	4,59
1,76	5,48	5,14
1,96	5,63	5,91
2,15	5,69	6,54
2,35	5,76	7,24
2,54	5,81	7,84
2,74	5,85	8,64
2,93	5,91	9,34
3,13	5,95	10,24
3,32	6,00	11,12
3,52	6,08	11,89
3,71	6,17	12,82
3,91	6,29	13,76
4,10	6,46	14,66
4,30	6,68	15,54
4,49	6,90	16,42
4,69	7,17	17,39



Las columnas ensayadas de 0,80m se nombran desde CC-11 hasta CC-15.

ÁREA DE ELEMENTOS		COLUMNAS h = 0,80 m				
Dimensiones	CC-11	CC-12	CC-13	CC-14	CC-15	UN
1	41,7	49,59	43,51	40,84	40,7	mm
2	29,71	30,32	29,97	29,87	29,87	mm
3	40,61	39,16	45,98	42,19	42,2	mm
4	150,54	149,14	156	149,75	150,52	mm
5	60,04	60,145	62,6	59,14	60,48	mm
6	59,6	61,85	69,76	60,71	59,45	mm
7	147,97	146,15	157	148,14	149,36	mm
8	58,83	58,25	63,61	58,61	59,06	mm
9	61,45	59,81	64,5	61,54	58,8	mm
10	146,8	140,38	157	148,82	150,65	mm
11	60,51	61,5	63,255	59,57	58,1	mm
12	59,91	60,07	61,995	60,705	61,28	mm
13	148,84	149,37	158	147,27	150,35	mm
14	31,63	32,02	31,7	31,28	31,85	mm
A	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
B	19,3	15,0	18,3	18,4	18,9	mm
C	28,3	24,2	24,6	28,3	29,4	mm
D	26,5	22,3	28,9	28,7	32,8	mm
E	28,4	27,8	32,8	27,0	31,0	mm
h prom.:	148,4	147,8	157,5	147,7	149,9	mm
Ancho prom.:	148,7	144,8	156,5	149,3	150,6	mm
A1	22.063,4	21.389,7	24.648,8	22.050,1	22.565,9	mm2
A2	3852,2	3341,1	3893,4	3778,8	4170,4	mm2
A Total	18.211,15	18.048,61	20.755,36	18.271,36	18.395,48	mm2

- A continuación se muestra la inercia en la sección de las columnas de 0,80m:

Columnas	Altura	Área	Inercia
	(m)	(mm ²)	(mm ⁴)
CC-11	0,80	18.211,15	33.052.468
CC-12	0,80	18.048,61	33.022.883
CC-13	0,80	20.755,36	42.319.534
CC-14	0,80	18.271,36	32.774.106
CC-15	0,80	18.395,48	34.016.479

- Resultado de columnas de 0,80m:

COLUMNA CC11

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
6	4,32	4487,00	1451,00	2715,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
10	7,20	4460,00	1451,00	2718,00	0,00	0,03	0,27	0,03	0,40
20	14,40	4374,00	1451,00	2721,00	0,00	0,06	1,13	0,06	0,79
30	21,59	4356,00	1467,00	2725,00	0,16	0,10	1,31	0,19	1,19
40	28,79	4162,00	1485,00	2725,00	0,34	0,10	3,25	0,35	1,58
50	35,98	4070,00	1493,00	2725,00	0,42	0,10	4,17	0,43	1,98
60	43,16	3950,00	1511,00	2725,00	0,60	0,10	5,37	0,61	2,37
70	50,35	3830,00	1552,00	2725,00	1,01	0,10	6,57	1,01	2,76
80	57,53	3710,00	1573,00	2725,00	1,22	0,10	7,77	1,22	3,16
90	64,71	3552,00	1595,00	2725,00	1,44	0,10	9,35	1,44	3,55
100	71,89	3402,00	1619,00	2725,00	1,68	0,10	10,85	1,68	3,95
110	79,06	3290,00	1672,00	2725,00	2,21	0,10	11,97	2,21	4,34
115	82,65	3050,00	1692,00	2725,00	2,41	0,10	14,37	2,41	4,54
120	86,23	2940,00	1708,00	2725,00	2,57	0,10	15,47	2,57	4,74
125	89,82	2820,00	1751,00	2725,00	3,00	0,10	16,67	3,00	4,93
130	93,40	2725,00	1780,00	2725,00	3,29	0,10	17,62	3,29	5,13
135	96,99	2660,00	1802,00	2720,00	3,51	0,05	18,27	3,51	5,33
140	100,57	2440,00	1862,00	2718,00	4,11	0,03	20,47	4,11	5,52
145	104,15	2245,00	1905,00	2710,00	4,54	-0,05	22,42	4,54	5,72
150	107,73	2090,00	1972,00	2700,00	5,21	-0,15	23,97	5,21	5,92
155	111,31	1940,00	2035,00	2683,00	5,84	-0,32	25,47	5,85	6,11
160	114,89	1840,00	2080,00	2668,00	6,29	-0,47	26,47	6,31	6,31
165	118,47	1715,00	2095,00	2648,00	6,44	-0,67	27,72	6,47	6,51

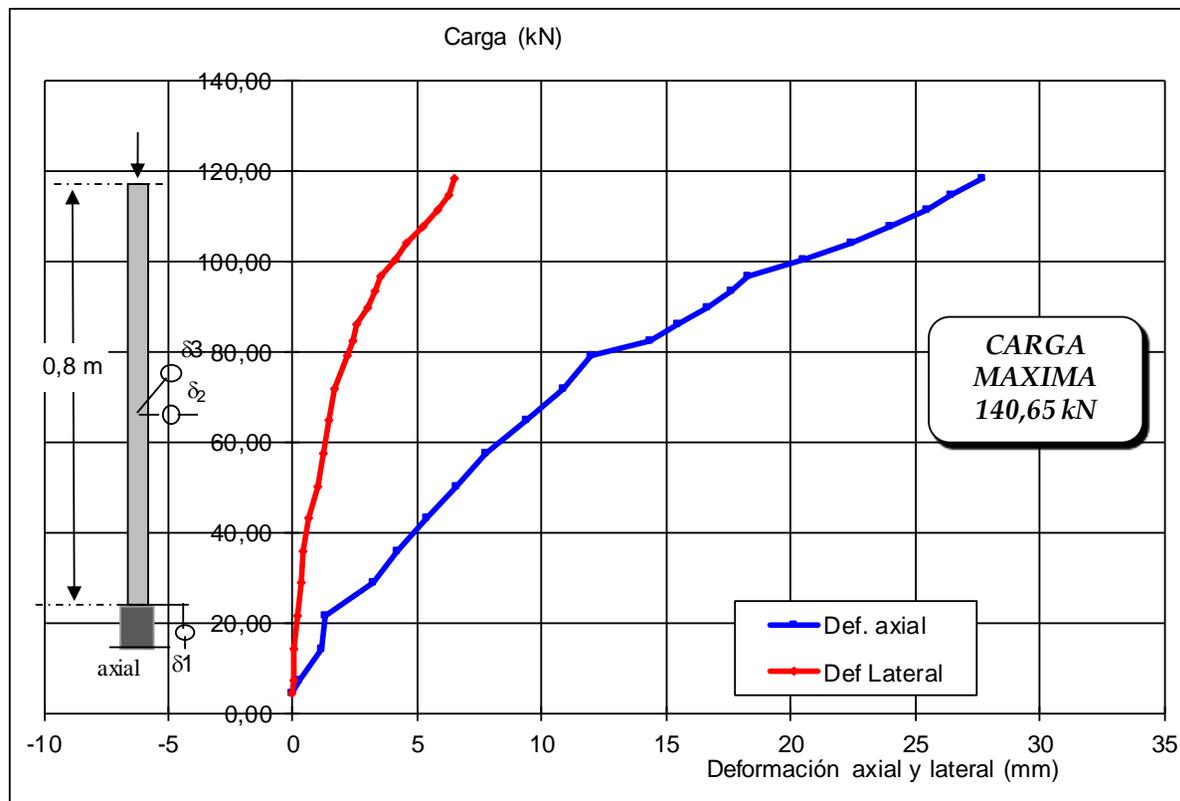
Pmax	196	Carga puente
	141	kN
Esf. Max	7,72	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33052468	mm ⁴
L. Col. medida	800	mm
Esf. Critico	0,94	MPa

MUESTRA No.CC11 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80 m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 10 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
4,32	0,00	0
7,20	0,03	0,27
14,40	0,06	1,13
21,59	0,19	1,31
28,79	0,35	3,25
35,98	0,43	4,17
43,16	0,61	5,37
50,35	1,01	6,57
57,53	1,22	7,77
64,71	1,44	9,35
71,89	1,68	10,85
79,06	2,21	11,97
82,65	2,41	14,37
86,23	2,57	15,47
89,82	3,00	16,67
93,40	3,29	17,62
96,99	3,51	18,27
100,57	4,11	20,47
104,15	4,54	22,42
107,73	5,21	23,97
111,31	5,85	25,47
114,89	6,31	26,47
118,47	6,47	27,72

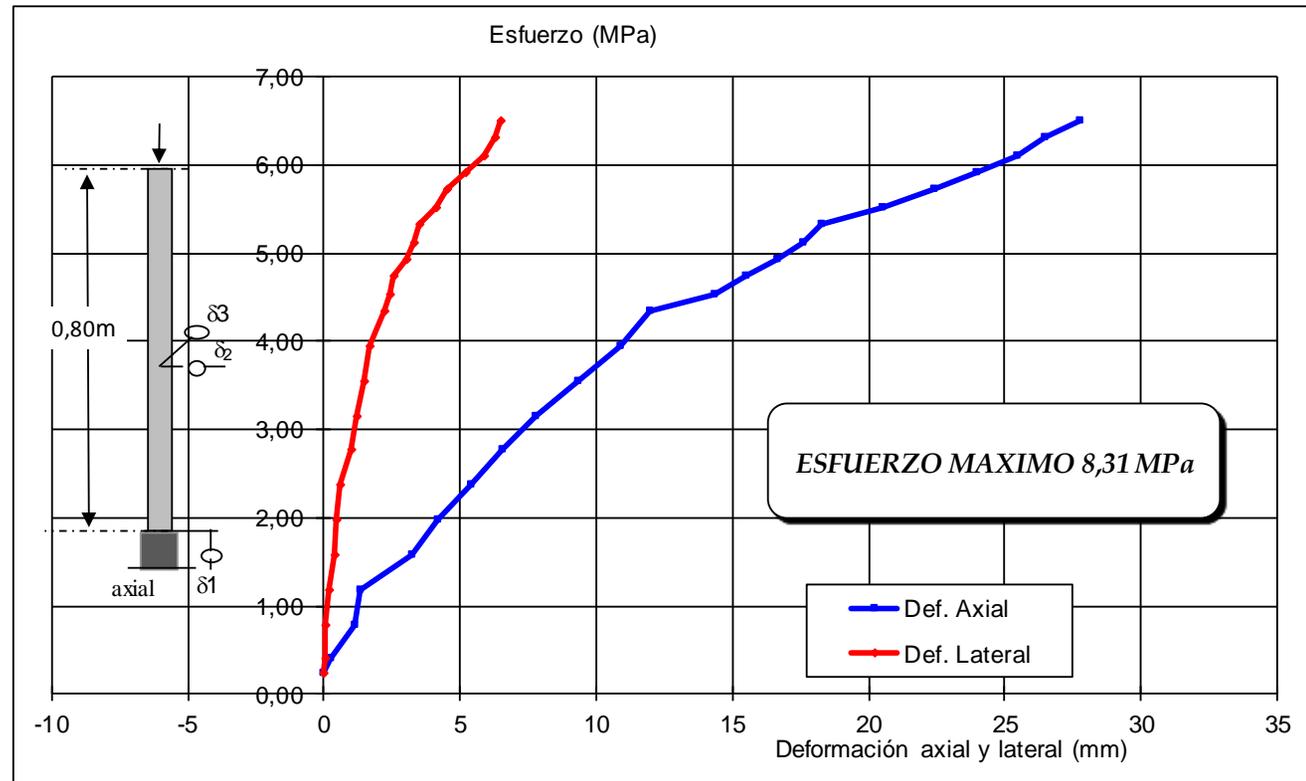


MUESTRA No.CC11 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80m

AREA = 18211,15 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,24	0,00	0
0,40	0,03	0,27
0,79	0,06	1,13
1,19	0,19	1,31
1,58	0,35	3,25
1,98	0,43	4,17
2,37	0,61	5,37
2,76	1,01	6,57
3,16	1,22	7,77
3,55	1,44	9,35
3,95	1,68	10,85
4,34	2,21	11,97
4,54	2,41	14,37
4,74	2,57	15,47
4,93	3,00	16,67
5,13	3,29	17,62
5,33	3,51	18,27
5,52	4,11	20,47
5,72	4,54	22,42
5,92	5,21	23,97
6,11	5,85	25,47
6,31	6,31	26,47
6,51	6,47	27,72



COLUMNA CC12

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
6	4,32	4148,00	935,00	3090,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
10	7,20	4110,00	935,00	3092,00	0,00	0,02	0,38	0,02	0,40
20	14,40	3920,00	960,00	3095,00	0,25	0,05	2,28	0,25	0,80
30	21,59	3820,00	977,00	3095,00	0,42	0,05	3,28	0,42	1,20
40	28,79	3715,00	992,00	3090,00	0,57	0,00	4,33	0,57	1,59
50	35,98	3625,00	1005,00	3087,00	0,70	-0,03	5,23	0,70	1,99
60	43,16	3505,00	1041,00	3083,00	1,06	-0,07	6,43	1,06	2,39
70	50,35	3410,00	1063,00	3078,00	1,28	-0,12	7,38	1,29	2,79
80	57,53	3290,00	1094,00	3078,00	1,59	-0,12	8,58	1,59	3,19
90	64,71	3170,00	1111,00	3078,00	1,76	-0,12	9,78	1,76	3,59
100	71,89	3050,00	1163,00	3078,00	2,28	-0,12	10,98	2,28	3,98
110	79,06	2990,00	1205,00	3078,00	2,70	-0,12	11,58	2,70	4,38
120	86,23	2740,00	1262,00	3078,00	3,27	-0,12	14,08	3,27	4,78
130	93,40	2585,00	1303,00	3077,00	3,68	-0,13	15,63	3,68	5,18
140	100,57	2398,00	1390,00	3075,00	4,55	-0,15	17,50	4,55	5,57
150	107,73	2180,00	1488,00	3072,00	5,53	-0,18	19,68	5,53	5,97
160	114,89	1960,00	1598,00	3068,00	6,63	-0,22	21,88	6,63	6,37
170	122,05	1685,00	1779,00	3055,00	8,44	-0,35	24,63	8,45	6,76
180	129,21	1408,00	2000,00	3040,00	10,65	-0,50	27,40	10,66	7,16

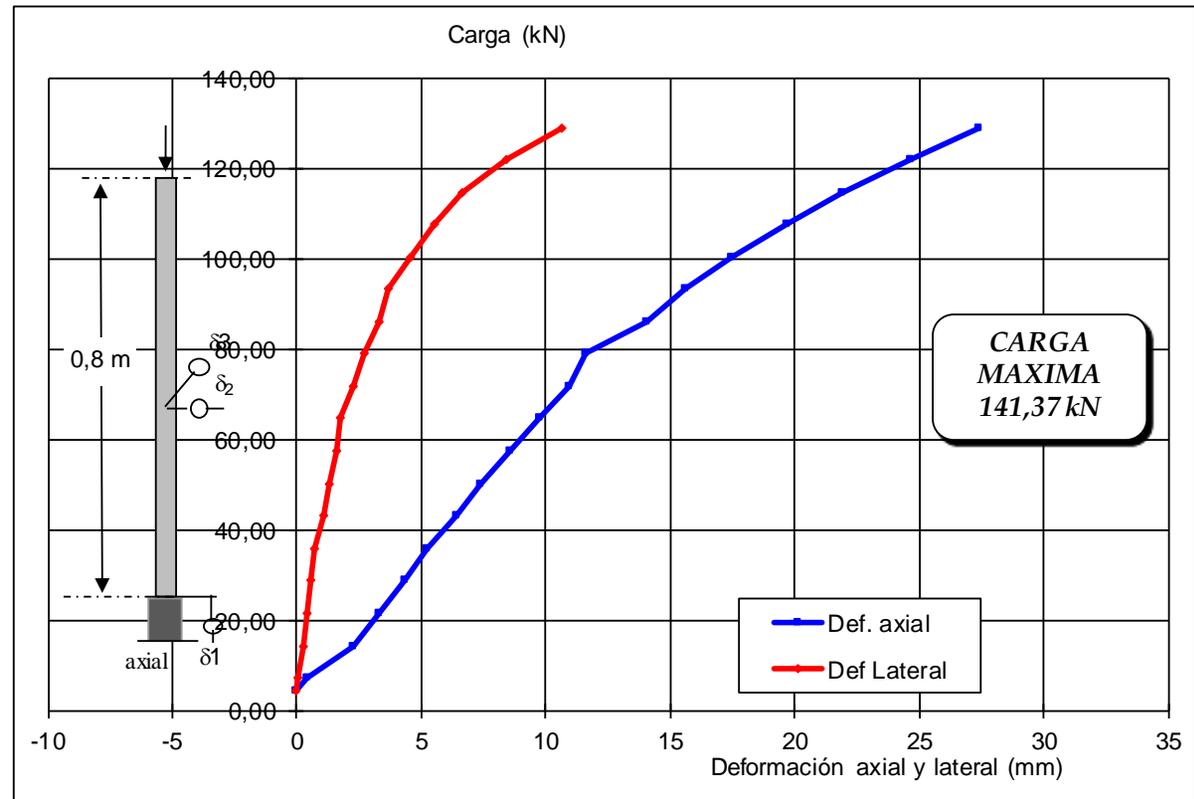
Pmax	197	Carga puente
	141	kN
Esf. Max	7,83	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	33022883	mm ⁴
L. Col. medida	802	mm

MUESTRA No.CC12 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80 m

AREA = 18048,61 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 10 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
4,32	0,00	0
7,20	0,02	0,38
14,40	0,25	2,28
21,59	0,42	3,28
28,79	0,57	4,33
35,98	0,70	5,23
43,16	1,06	6,43
50,35	1,29	7,38
57,53	1,59	8,58
64,71	1,76	9,78
71,89	2,28	10,98
79,06	2,70	11,58
86,23	3,27	14,08
93,40	3,68	15,63
100,57	4,55	17,50
107,73	5,53	19,68
114,89	6,63	21,88
122,05	8,45	24,63
129,21	10,66	27,40



COLUMNA CC13

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
3	2,16	3234,00	1180,00	3200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
10	7,20	3100,00	1133,00	3266,00	-0,47	0,66	1,34	0,81	0,35
20	14,40	3010,00	1108,00	3275,00	-0,72	0,75	2,24	1,04	0,69
30	21,59	2930,00	1090,00	3297,00	-0,90	0,97	3,04	1,32	1,04
40	28,79	2840,00	1084,00	3309,00	-0,96	1,09	3,94	1,45	1,39
50	35,98	2752,00	1082,00	3318,00	-0,98	1,18	4,82	1,53	1,73
60	43,16	2665,00	1082,00	3327,00	-0,98	1,27	5,69	1,60	2,08
70	50,35	2580,00	1086,00	3334,00	-0,94	1,34	6,54	1,64	2,43
80	57,53	2490,00	1092,00	3340,00	-0,88	1,40	7,44	1,65	2,77
90	64,71	2395,00	1092,00	3346,00	-0,88	1,46	8,39	1,70	3,12
100	71,89	2288,00	1106,00	3353,00	-0,74	1,53	9,46	1,70	3,46
110	79,06	2198,00	1133,00	3358,00	-0,47	1,58	10,36	1,65	3,81
120	86,23	2070,00	1151,00	3368,00	-0,29	1,68	11,64	1,70	4,15
130	93,40	1932,00	1170,00	3335,00	-0,10	1,35	13,02	1,35	4,50
140	100,57	1812,00	1186,00	3375,00	0,06	1,75	14,22	1,75	4,85
150	107,73	1652,00	1202,00	3392,00	0,22	1,92	15,82	1,93	5,19
160	114,89	1500,00	1212,00	3407,00	0,32	2,07	17,34	2,09	5,54
170	122,05	1338,00	1260,00	3417,00	0,80	2,17	18,96	2,31	5,88
180	129,21	1112,00	1291,00	3431,00	1,11	2,31	21,22	2,56	6,23
190	136,36	905,00	1353,00	3445,00	1,73	2,45	23,29	3,00	6,57
200	143,51	720,00	1396,00	3455,00	2,16	2,55	25,14	3,34	6,91

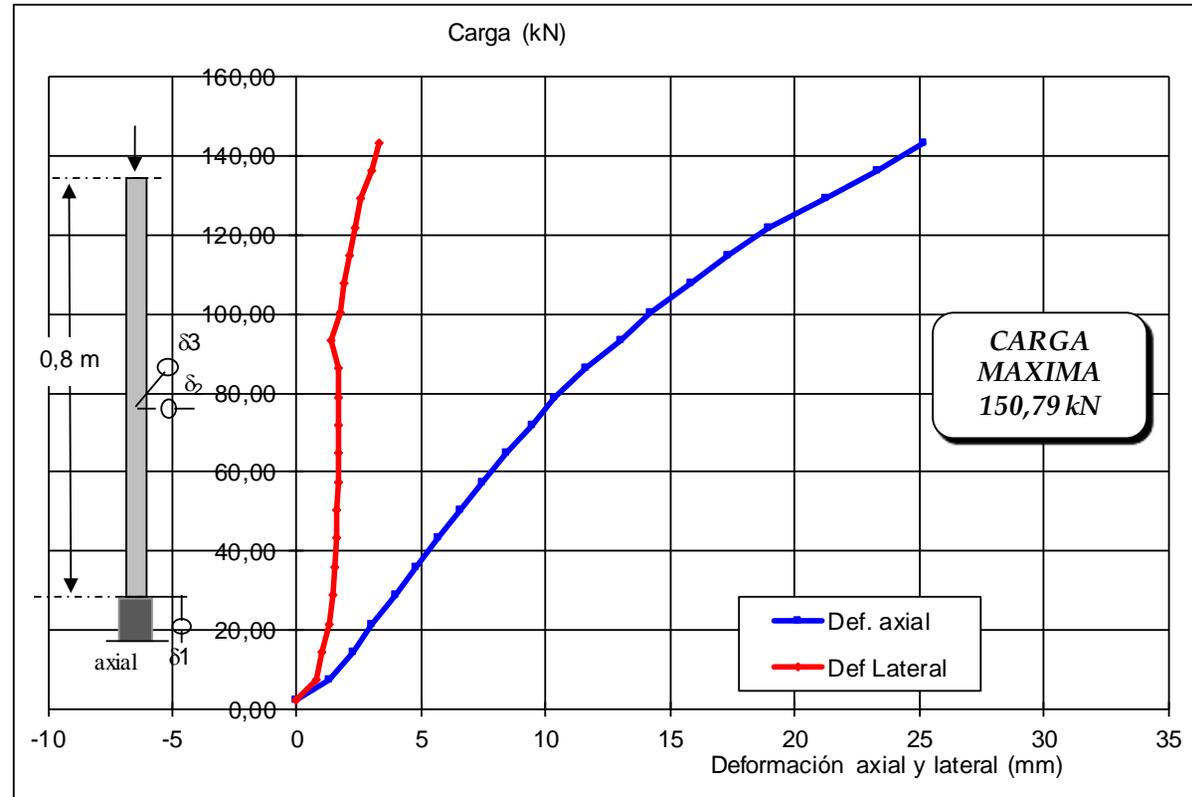
Pmax	219	Carga puente
	157	kN
Esf. Max	7,57	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	42319534	mm ⁴
L. Col. medida	798	mm

MUESTRA No.CC13 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80 m

AREA = 20755,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 11 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
2,16	0,00	0
7,20	0,81	1,34
14,40	1,04	2,24
21,59	1,32	3,04
28,79	1,45	3,94
35,98	1,53	4,82
43,16	1,60	5,69
50,35	1,64	6,54
57,53	1,65	7,44
64,71	1,70	8,39
71,89	1,70	9,46
79,06	1,65	10,36
86,23	1,70	11,64
93,40	1,35	13,02
100,57	1,75	14,22
107,73	1,93	15,82
114,89	2,09	17,34
122,05	2,31	18,96
129,21	2,56	21,22
136,36	3,00	23,29
143,51	3,34	25,14

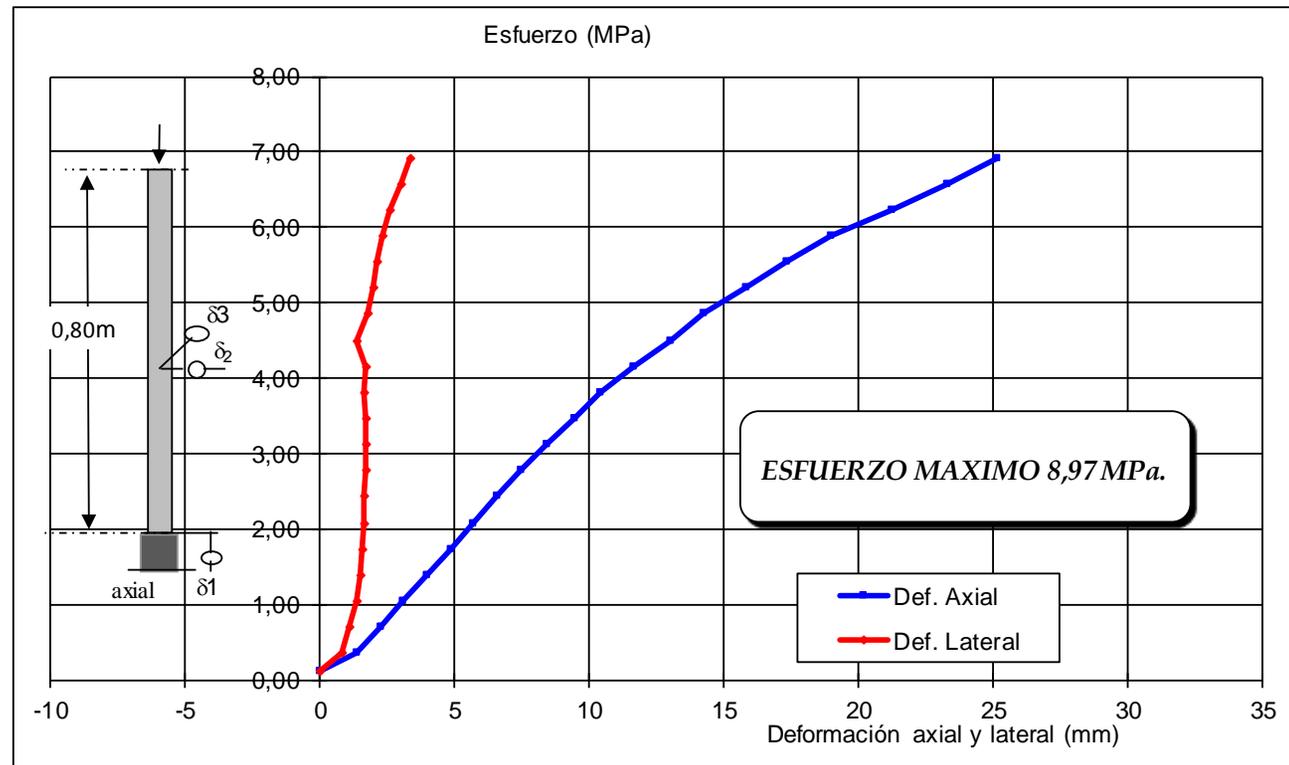


MUESTRA No.CC13 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80m

AREA = 20755,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,10	0,00	0
0,35	0,81	1,34
0,69	1,04	2,24
1,04	1,32	3,04
1,39	1,45	3,94
1,73	1,53	4,82
2,08	1,60	5,69
2,43	1,64	6,54
2,77	1,65	7,44
3,12	1,70	8,39
3,46	1,70	9,46
3,81	1,65	10,36
4,15	1,70	11,64
4,50	1,35	13,02
4,85	1,75	14,22
5,19	1,93	15,82
5,54	2,09	17,34
5,88	2,31	18,96
6,23	2,56	21,22
6,57	3,00	23,29
6,91	3,34	25,14



COLUMNA CC14

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	(MPa)
5	3,60	3900,00	1500,00	2610,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
10	7,20	3862,00	1540,00	2610,00	0,40	0,00	0,38	0,40	0,39
20	14,40	3768,00	1594,00	2610,00	0,94	0,00	1,32	0,94	0,79
30	21,59	3668,00	1615,00	2600,00	1,15	-0,10	2,32	1,15	1,18
40	28,79	3590,00	1639,00	2606,00	1,39	-0,04	3,10	1,39	1,58
50	35,98	3490,00	1648,00	2606,00	1,48	-0,04	4,10	1,48	1,97
60	43,16	3410,00	1657,00	2614,00	1,57	0,04	4,90	1,57	2,36
70	50,35	3310,00	1670,00	2622,00	1,70	0,12	5,90	1,70	2,76
80	57,53	3235,00	1685,00	2633,00	1,85	0,23	6,65	1,86	3,15
90	64,71	3150,00	1691,00	2644,00	1,91	0,34	7,50	1,94	3,54
100	71,89	3060,00	1710,00	2653,00	2,10	0,43	8,40	2,14	3,93
110	79,06	2943,00	1755,00	2666,00	2,55	0,56	9,57	2,61	4,33
120	86,23	2845,00	1782,00	2676,00	2,82	0,66	10,55	2,90	4,72
130	93,40	2728,00	1807,00	2689,00	3,07	0,79	11,72	3,17	5,11
140	100,57	2608,00	1870,00	2703,00	3,70	0,93	12,92	3,82	5,50
150	107,73	2485,00	1910,00	2716,00	4,10	1,06	14,15	4,23	5,90
160	114,89	2358,00	1985,00	2730,00	4,85	1,20	15,42	5,00	6,29
170	122,05	2230,00	2055,00	2745,00	5,55	1,35	16,70	5,71	6,68
180	129,21	2048,00	2170,00	2755,00	6,70	1,45	18,52	6,86	7,07
190	136,36	1892,00	2285,00	2786,00	7,85	1,76	20,08	8,04	7,46
200	143,51	1688,00	2485,00	2815,00	9,85	2,05	22,12	10,06	7,85

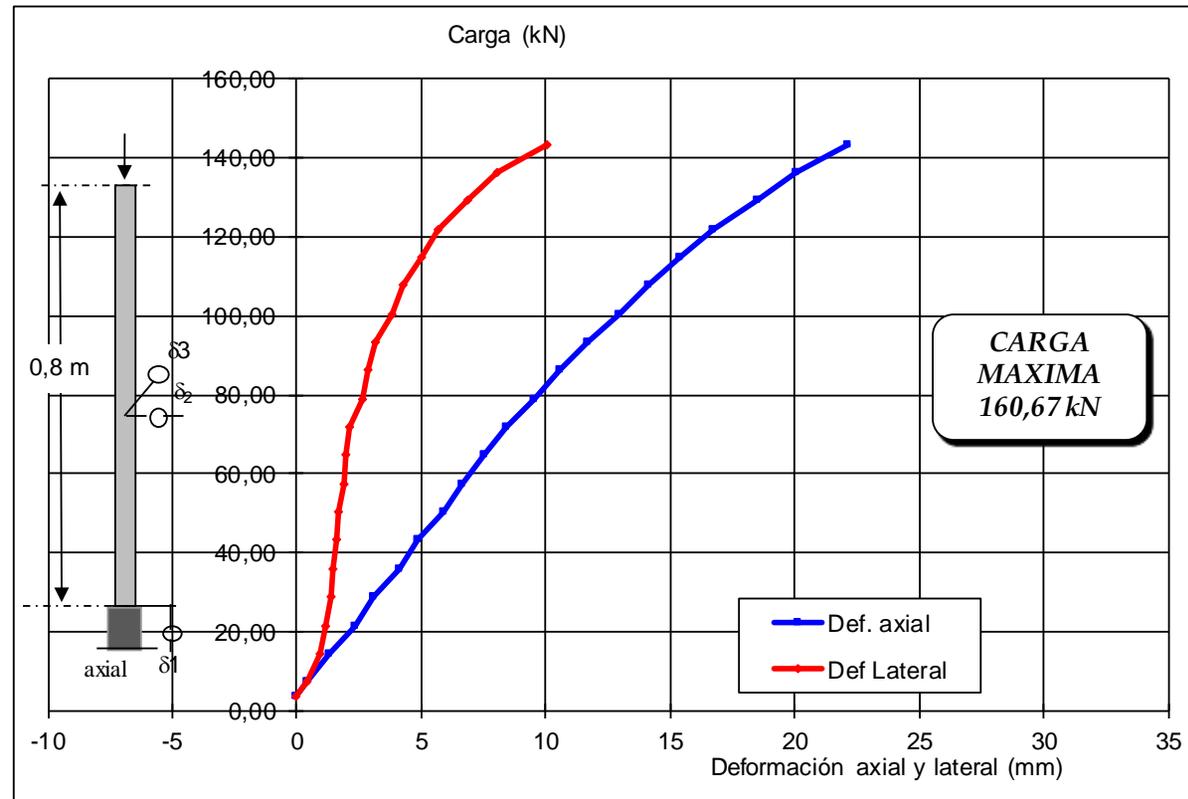
Pmax	224	Carga puente
	16067	kN
Esf. Max	8,79	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	32774106	mm4
L. Col. medida	797	mm

MUESTRA No.CC14 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80 m

AREA = 18271,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 11 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
3,60	0,00	0
7,20	0,40	0,38
14,40	0,94	1,32
21,59	1,15	2,32
28,79	1,39	3,10
35,98	1,48	4,10
43,16	1,57	4,90
50,35	1,70	5,90
57,53	1,86	6,65
64,71	1,94	7,50
71,89	2,14	8,40
79,06	2,61	9,57
86,23	2,90	10,55
93,40	3,17	11,72
100,57	3,82	12,92
107,73	4,23	14,15
114,89	5,00	15,42
122,05	5,71	16,70
129,21	6,86	18,52
136,36	8,04	20,08
143,51	10,06	22,12

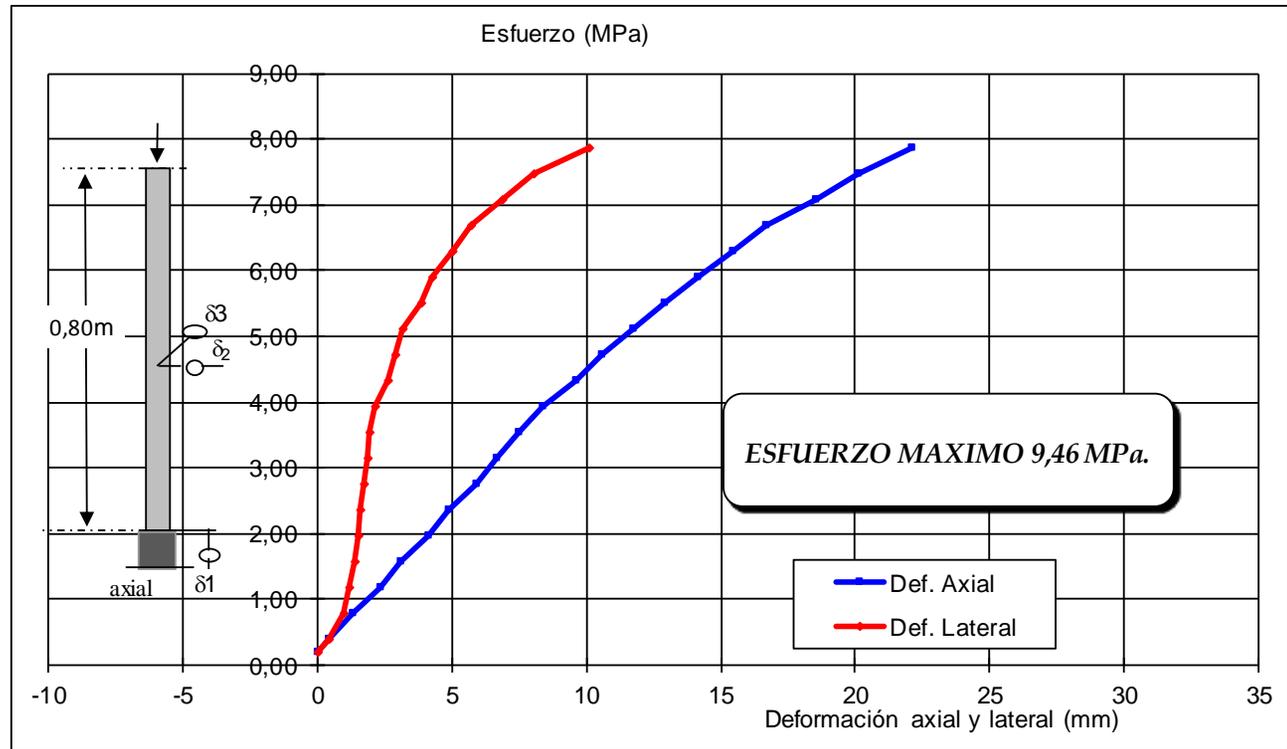


MUESTRA No.CC14 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80m

AREA = 18271,36 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,20	0,00	0
0,39	0,40	0,38
0,79	0,94	1,32
1,18	1,15	2,32
1,58	1,39	3,10
1,97	1,48	4,10
2,36	1,57	4,90
2,76	1,70	5,90
3,15	1,86	6,65
3,54	1,94	7,50
3,93	2,14	8,40
4,33	2,61	9,57
4,72	2,90	10,55
5,11	3,17	11,72
5,50	3,82	12,92
5,90	4,23	14,15
6,29	5,00	15,42
6,68	5,71	16,70
7,07	6,86	18,52
7,46	8,04	20,08
7,85	10,06	22,12



COLUMNA CC15

Carga Puente	Carga (kN)	Axial	Lateral		Lateral		Axial	Lateral	Esfuerzo (MPa)
		Def 3 10 ⁻² mm	Def 1 10 ⁻² mm	Def 2 10 ⁻³ mm	Def 1 (mm)	Def 2 (mm)	Def 3 (mm)	Prom (mm)	
4	2,88	4195,00	1835,00	2517,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
10	7,20	4152,00	1859,00	2505,00	0,24	-0,12	0,43	0,27	0,39
20	14,40	4075,00	1888,00	2476,00	0,53	-0,41	1,20	0,67	0,78
30	21,59	4092,00	1905,00	2454,00	0,70	-0,63	1,03	0,94	1,17
40	28,79	3910,00	1955,00	2447,00	1,20	-0,70	2,85	1,39	1,56
50	35,98	3850,00	1980,00	2447,00	1,45	-0,70	3,45	1,61	1,96
60	43,16	3768,00	1995,00	2449,00	1,60	-0,68	4,27	1,74	2,35
70	50,35	3680,00	2046,00	2451,00	2,11	-0,66	5,15	2,21	2,74
80	57,53	3593,00	2081,00	2453,00	2,46	-0,64	6,02	2,54	3,13
90	64,71	3505,00	2103,00	2455,00	2,68	-0,62	6,90	2,75	3,52
100	71,89	3415,00	2158,00	2455,00	3,23	-0,62	7,80	3,29	3,91
110	79,06	3200,00	2196,00	2456,00	3,61	-0,61	9,95	3,66	4,30
120	86,23	3190,00	2261,00	2457,00	4,26	-0,60	10,05	4,30	4,69
130	93,40	3070,00	2310,00	2460,00	4,75	-0,57	11,25	4,78	5,08
140	100,57	2978,00	2375,00	2462,00	5,40	-0,55	12,17	5,43	5,47
150	107,73	2835,00	2463,00	2466,00	6,28	-0,51	13,60	6,30	5,86
160	114,89	2715,00	2542,00	2471,00	7,07	-0,46	14,80	7,08	6,25
170	122,05	2543,00	2673,00	2480,00	8,38	-0,37	16,52	8,39	6,63
180	129,21	2396,00	2790,00	2489,00	9,55	-0,28	17,99	9,55	7,02
190	136,36	2253,00	2918,00	2500,00	10,83	-0,17	19,42	10,83	7,41
200	143,51	2040,00	3167,00	2519,00	13,32	0,02	21,55	13,32	7,80
210	150,66	1888,00	3480,00	2545,00	16,45	0,28	23,07	16,45	8,19

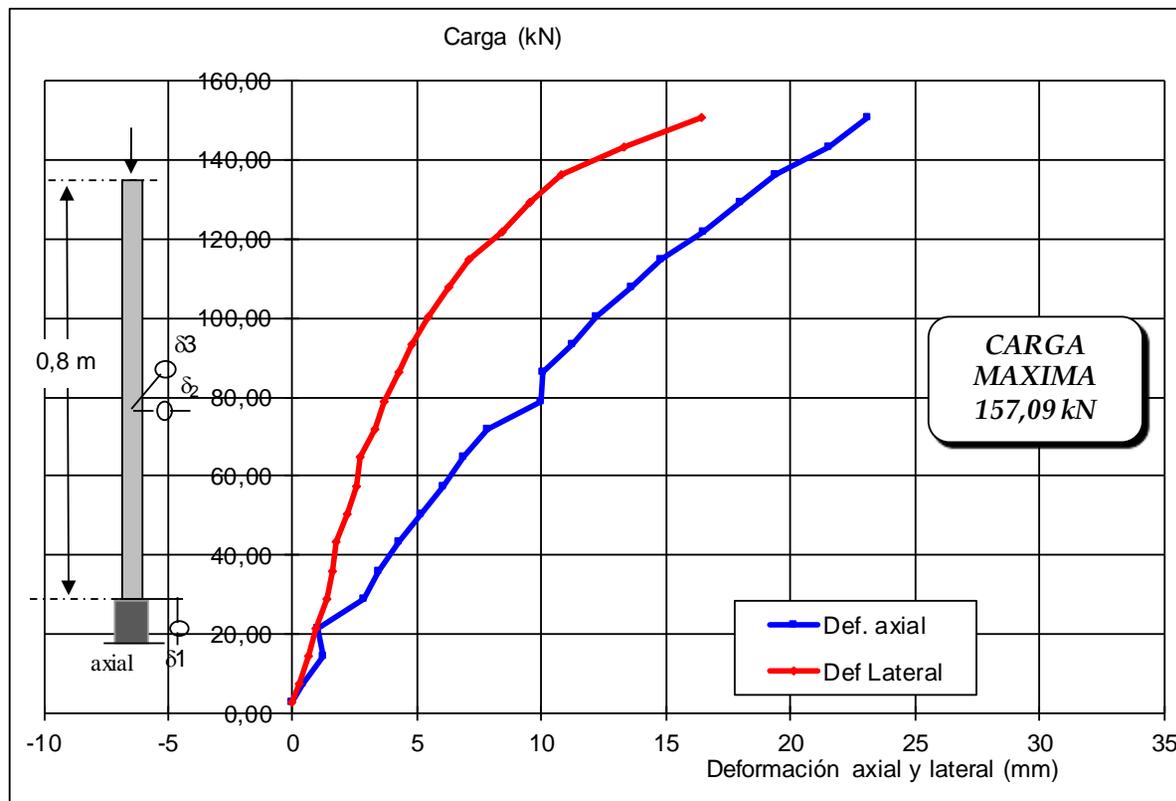
Pmax	219	Carga puente
	157	kN
Esf. Max	8,54	MPa
Modulo Elastico	33,47	MPa
Inercia	34016479	mm ⁴
L. Col. medida	800	mm

MUESTRA No.CC15 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80 m

AREA = 18395,48 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 11 de 2013

Carga (kN)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
2,88	0,00	0
7,20	0,27	0,43
14,40	0,67	1,20
21,59	0,94	1,03
28,79	1,39	2,85
35,98	1,61	3,45
43,16	1,74	4,27
50,35	2,21	5,15
57,53	2,54	6,02
64,71	2,75	6,90
71,89	3,29	7,80
79,06	3,66	9,95
86,23	4,30	10,05
93,40	4,78	11,25
100,57	5,43	12,17
107,73	6,30	13,60
114,89	7,08	14,80
122,05	8,39	16,52
129,21	9,55	17,99
136,36	10,83	19,42
143,51	13,32	21,55
150,66	16,45	23,07

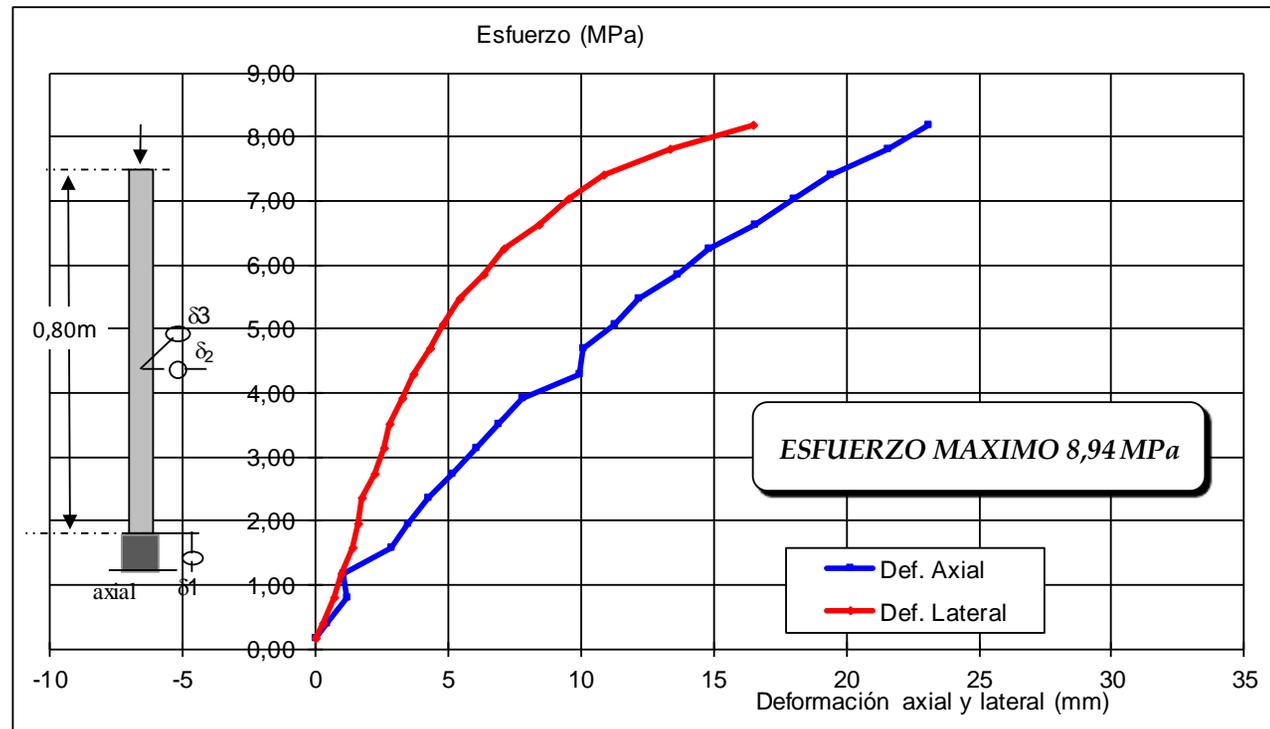


MUESTRA No.CC15 - COMPRESIÓN EN COLUMNA L = 0,80m

AREA = 18395,48 mm²

Fecha de Ensayo: Octubre 08 de 2013

Esfuerzo (MPa)	Def. Lateral (mm)	Def. axial (mm)
0,16	0,00	0
0,39	0,27	0,43
0,78	0,67	1,20
1,17	0,94	1,03
1,56	1,39	2,85
1,96	1,61	3,45
2,35	1,74	4,27
2,74	2,21	5,15
3,13	2,54	6,02
3,52	2,75	6,90
3,91	3,29	7,80
4,30	3,66	9,95
4,69	4,30	10,05
5,08	4,78	11,25
5,47	5,43	12,17
5,86	6,30	13,60
6,25	7,08	14,80
6,63	8,39	16,52
7,02	9,55	17,99
7,41	10,83	19,42
7,80	13,32	21,55
8,19	16,45	23,07



F. Anexo: Resultados de ensayos a flexión en vigas prPEAD de 1,16m, 1,50m y 2,40m

- Caracterización y resultados de ensayos a flexión en vigas de cimentación o remate de 1,16m:

Dimensionamiento de secciones de vigas remate

Dimensiones	VR1	VR2	VR3	VR4	UN
1	39,47	45,26	39,47	43,63	mm
2	30,77	30,09	30,98	30,72	mm
3	39,15	41,54	39,49	46	mm
4	148,5	149,21	149,38	158	mm
5	61,45	61,3	61,77	64,56	mm
6	60,22	61,46	60,1	62,07	mm
7	150,04	149,4	149,4	157	mm
8	59,45	56,98	59,77	63,35	mm
9	58,49	58,62	58,87	63,2	mm
10	144,75	145,62	144,85	156	mm
11	60,74	60,71	61,14	64,56	mm
12	59,74	61,37	59,6	63,66	mm
13	149,36	150,23	148,62	158	mm
14	31,41	31,33	31,45	31,37	mm
A	19,6	16,2	19,7	18,8	mm
B	19,6	16,2	19,7	18,8	mm
C	28,4	26,6	27,5	30,4	mm
D	26,8	30,0	26,2	29,5	mm
E	28,9	28,2	27,9	29,8	mm
h prom.:	149,7	149,8	149,0	157,5	mm
Ancho prom.:	146,6	147,4	147,1	157,0	mm
A1	21949,8	22085,0	21921,6	24727,5	mm ²
A2	3868,8	3669,7	3807,3	3991,8	mm ²
A Total	18080,99	18415,30	18114,27	20735,67	mm²

Propiedades geométricas de vigas remate

Vigas	Área	Inercia
	(mm ²)	(mm ⁴) x 10 ⁶
VR1	18.081	33,30
VR2	18.415	34,17
VR3	18.114	32,99
VR4	20.736	42,33

Calculo de inercias

ELEMENTO		VR1			
Y trazo Sección Real					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	A*Yo (mm ³)	Y trazo (mm)	
A1	2358	120	282552	72,1	
A2	966	134	129504	Y b	
A3	2406	119	286226	(mm)	
A4	3580	30	107796	77,6	
A5	3553	30	107895		
A6	5218	75	390270		
SUM	18081	SUM	1304244		
Inercia debido a secciones de vacíos suponiéndolos con material					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	d (mm)	A*d ² (mm ⁴)	Inercia (mm ⁴)
a1	614	134	61,9	2350542	50499
a2	614	134	61,9	2350542	50499
a3	891	75	2,7	6301	59767
a4	842	16	56,4	2681392	69234
a5	907	75	2,7	6414	63049
			SUM	7395191	293048
Inercia Real de la sección asimétrica					
Inercia de Vacíos		Inercia sección maciza		Inercia Sección Real	
(mm ⁴)		(mm ⁴)		(mm ⁴)	
7688238		40991346		33303108	

ELEMENTO		VR2			
Y trazo Sección Real					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	A*Yo (mm ³)	Y trazo (mm)	
A1	2778	119	330896	73,7	
A2	943	134	126466	Y b	
A3	2546	119	303442	(mm)	
A4	3502	31	107616	76,1	
A5	3559	30	108028		
A6	5552	75	415218		
SUM	18880	SUM	1391666		
Inercia debido a secciones de vacíos suponiéndolos con material					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	d (mm)	A*d ² (mm ⁴)	Inercia (mm ⁴)
a1	506	134	60,4	1849386	41413
a2	506	134	60,4	1849386	41413
a3	835	75	1,1	957	49361
a4	941	16	58,0	3169018	76933
a5	882	75	1,1	1011	58239
			SUM	6869759	267359
Inercia Real de la sección asimétrica					
Inercia de Vacíos (mm ⁴)		Inercia sección maciza (mm ⁴)		Inercia Sección Real (mm ⁴)	
7137118		41307254		34170136	

ELEMENTO VR3					
Y trazo Sección Real					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	A*Yo (mm ³)	Y trazo (mm)	
A1	2352	119	280431	71,8	
A2	974	133	129862	Y b	
A3	2439	118	288142	(mm)	
A4	3592	30	107945	77,2	
A5	3599	31	110031		
A6	5157	74	384036		
SUM	18114	SUM	1300447		
Inercia debido a secciones de vacíos suponiéndolos con material					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	d (mm)	A*d ² (mm ⁴)	Inercia (mm ⁴)
a1	620	133	61,5	2345246	51120
a2	620	133	61,5	2345246	51120
a3	866	74	2,7	6224	54684
a4	824	16	56,1	2591146	67943
a5	877	74	2,7	6303	56796
			SUM	7294166	281662
Inercia Real de la sección asimétrica					
Inercia de Vacíos		Inercia sección maciza		Inercia Sección Real	
(mm ⁴)		(mm ⁴)		(mm ⁴)	
7575828		40562242		32986414	

ELEMENTO		VR4			
Y trazo Sección Real					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	A*Yo (mm ³)	Y trazo (mm)	
A1	2777	126	349047	76,3	
A2	964	142	136665	Y b	
A3	2970	125	371873	(mm)	
A4	3932	31	122034	81,2	
A5	4080	32	131709		
A6	6012	78	471087		
SUM	20736	SUM	1582415		
Inercia debido a secciones de vacíos suponiéndolos con material					
Sección	Área (mm ²)	Yo (mm)	d (mm)	A*d ² (mm ⁴)	Inercia (mm ⁴)
a1	591	142	65,5	2533668	48428
a2	591	142	65,5	2533668	48428
a3	953	78	2,0	3960	73226
a4	924	16	60,6	3395908	75761
a5	934	78	2,0	3883	69041
			SUM	8471088	314885
Inercia Real de la sección asimétrica					
Inercia de Vacíos (mm ⁴)		Inercia sección maciza (mm ⁴)		Inercia Sección Real (mm ⁴)	
8785973		51116379		42330406	

Resumen de resultados de ensayos a flexión de vigas remate

VIGAS 1,16m	Carga máxima	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de elasticidad Ez	Esfuerzo límite de proporcionalidad
	kN	kN*m	MPa	MPa
VR1	17,66	2,18	638	5,08
VR2	21,65	1,56	1.290	3,47
VR3	15,81	1,87	522	4,38
VR4	20,23	1,87	538	3,59
Promedio	18,84	1,87	747	4,13
Desviación Estándar	2,61	0,255	366	0,75
Coefficiente Variación	0,139	0,136	0,489	0,182

VIGA VR1

		x10-2mm							
		DEF CENTRAL							
Carga Puente	Carga (kN)	Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)	
4	0,35	2562,0	4068,0	0,00	0,00	0,00			
10	0,88	2441,0	3948,0	1,21	1,20	1,21	0,31		
15	1,32	2340,0	3853,0	2,22	2,15	2,19	0,47		
20	1,76	2226,0	3750,0	3,36	3,18	3,27	0,62		
25	2,20	2122,0	3665,0	4,40	4,03	4,22	0,78		
30	2,64	1998,0	3556,0	5,64	5,12	5,38	0,93		
35	3,09	1930,0	3490,0	6,32	5,78	6,05	1,09		
40	3,53	1809,0	3372,0	7,53	6,96	7,25	1,25		
45	3,97	1700,0	3275,0	8,62	7,93	8,28	1,40		
50	4,41	1592,0	3168,0	9,70	9,00	9,35	1,56		
60	5,29	1390,0	2972,0	11,72	10,96	11,34	1,87		
70	6,17	1160,0	2753,0	14,02	13,15	13,59	2,18	5080,73	
80	7,06	880,0	2485,0	16,82	15,83	16,33			
90	7,94	553,0	2165,0	20,09	19,03	19,56			
100	8,82	300,0	1918,0	22,62	21,50	22,06			
110	9,71	4963,0	1592,0	25,99	24,76	25,38			
120	10,59	4684,0	1320,0	28,78	27,48	28,13			
130	11,47	4396,0	1040,0	31,66	30,28	30,97			
140	12,36	4060,0	710,0	35,02	33,58	34,30			
150	13,24	3685,0	335,0	38,77	37,33	38,05			
160	14,13	3220,0	4868,0	43,42	42,00	42,71			

Pmax	200	Carga Puente
	18	kN*m
Long. Ensayo:	1,06	m
Inercia	33303108	mm⁴
c	77,57	mm
My	2,18	kN*m
Esf. Y	5,08	MPa

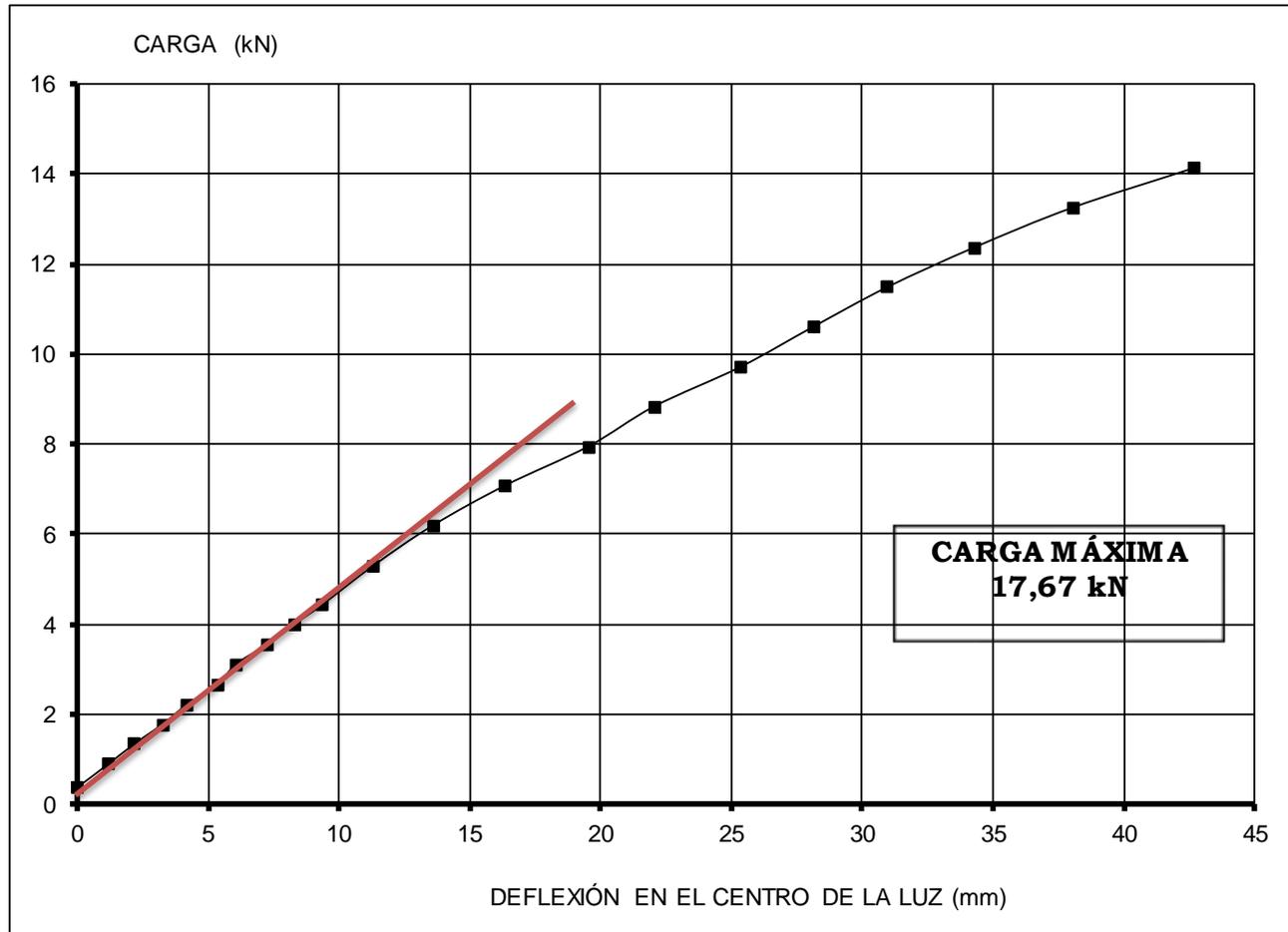
DATOS: **Modulo de Elasticidad:** 6,38 MPa

MUESTRA No. VR1

a: 353,33 mm
L: 1060 mm
I: 33303108 mm⁴

Fecha de Ensayo: Octubre 11 de 2013

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,35	0,00	
0,88	1,21	
1,32	2,19	7,68
1,76	3,27	6,84
2,20	4,22	6,64
2,64	5,38	6,24
3,09	6,05	6,47
3,53	7,25	6,18
3,97	8,28	6,09
4,41	9,35	5,99
5,29	11,34	5,92
6,17	13,59	5,77
7,06	16,33	
7,94	19,56	
8,82	22,06	
9,71	25,38	
10,59	28,13	
11,47	30,97	
12,36	34,30	
13,24	38,05	
14,13	42,71	



VIGA VR2

Carga Puente	Carga (kN)	x10-2mm		DEF CENTRAL		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m2)
		Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)	DEF CENT PROM (mm)			
6	0,53	2682,0	3859,0	0,00	0,00	0,00		
10	0,88	2620,0	3795,0	0,62	0,64	0,63	0,31	
20	1,76	2531,0	3705,0	1,51	1,54	1,53	0,62	
30	2,64	2406,0	3580,0	2,76	2,79	2,78	0,93	
40	3,53	2280,0	3460,0	4,02	3,99	4,01	1,25	
50	4,41	2131,0	3342,0	5,51	5,17	5,34	1,56	3469,50
60	5,29	1900,0	3070,0	7,82	7,89	7,86		
70	6,17	1804,0	2978,0	8,78	8,81	8,80		
80	7,06	1618,0	2792,0	10,64	10,67	10,66		
90	7,94	1437,0	2608,0	12,45	12,51	12,48		
100	8,82	1275,0	2442,0	14,07	14,17	14,12		
110	9,71	1158,0	2230,0	15,24	16,29	15,77		
120	10,59	951,0	2030,0	17,31	18,29	17,80		
130	11,47	738,0	1820,0	19,44	20,39	19,92		
140	12,36	430,0	1630,0	22,52	22,29	22,41		
150	13,24	170,0	1370,0	25,12	24,89	25,01		
160	14,13	4895,0	1090,0	27,87	27,69	27,78		
170	15,01	4648,0	845,0	30,34	30,14	30,24		
180	15,90	4375,0	495,0	33,07	33,64	33,36		
190	16,78	3850,0	260,0	38,32	35,99	37,16		
200	17,67	3020,0	4830,0	46,62	40,29	43,46		

Pmax	245	Carga Puente
	21,65	kN
Long. Ensayo:	1,06	m
Inercia	34170136	mm⁴
c	76,10	mm
My	1,56	kN*m
Esf. Y	3,47	MPa

MUESTRA No. VR2

Fecha de Ensayo: Octubre 11 de 2013

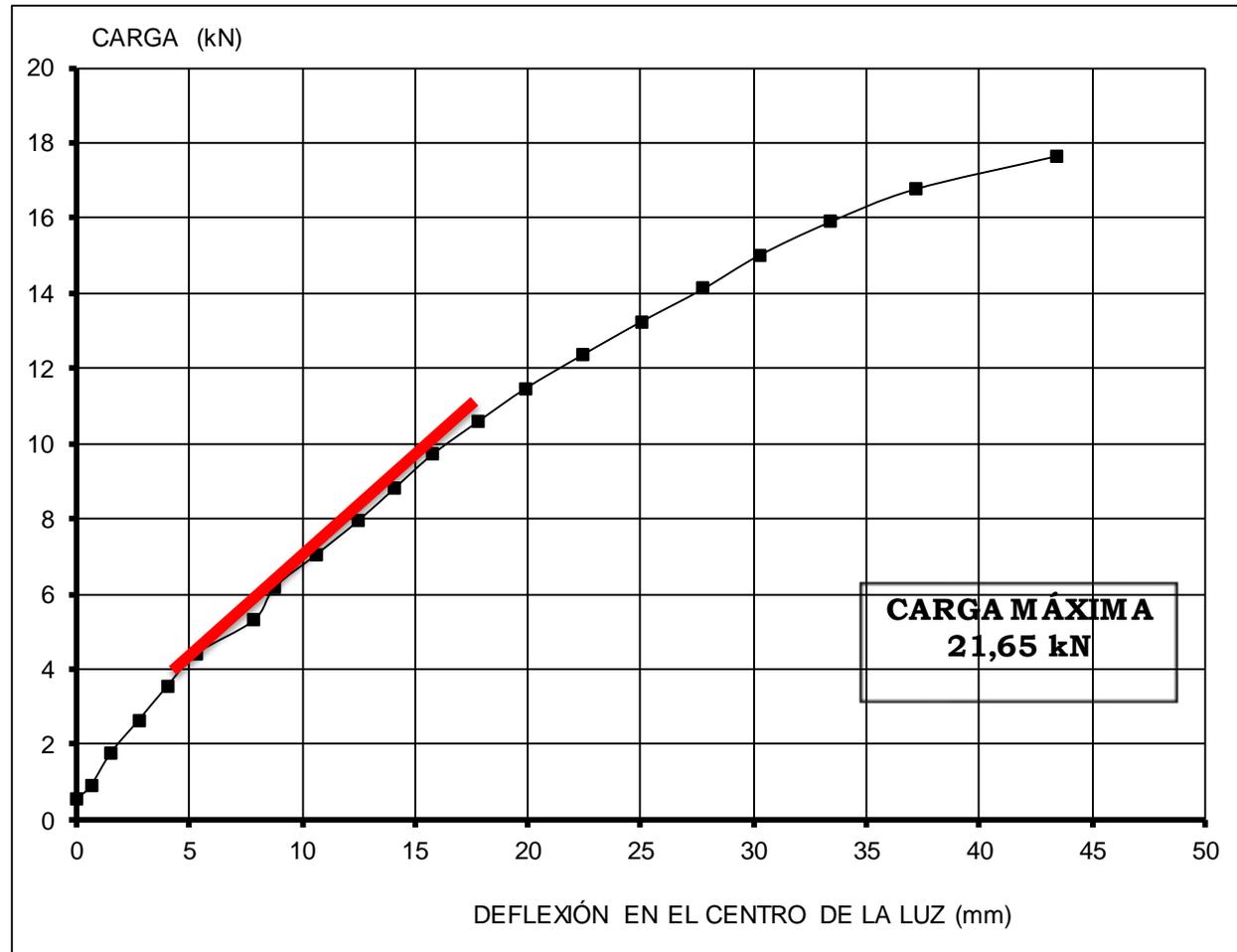
DATOS: **Modulo de Elasticidad:** 8,25 MPa

a: 353,33 mm

L: 1060 mm

I: 34170136 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,53	0,00	
0,88	0,63	
1,76	1,53	
2,64	2,78	
3,53	4,01	
4,41	5,34	10,21
5,29	7,86	8,33
6,17	8,80	8,68
7,06	10,66	8,19
7,94	12,48	7,87
8,82	14,12	7,73
9,71	15,77	7,62
10,59	17,80	7,36
11,47	19,92	
12,36	22,41	
13,24	25,01	
14,13	27,78	
15,01	30,24	
15,90	33,36	
16,78	37,16	
17,67	43,46	



VIGA VR3

Carga Puente	Carga (kN)	x10-2mm		DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m2)
		Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)	DEF CENT PROM (mm)			
6	0,53	4060,0	3010,0	0,00	0,00	0,00		
20	1,76	3865,0	2835,0	1,95	1,75	1,85		
30	2,64	3573,0	2555,0	4,87	4,55	4,71	0,93	
40	3,53	3146,0	2130,0	9,14	8,80	8,97	1,25	
50	4,41	2730,0	1715,0	13,30	12,95	13,13	1,56	
60	5,29	2487,0	1470,0	15,73	15,40	15,57	1,87	4376,51
70	6,17	2243,0	1320,0	18,17	16,90	17,54		
80	7,06	2048,0	1120,0	20,12	18,90	19,51		
90	7,94	1837,0	810,0	22,23	22,00	22,12		
100	8,82	1625,0	590,0	24,35	24,20	24,28		
110	9,71	1417,0	375,0	26,43	26,35	26,39		
120	10,59	1200,0	250,0	28,60	27,60	28,10		
130	11,47	957,0	4900,0	31,03	31,10	31,07		
140	12,36	619,0	4570,0	34,41	34,40	34,41		
150	13,24	280,0	4240,0	37,80	37,70	37,75		
160	14,13	4890,0	3755,0	41,70	42,55	42,13		

Pmax	179	Carga Puer
	15,81	kN
Long. Ensayo:	1,06	m
Inercia	32986414	mm4
c	77,22	mm
My	1,87	kN*m
Esf. Y	4,38	MPa

VIGA VR4

Carga Puente	Carga (kg)	x10-2mm		DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (Kg*m)	Esfuerzo (Kg/m2)
		Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)	DEF CENT PROM (mm)			
6	53	3996,0	2914,0	0,00	0,00	0,00	18,68	
20	176	3700,0	2624,0	2,96	2,90	2,93	62,29	
30	264	3485,0	2415,0	5,11	4,99	5,05	93,45	
40	353	3310,0	2242,0	6,86	6,72	6,79	124,61	
50	441	3141,0	2070,0	8,55	8,44	8,50	155,78	
60	529	2992,0	1915,0	10,04	9,99	10,02	186,96	358567,50
70	617	2877,0	1792,0	11,19	11,22	11,21		
80	706	2782,0	1692,0	12,14	12,22	12,18		
90	794	2650,0	1558,0	13,46	13,56	13,51		
100	882	2538,0	1436,0	14,58	14,78	14,68		
110	971	2373,0	1368,0	16,23	15,46	15,85		
120	1059	2230,0	1115,0	17,66	17,99	17,83		
130	1147	2107,0	984,0	18,89	19,30	19,10		
140	1236	1953,0	835,0	20,43	20,79	20,61		
150	1324	1820,0	685,0	21,76	22,29	22,03		
160	1413	1667,0	545,0	23,29	23,69	23,49		
170	1501	1510,0	380,0	24,86	25,34	25,10		
180	1590	1352,0	220,0	26,44	26,94	26,69		
190	1678	1171,0	33,0	28,25	28,81	28,53		
200	1767	990,0	4825,0	30,06	30,89	30,48		

Pmax	229	Carga Puente
	20,23	kN
Long. Ensayo:	1,06	m
Inercia	42330406	mm⁴
c	81,19	mm
My	1,87	kN*m
Esf. Y	3,59	MPa

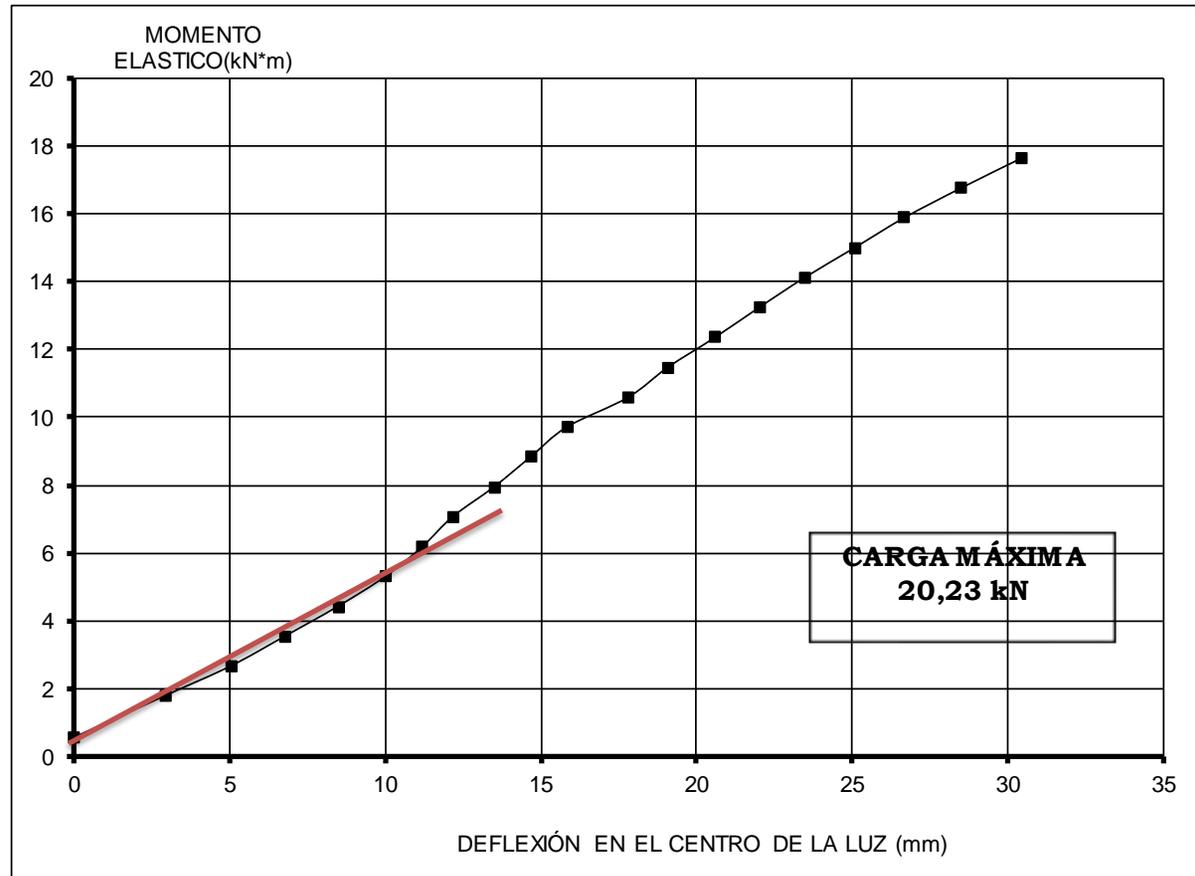
MUESTRA No. VR4

Fecha de Ensayo: Octubre 15 de 2013

DATOS: **Modulo de Elasticidad:** 5,38 MPa

a: 353,33 mm
 L: 1060 mm
 I: 42330406 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,53	0,00	
1,76	2,93	6,01
2,64	5,05	5,23
3,53	6,79	5,19
4,41	8,50	5,18
5,29	10,02	5,28
6,17	11,21	
7,06	12,18	
7,94	13,51	
8,82	14,68	
9,71	15,85	
10,59	17,83	
11,47	19,10	
12,36	20,61	
13,24	22,03	
14,13	23,49	
15,01	25,10	
15,90	26,69	
16,78	28,53	
17,67	30,48	



VIGA VR5

CELDA 10TN

Carga (kg)	x10-2mm		Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (Kg*m)	Esfuerzo (Kg/ m2)
	Def 1	Def 2		DEF CENTRAL	DEF CENT PROM				
20	2916,0	745,0	0,6	0,00	0,00	0,00	0,6		
40	2905,0	728,0	0,9	0,11	0,17	0,14	1,0	18,67	
60	2890,0	715,0	3,5	0,26	0,30	0,28	3,8	28,00	
80	2876,0	703,0	4,7	0,40	0,42	0,41	5,1	37,33	
100	2864,0	689,0	6,1	0,52	0,56	0,54	6,6	46,67	
120	2847,0	665,0	8,1	0,69	0,80	0,75	8,8	56,00	
150	2824,0	634,0	10,2	0,92	1,11	1,02	11,2	70,00	
160	2815,0	622,0	11,1	1,01	1,23	1,12	12,2	74,67	
180	2800,0	610,0	12,5	1,16	1,35	1,26	13,8	84,00	
200	2775,0	580,0	14,5	1,41	1,65	1,53	16,0	93,33	
220	2750,0	560,0	16,3	1,66	1,85	1,76	18,1	102,67	
240	2732,0	538,0	17,4	1,84	2,07	1,96	19,4	112,00	
260	2715,0	510,0	19,9	2,01	2,35	2,18	22,1	121,33	835853,52
280	2689,0	482,0	21,9	2,27	2,63	2,45	24,4		
300	2663,0	452,0	24,0	2,53	2,93	2,73	26,7		
360	2612,0	370,0	28,2	3,04	3,75	3,40	31,6		
380	2550,0	332,0	32,9	3,66	4,13	3,90	36,8		
420	2490,0	280,0	37,8	4,26	4,65	4,46	42,3		
460	2420,0	210,0	43,1	4,96	5,35	5,16	48,3		
480	2380,0	180,0	46,1	5,36	5,65	5,51	51,6		
500	2335,0	138,0	49,3	5,81	6,07	5,94	55,2		

- **Caracterización y resultados de ensayos a flexión en viguetas o correas de 1,50m:**

Dimensionamiento y propiedades geométricas de secciones de viguetas o correas de 1,50m

Viga 1,50m	ancho (mm)	alto (mm)	Área (mm ²)	Inercia (mm ⁴)
R1	57	129	7.353	10.196.773
R2	53	127	6.731	9.047.025
R3	53	127	6.731	9.047.025
R4	53	127	6.731	9.047.025
R5	54	127	6.858	9.217.724

(Sección de elemento rectangular)

Resumen de resultados de ensayos a flexión de viguetas o correas de 1,50m

VIGUETA 1,50m	Carga máxima	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de elasticidad Ez	Esfuerzo Limite de Proporcionalidad
	kN	kN*m	MPa	MPa
R1	7,86	0,61	1984	3,84
R2	7,72	1,40	1512	9,83
R3	7,53	1,03	1433	7,21
R4	8,16	0,93	2052	6,55
R5	7,57	1,21	1427	8,36
Promedio	7,77	1,04	1682	7,16
Desviación estándar	0,26	0,30	310	2,23
Coficiente variación	0,033	0,289	0,184	0,312

VIGA R1

		x10-2mm									
		DEF CENTRAL									
Carga (kN)	Def 1	Def 2	Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (Kg*m)	Esfuerzo (Kg/m2)		
0,10	3070,0	820,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0				
0,20	3064,0	816,0	0,5	0,06	0,04	0,05	0,6	0,09			
0,30	3058,0	813,0	1,1	0,12	0,07	0,10	1,2	0,14			
0,40	3049,0	812,0	1,8	0,21	0,08	0,15	1,9	0,19			
0,50	3041,0	812,0	2,5	0,29	0,08	0,19	2,7	0,23			
0,70	3025,0	812,0	3,8	0,45	0,08	0,27	4,1	0,33			
0,90	3014,0	800,0	5,0	0,56	0,20	0,38	5,4	0,42			
1,10	2995,0	788,0	6,3	0,75	0,32	0,54	6,8	0,51			
1,30	2978,0	775,0	7,7	0,92	0,45	0,69	8,4	0,61	3837,49		
1,50	2960,0	758,0	9,2	1,10	0,62	0,86	10,1				
1,70	2940,0	740,0	10,8	1,30	0,80	1,05	11,9				
1,90	2923,0	722,0	12,4	1,47	0,98	1,23	13,6				
2,10	2905,0	700,0	14,7	1,65	1,20	1,43	16,1				
2,30	2880,0	680,0	15,7	1,90	1,40	1,65	17,4				
2,50	2862,0	655,0	17,3	2,08	1,65	1,87	19,2				
2,80	2833,0	630,0	20,0	2,37	1,90	2,14	22,1				
2,90	2825,0	618,0	20,9	2,45	2,02	2,24	23,1				
3,10	2802,0	590,0	22,6	2,68	2,30	2,49	25,1				
3,20	2794,0	580,0	23,5	2,76	2,40	2,58	26,1				
3,40	2763,0	560,0	25,6	3,07	2,60	2,84	28,4				
3,60	2729,0	530,0	27,7	3,41	2,90	3,16	30,9				

Pmax	7,86	kN
Long. Ensayo:	1,40	m
Inercia	10196773	mm4
c	64,50	mm
My	0,61	kN*m
Esf. Y	3,84	MPa

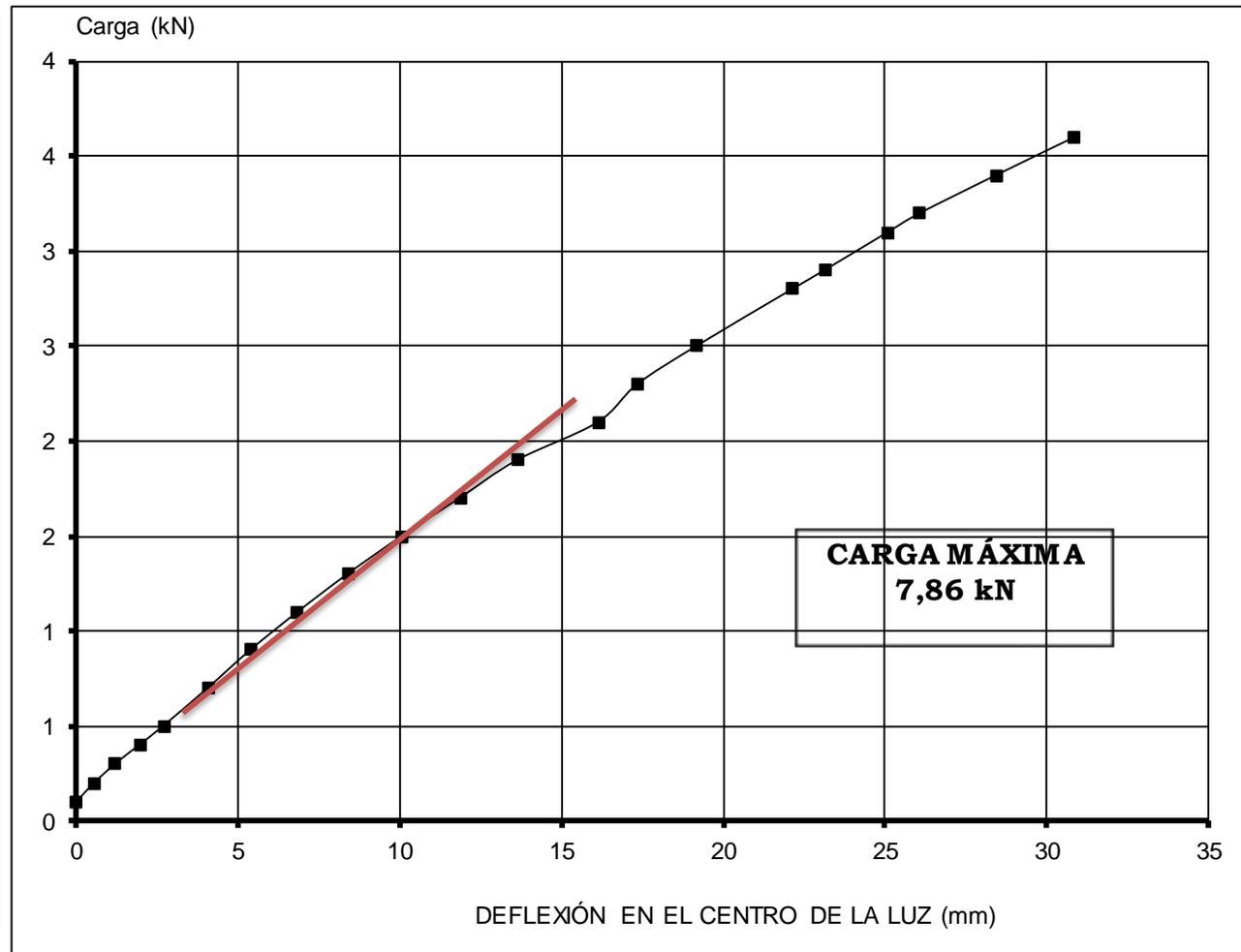
DATOS: **Modulo de Elasticidad:** 15,65 MPa

MUESTRA No. R-1

a: 466,67 mm
 L: 1400 mm
 I: 10196773 mm⁴

Fecha de Ensayo: Octubre 21 de 2013

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,10	0,00	
0,20	0,55	
0,30	1,20	
0,40	1,95	
0,50	2,69	
0,70	4,07	16,45
0,90	5,38	15,98
1,10	6,84	15,37
1,30	8,39	14,81
1,50	10,06	
1,70	11,85	
1,90	13,63	
2,10	16,13	
2,30	17,35	
2,50	19,17	
2,80	22,14	
2,90	23,14	
3,10	25,09	
3,20	26,08	
3,40	28,44	
3,60	30,86	



VIGA R2

Carga (kN)	x10-2mm		Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
	DEF CENTRAL			DEF CENTRAL					
	Def 1	Def 2							
0,20	2990,0	5050,0	0,5	0,00	0,00	0,00	0,5		
0,40	2971,0	5045,0	1,6	0,19	0,05	0,12	1,7	0,187	
0,60	2950,0	5040,0	2,0	0,40	0,10	0,25	2,3	0,280	
0,80	2935,0	5021,0	3,4	0,55	0,29	0,42	3,8	0,373	
1,00	2925,0	4992,0	5,0	0,65	0,58	0,62	5,6	0,467	
1,20	2900,0	4986,0	6,6	0,90	0,64	0,77	7,4	0,560	
1,40	2873,0	4975,0	8,3	1,17	0,75	0,96	9,3	0,653	
1,60	2850,0	4950,0	10,0	1,40	1,00	1,20	11,2	0,747	
1,80	2827,0	4930,0	11,6	1,63	1,20	1,42	13,0	0,840	
2,00	2803,0	4930,0	13,3	1,87	1,20	1,54	14,8	0,933	
2,20	2778,0	4930,0	15,0	2,12	1,20	1,66	16,7	1,027	
2,40	2754,0	4930,0	16,9	2,36	1,20	1,78	18,7	1,120	
2,60	2739,0	4930,0	18,6	2,51	1,20	1,86	20,5	1,213	
2,80	2712,0	4930,0	20,4	2,78	1,20	1,99	22,4	1,307	
3,00	2685,0	4930,0	22,0	3,05	1,20	2,13	24,1	1,400	9826,43
3,20	2760,0	4930,0	24,7	2,30	1,20	1,75	26,5		
3,40	2660,0	4930,0	26,9	3,30	1,20	2,25	29,2		
3,60	2649,0	4670,0	29,3	3,41	3,80	3,61	32,9		
3,80	2610,0	4635,0	31,8	3,80	4,15	3,98	35,8		
4,00	2566,0	4615,0	34,2	4,24	4,35	4,30	38,5		
4,20	2546,0	4550,0	36,9	4,44	5,00	4,72	41,6		

Pmax	7,72	kN
Long. Ensayo:	1,40	m
Inercia	9047025	mm⁴
c	63,50	mm
My	1,40	kN*m
Esf. Y	9,83	MPa

DATOS:

Modulo Elástico: 15,12 MPa

MUESTRA No. R-2

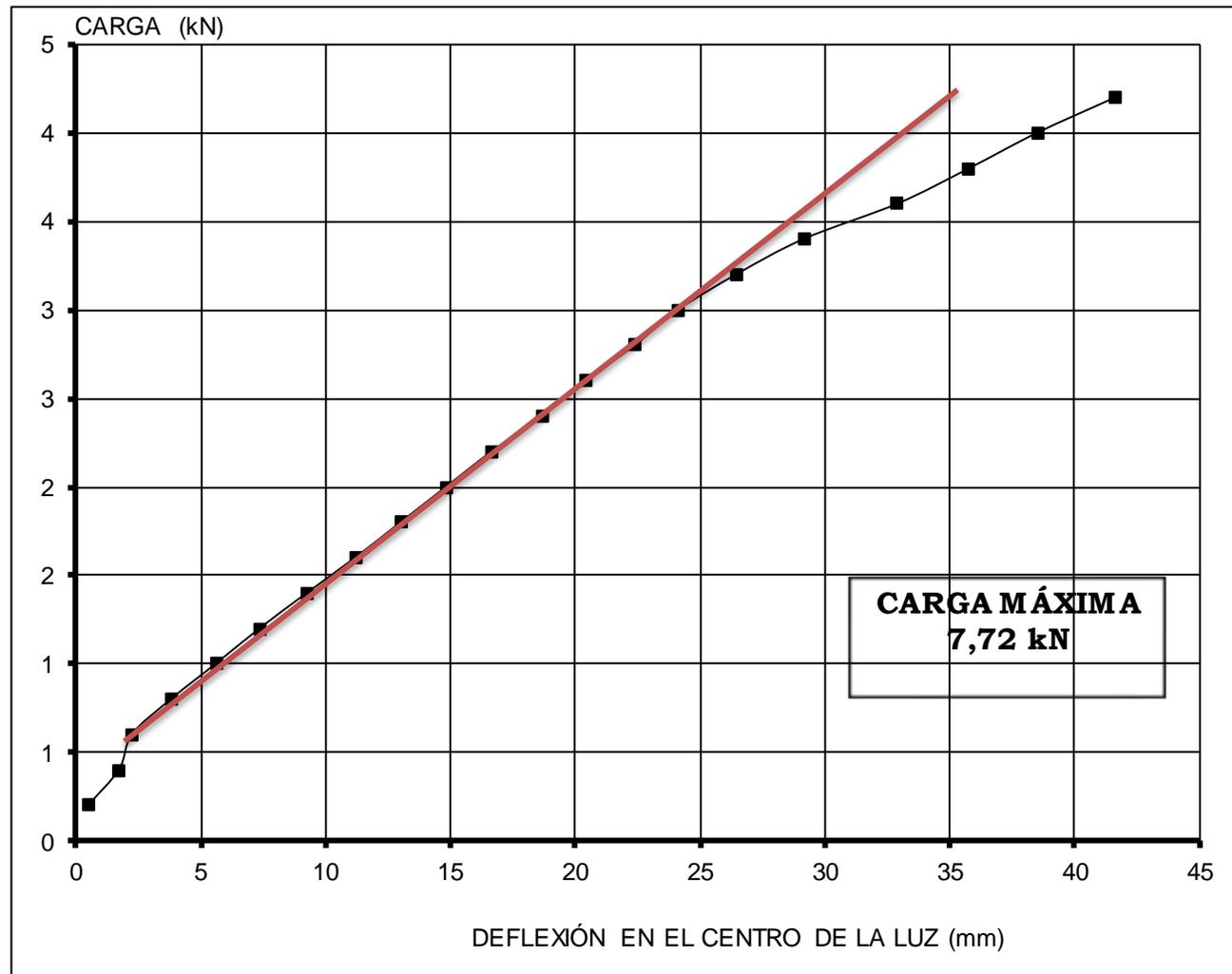
a: 466,67 mm

L: 1400 mm

Fecha de Ensayo: Octubre 21 de 2013

I: 9047025 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,20	0,50	
0,40	1,72	
0,60	2,25	
0,80	3,82	
1,00	5,62	19,17
1,20	7,37	17,53
1,40	9,26	16,28
1,60	11,20	15,38
1,80	13,02	14,89
2,00	14,84	14,51
2,20	16,66	14,22
2,40	18,68	13,83
2,60	20,46	13,68
2,80	22,39	13,46
3,00	24,13	13,39
3,20	26,45	
3,40	29,15	
3,60	32,91	
3,80	35,78	
4,00	38,50	
4,20	41,62	



VIGA R3

Carga (kN)	x10-2mm		Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
	DEF CENTRAL	Def mesa		Def 1	Def 2				
0,20	2990,0	5730,0	0,7	0,00	0,00	0,00	0,7		
0,40	2965,0	5730,0	2,0	0,25	0,00	0,13	2,1	0,19	
0,60	2944,0	5721,0	3,3	0,46	0,09	0,28	3,6	0,28	
0,80	2925,0	5704,0	4,4	0,65	0,26	0,46	4,9	0,37	
1,00	2905,0	5680,0	6,4	0,85	0,50	0,68	7,1	0,47	
1,20	2890,0	5660,0	8,0	1,00	0,70	0,85	8,9	0,56	
1,40	2864,0	5644,0	9,7	1,26	0,86	1,06	10,8	0,65	
1,60	2845,0	5631,0	11,2	1,45	0,99	1,22	12,4	0,75	
1,80	2825,0	5610,0	13,0	1,65	1,20	1,43	14,4	0,84	
2,00	2805,0	5583,0	14,8	1,85	1,47	1,66	16,5	0,93	
2,20	2770,0	5558,0	16,7	2,20	1,72	1,96	18,7	1,03	7206,05
2,40	2745,0	5538,0	18,7	2,45	1,92	2,19	20,9		
2,60	2724,0	5503,0	20,8	2,66	2,27	2,47	23,3		
2,80	2690,0	5481,0	23,0	3,00	2,49	2,75	25,7		
3,00	2660,0	5453,0	25,1	3,30	2,77	3,04	28,1		
3,20	2630,0	5430,0	27,0	3,60	3,00	3,30	30,3		
3,40	2610,0	5342,0	29,1	3,80	3,88	3,84	32,9		
3,60	2580,0	5375,0	31,0	4,10	3,55	3,83	34,8		
3,80	2545,0	5345,0	33,5	4,45	3,85	4,15	37,7		
4,00	2530,0	5370,0	35,5	4,60	3,60	4,10	39,6		
5,00	2340,0	5120,0	48,9	6,50	6,10	6,30	55,2		

Pmax	7,53	kN
Long. Ensayo:	1,40	m
Inercia	9047025	mm⁴
c	63,50	mm
My	1,03	kN*m
Esf. Y	7,21	MPa

DATOS:

Modulo Elástico: 14,33 MPa

MUESTRA No. R-3

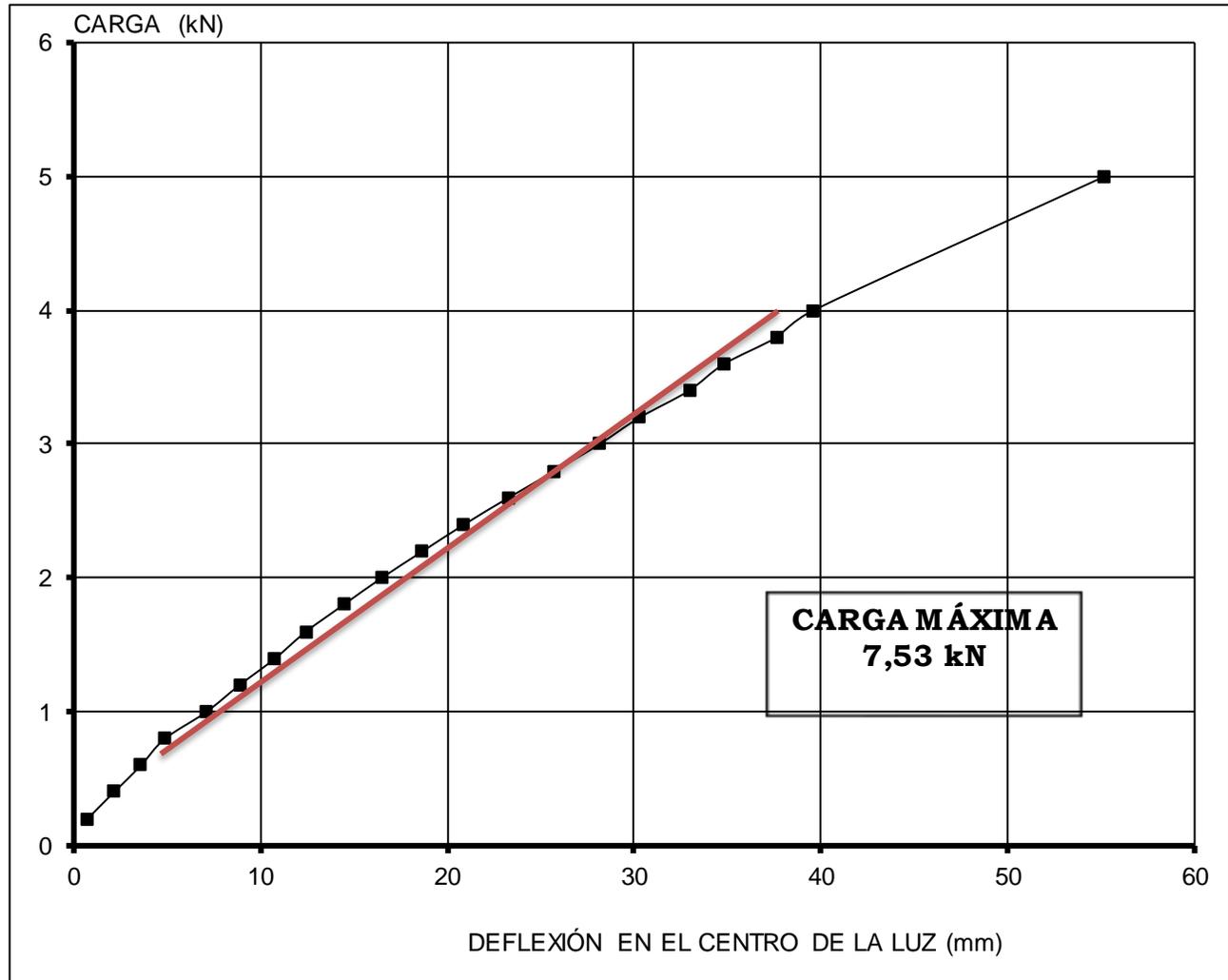
a: 466,67 mm

L: 1400 mm

Fecha de Ensayo: Octubre 21 de 2013

I: 9047025 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,20	0,70	
0,40	2,13	
0,60	3,58	
0,80	4,86	17,74
1,00	7,08	15,22
1,20	8,85	14,60
1,40	10,76	14,01
1,60	12,42	13,87
1,80	14,43	13,43
2,00	16,46	13,08
2,20	18,66	12,69
2,40	20,89	
2,60	23,27	
2,80	25,75	
3,00	28,14	
3,20	30,30	
3,40	32,94	
3,60	34,83	
3,80	37,65	
4,00	39,60	
5,00	55,20	



VIGA R4

Carga (kN)	x10-2mm		Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
	DEF CENTRAL	Def mesa		Def 1	Def 2				
0,20	3021,0	896,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0		
0,40	3008,0	880,0	1,1	0,13	0,16	0,15	1,2	0,19	
0,60	2997,0	870,0	2,3	0,24	0,26	0,25	2,6	0,28	
0,80	2982,0	862,0	3,6	0,39	0,34	0,37	4,0	0,37	
1,00	2965,0	858,0	5,0	0,56	0,38	0,47	5,5	0,47	
1,20	2950,0	838,0	6,3	0,71	0,58	0,65	6,9	0,56	
1,40	2932,0	822,0	7,8	0,89	0,74	0,82	8,6	0,65	
1,60	2915,0	800,0	9,6	1,06	0,96	1,01	10,6	0,75	
1,80	2898,0	782,0	11,1	1,23	1,14	1,19	12,3	0,84	
2,00	2870,0	760,0	12,7	1,51	1,36	1,44	14,1	0,93	6550,96
2,20	2857,0	742,0	14,1	1,64	1,54	1,59	15,7		
2,40	2835,0	722,0	16,0	1,86	1,74	1,80	17,8		
2,60	2820,0	696,0	17,8	2,01	2,00	2,01	19,8		
2,80	2795,0	675,0	19,4	2,26	2,21	2,24	21,6		
3,00	2770,0	655,0	21,5	2,51	2,41	2,46	24,0		
3,40	2720,0	610,0	25,1	3,01	2,86	2,94	28,0		
3,80	2668,0	548,0	28,1	3,53	3,48	3,51	31,6		
4,20	2640,0	508,0	33,4	3,81	3,88	3,85	37,2		
4,60	2547,0	440,0	38,4	4,74	4,56	4,65	43,1		
5,00	2480,0	372,0	43,0	5,41	5,24	5,33	48,3		
5,40	2300,0	400,0	49,0	7,21	4,96	6,09	55,1		

Pmax	8,16	kN
Long. Ensayo:	1,40	m
Inercia	9047025	mm ⁴
c	63,50	mm
My	0,93	kN*m
Esf. Y	6,55	MPa

MUESTRA No. R-4

Fecha de Ensayo: Octubre 21 de 2013

DATOS:

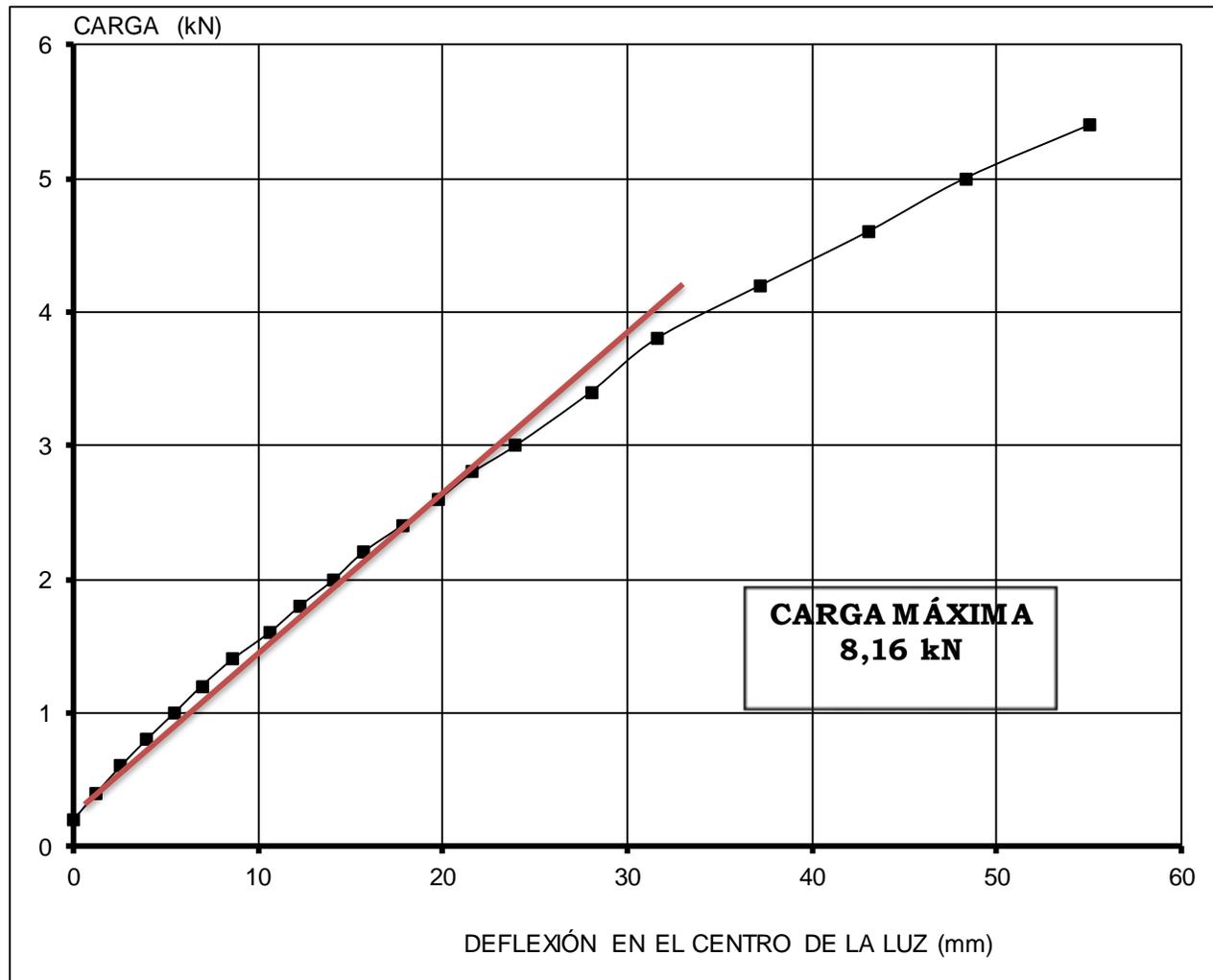
Modulo Elástico: 20,52 MPa

a: 466,67 mm

L: 1400 mm

I: 9047025 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,20	0,00	
0,40	1,25	34,59
0,60	2,55	25,33
0,80	3,97	21,72
1,00	5,47	19,68
1,20	6,95	18,60
1,40	8,62	17,49
1,60	10,61	16,23
1,80	12,29	15,77
2,00	14,14	15,23
2,20	15,69	
2,40	17,80	
2,60	19,81	
2,80	21,64	
3,00	23,96	
3,40	28,04	
3,80	31,61	
4,20	37,25	
4,60	43,05	
5,00	48,33	
5,40	55,09	



VIGA R5

Carga (kN)	x10-2mm		Def mesa (mm)	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Def total (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
	DEF CENTRAL	Def mesa		DEF CENTRAL	DEF CENT PROM (mm)				
0,20	2916,0	745,0	0,6	0,00	0,00	0,00	0,6		
0,40	2905,0	728,0	0,9	0,11	0,17	0,14	1,0	0,19	
0,60	2890,0	715,0	3,5	0,26	0,30	0,28	3,8	0,28	
0,80	2876,0	703,0	4,7	0,40	0,42	0,41	5,1	0,37	
1,00	2864,0	689,0	6,1	0,52	0,56	0,54	6,6	0,47	
1,20	2847,0	665,0	8,1	0,69	0,80	0,75	8,8	0,56	
1,50	2824,0	634,0	10,2	0,92	1,11	1,02	11,2	0,70	
1,60	2815,0	622,0	11,1	1,01	1,23	1,12	12,2	0,75	
1,80	2800,0	610,0	12,5	1,16	1,35	1,26	13,8	0,84	
2,00	2775,0	580,0	14,5	1,41	1,65	1,53	16,0	0,93	
2,20	2750,0	560,0	16,3	1,66	1,85	1,76	18,1	1,03	
2,40	2732,0	538,0	17,4	1,84	2,07	1,96	19,4	1,12	
2,60	2715,0	510,0	19,9	2,01	2,35	2,18	22,1	1,21	8358,54
2,80	2689,0	482,0	21,9	2,27	2,63	2,45	24,4		
3,00	2663,0	452,0	24,0	2,53	2,93	2,73	26,7		
3,60	2612,0	370,0	28,2	3,04	3,75	3,40	31,6		
3,80	2550,0	332,0	32,9	3,66	4,13	3,90	36,8		
4,20	2490,0	280,0	37,8	4,26	4,65	4,46	42,3		
4,60	2420,0	210,0	43,1	4,96	5,35	5,16	48,3		
4,80	2380,0	180,0	46,1	5,36	5,65	5,51	51,6		
5,00	2335,0	138,0	49,3	5,81	6,07	5,94	55,2		

Pmax	7,57	kN
Long. Ensayo:	1,40	m
Inercia	9217724	mm⁴
c	63,50	mm
My	1,21	kN*m
Esf. Y	8,36	MPa

DATOS:

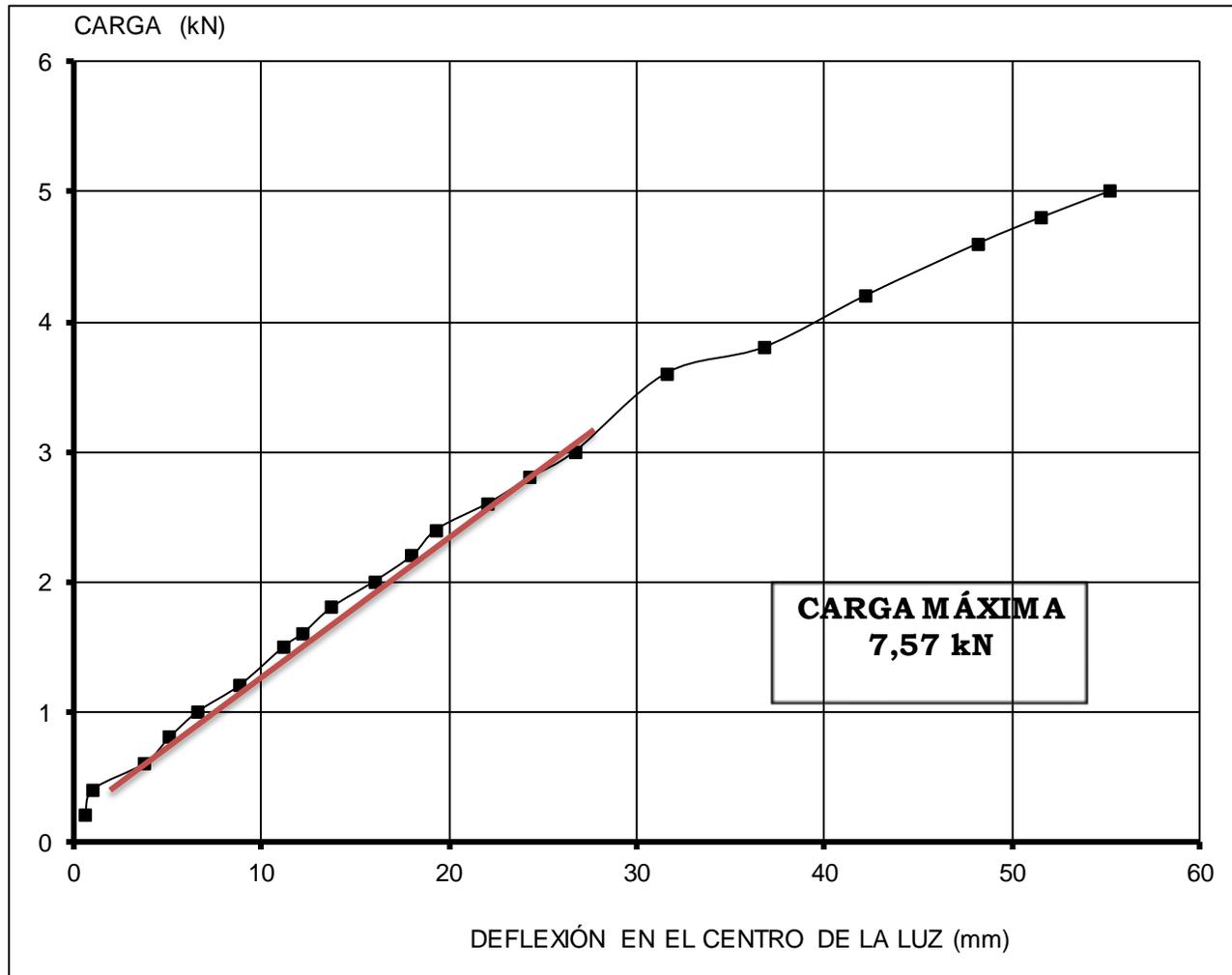
Modulo Elástico: 14,27 MPa

MUESTRA No. R-5

a: 466,67 mm
 L: 1400 mm
 I: 9217724 mm⁴

Fecha de Ensayo: Octubre 21 de 2013

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,20	0,60	
0,40	1,04	
0,60	3,78	16,77
0,80	5,11	16,54
1,00	6,64	15,91
1,20	8,85	14,33
1,50	11,22	14,13
1,60	12,22	13,83
1,80	13,76	13,83
2,00	16,03	13,18
2,20	18,06	12,87
2,40	19,36	13,10
2,60	22,08	12,44
2,80	24,35	
3,00	26,73	
3,60	31,60	
3,80	36,80	
4,20	42,26	
4,60	48,26	
4,80	51,61	
5,00	55,24	



- **Caracterización y resultados de ensayos a flexión en vigas acopladas de 2,40m:**

Caracterización y propiedades geométricas de vigas acopladas de 2,40m

Módulo de Elasticidad			Factor de transformación			
Acero:	200	GPa	n: 188,68			
Plástico prPEAD:	1,06	GPa				
SECCIÓN	VAC1	VAC2	VAC3	VAC4	VAC5	UN
Plástica						
Ancho	57	53	53	53	54	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Lámina Metálica						
Ancho	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Secc. Transformada						
Ancho	639	634,8	634,8	634,8	635,8	mm
Altura	129	127	127	127	127	mm
Inercia	114.276.424	108.360.427	108.360.427	108.360.427	108.531.126	mm ⁴

Resumen de resultados de ensayos a flexión de vigas acopladas 2,40m

VIGAS 2,40m	Carga máxima	Momento máximo (centro de luz)	Módulo de elasticidad Ez	Esfuerzo límite de proporcionalidad
	N	kN*m	MPa	MPa
VAC1	15,28	4,06	2.360	2,29
VAC2	21,92	3,38	4.527	1,98
VAC3	19,88	4,73	2.935	2,77
VAC4	20,59	5,41	3.064	3,17
VAC5	22,18	3,38	3.563	1,98
Promedio	19,97	4,19	3.289	2,44
Desv. Estándar	2,79	0,88	814	1
Coefficiente de Variación	0,140	0,210	0,247	0,214

VIGA VAC1

		x10-2mm						
		DEF CENTRAL						
Carga Puente	Carga (kN)	Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
4	0,35	3610,0	2970,0	0,00	0,00	0,00		
10	0,88	3560,0	2880,0	0,50	0,90	0,70	0,68	
20	1,76	3418,0	2690,0	1,92	2,80	2,36	1,35	
30	2,64	3234,0	2500,0	3,76	4,70	4,23	2,03	
40	3,53	3050,0	2415,0	5,60	5,55	5,58	2,70	
50	4,41	2870,0	2117,0	7,40	8,53	7,97	3,38	
60	5,29	2697,0	2005,0	9,13	9,65	9,39	4,06	2289,63
70	6,17	2495,0	1755,0	11,15	12,15	11,65		
80	7,06	2251,0	1435,0	13,59	15,35	14,47		
90	7,94	1942,0	1024,0	16,68	19,46	18,07		
100	8,82	1615,0	488,0	19,95	24,82	22,39		
110	9,71	1170,0	0,0	24,40	29,70	27,05		
120	10,59	690,0	4488,0	29,20	34,82	32,01		
130	11,47	187,0	3960,0	34,23	40,10	37,17		
134	11,83	4380,0	3130,0	42,30	48,40	45,35		

Pmax	173	Carga Puente
	15	kN
Long. Ensayo:	2,30	m
Inercia	114276424	mm⁴
c	64,50	mm
My	4,06	kN*m
Esf. Y	2,29	MPa

VIGA VAC2

		x10-2mm						
		DEF CENTRAL						
Carga Puente	Carga (kN)	Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
5	0,44	3977,0	2268,0	0,00	0,00	0,00		
10	0,88	3932,0	2237,0	0,45	0,31	0,38	0,68	
20	1,76	3840,0	2150,0	1,37	1,18	1,28	1,35	
30	2,64	3730,0	2054,0	2,47	2,14	2,31	2,03	
40	3,53	3604,0	1944,0	3,73	3,24	3,49	2,70	
50	4,41	3473,0	1892,0	5,04	3,76	4,40	3,38	1980,77
60	5,29	3328,0	1642,0	6,49	6,26	6,38		
70	6,17	3212,0	1540,0	7,65	7,28	7,47		
80	7,06	3190,0	1423,0	7,87	8,45	8,16		
90	7,94	2940,0	1380,0	10,37	8,88	9,63		
100	8,82	2818,0	1260,0	11,59	10,08	10,84		
110	9,71	2691,0	1044,0	12,86	12,24	12,55		
120	10,59	2533,0	904,0	14,44	13,64	14,04		
130	11,47	2395,0	875,0	15,82	13,93	14,88		
140	12,36	2231,0	622,0	17,46	16,46	16,96		
150	13,24	2083,0	582,0	18,94	16,86	17,90		
160	14,13	1880,0	388,0	20,97	18,80	19,89		
170	15,01	1674,0	196,0	23,03	20,72	21,88		
180	15,90	1315,0	4745,0	26,62	25,23	25,93		
190	16,78	1060,0	4502,0	29,17	27,66	28,42		
200	17,67	685,0	4160,0	32,92	31,08	32,00		

Pmax	248	Carga Puente
	22	kN
Long. Ensayo:	2,30	m
Inercia	108360427	mm⁴
c	63,50	mm
My	3,38	kN*m
Esf. Y	1,98	MPa

MUESTRA No. VAC-2

Fecha de Ensayo: Octubre 16 de 2013

DATOS:

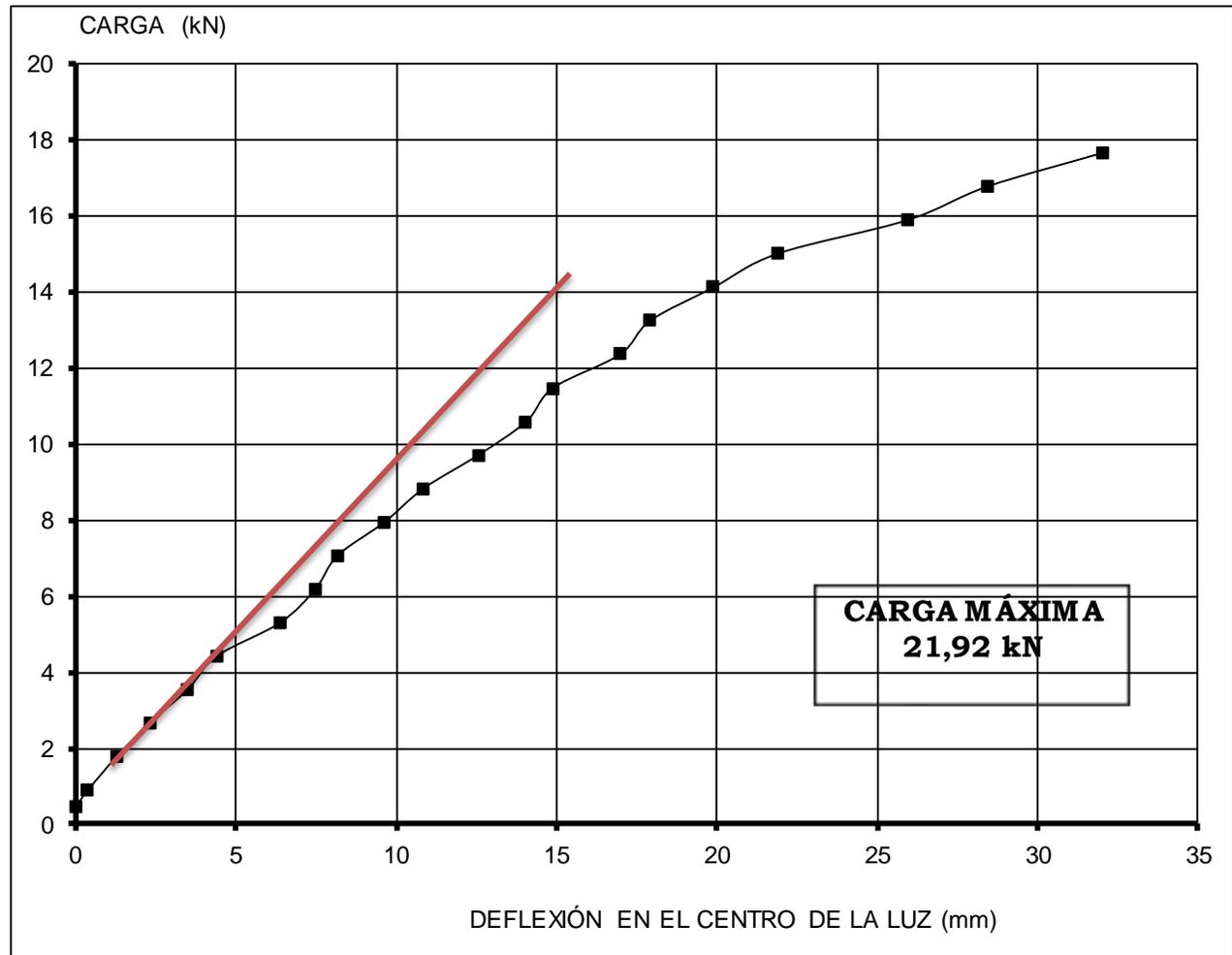
Modulo Elástico: 45,27 MPa

a: 766,67 mm

L: 2300 mm

I: 108360427 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,44	0,00	
0,88	0,38	
1,76	1,28	55,11
2,64	2,31	45,73
3,53	3,49	40,33
4,41	4,40	39,93
5,29	6,38	
6,17	7,47	
7,06	8,16	
7,94	9,63	
8,82	10,84	
9,71	12,55	
10,59	14,04	
11,47	14,88	
12,36	16,96	
13,24	17,90	
14,13	19,89	
15,01	21,88	
15,90	25,93	
16,78	28,42	
17,67	32,00	



VIGA VAC3

Carga Puente	Carga (kN)	x10-2mm		DEF CENTRAL		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)
		Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)				
6	0,53	3835,0	2904,0	0,00	0,00	0,00		
10	0,88	3756,0	2856,0	0,79	0,48	0,64	0,68	
20	1,76	3611,0	2732,0	2,24	1,72	1,98	1,35	
30	2,64	3444,0	2580,0	3,91	3,24	3,58	2,03	
40	3,53	3285,0	2451,0	5,50	4,53	5,02	2,70	
50	4,41	3152,0	2317,0	6,83	5,87	6,35	3,38	
60	5,29	3014,0	2265,0	8,21	6,39	7,30	4,06	
70	6,17	2876,0	2010,0	9,59	8,94	9,27	4,73	2773,71
80	7,06	2667,0	1882,0	11,68	10,22	10,95		
90	7,94	2510,0	1688,0	13,25	12,16	12,71		
100	8,82	2304,0	1470,0	15,31	14,34	14,83		
110	9,71	2027,0	1052,0	18,08	18,52	18,30		
120	10,59	1740,0	738,0	20,95	21,66	21,31		
130	11,47	1471,0	443,0	23,64	24,61	24,13		
140	12,36	1150,0	88,0	26,85	28,16	27,51		
150	13,24	720,0	4630,0	31,15	32,74	31,95		
160	14,13	352,0	4232,0	34,83	36,72	35,78		
165	14,57	4485,0	3384,0	43,50	45,20	44,35		

Pmax	225	Carga Puente
	20	kN
Long. Ensayo:	2,30	m
Inercia	108360427	mm⁴
c	63,50	mm
My	4,73	kN*m
Esf. Y	2,77	MPa

DATOS:

Modulo Elástico: 29,35 MPa

MUESTRA No. VAC-3

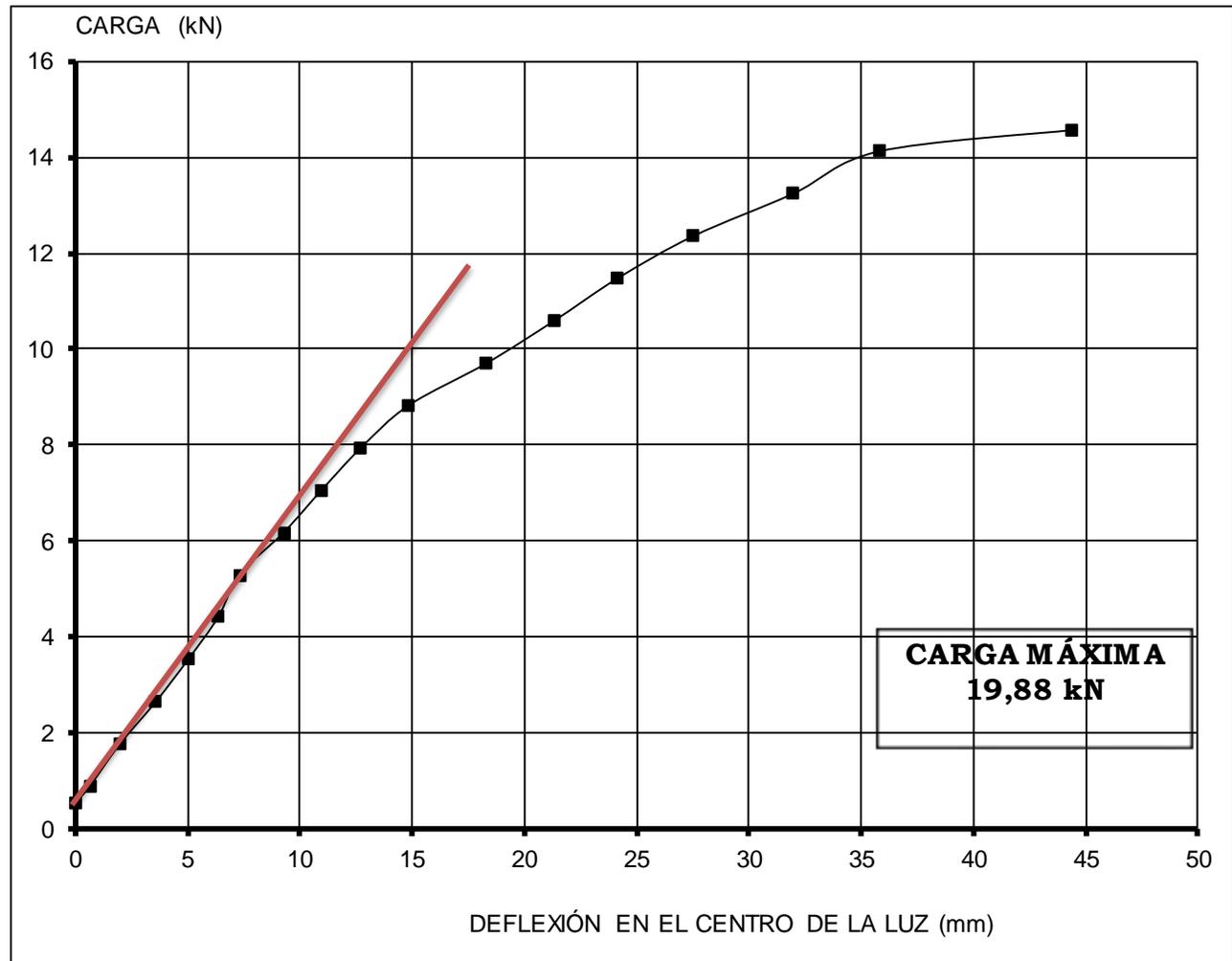
a: 766,67 mm

L: 2300 mm

Fecha de Ensayo: Octubre 16 de 2013

I: 108360427 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,53	0,00	
0,88	0,64	
1,76	1,98	35,48
2,64	3,58	29,48
3,53	5,02	28,03
4,41	6,35	27,67
5,29	7,30	28,89
6,17	9,27	26,56
7,06	10,95	
7,94	12,71	
8,82	14,83	
9,71	18,30	
10,59	21,31	
11,47	24,13	
12,36	27,51	
13,24	31,95	
14,13	35,78	
14,57	44,35	



VIGA VAC4

		x10-2mm							
		DEF CENTRAL							
Carga Puente	Carga (kg)	Def 1	Def 2	DEF CENTRAL (mm)		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kN/m ²)	
5	0,44	3810,0	3009,0	0,00	0,00	0,00			
10	0,88	3764,0	2978,0	0,46	0,31	0,39			
20	1,76	3652,0	2851,0	1,58	1,58	1,58			
30	2,64	3543,0	2726,0	2,67	2,83	2,75	2,03		
40	3,53	3410,0	2582,0	4,00	4,27	4,14	2,70		
50	4,41	3230,0	2398,0	5,80	6,11	5,96	3,38		
60	5,29	3098,0	2258,0	7,12	7,51	7,32	4,06		
70	6,17	2920,0	2083,0	8,90	9,26	9,08	4,73		
80	7,06	2750,0	1912,0	10,60	10,97	10,79	5,41	3170,32	
90	7,94	2584,0	1746,0	12,26	12,63	12,45			
100	8,82	2380,0	1537,0	14,30	14,72	14,51			
110	9,71	2150,0	1312,0	16,60	16,97	16,79			
120	10,59	1918,0	1170,0	18,92	18,39	18,66			
130	11,47	1600,0	744,0	22,10	22,65	22,38			
140	12,36	1230,0	374,0	25,80	26,35	26,08			
150	13,24	859,0	4985,0	29,51	30,24	29,88			
160	14,13	285,0	4350,0	35,25	36,59	35,92			
170	15,01	4607,0	3490,0	42,03	45,19	43,61			

Pmax	233	Carga Puente
	20,59	kN
Long. Ensayo:	2,30	m
Inercia	108360427	mm⁴
c	63,50	mm
My	5,41	kN*m
Esf. Y	3,17	MPa

DATOS:

Modulo Elástico: 30,64 MPa

MUESTRA No. VAC-4

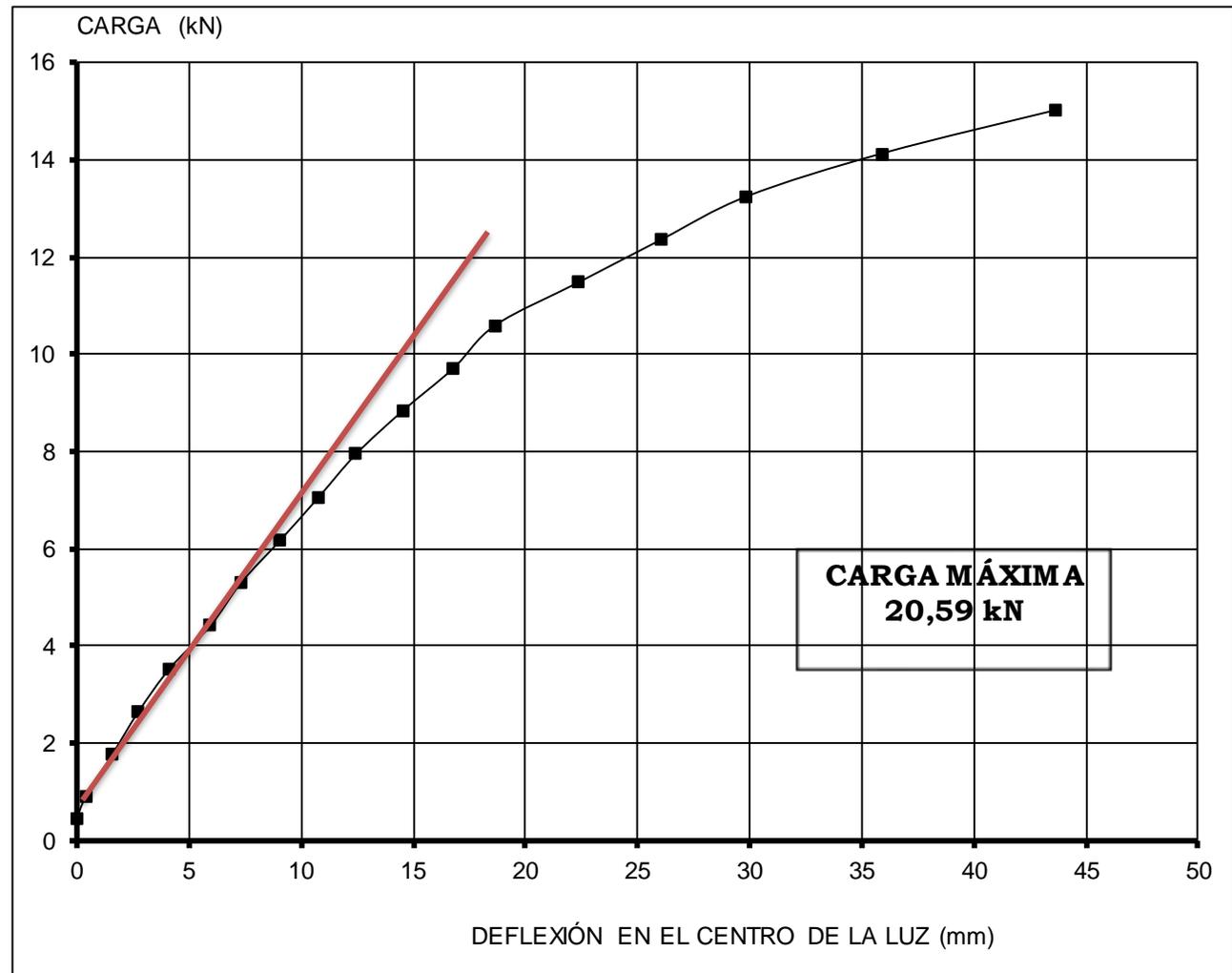
a: 766,67 mm

L: 2300 mm

Fecha de Ensayo: Octubre 16 de 2013

I: 108360427 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,44	0,00	
0,88	0,39	
1,76	1,58	
2,64	2,75	38,33
3,53	4,14	33,99
4,41	5,96	29,51
5,29	7,32	28,83
6,17	9,08	27,10
7,06	10,79	26,08
7,94	12,45	
8,82	14,51	
9,71	16,79	
10,59	18,66	
11,47	22,38	
12,36	26,08	
13,24	29,88	
14,13	35,92	
15,01	43,61	



VIGA VAC5

Carga Puente	Carga (kN)	x10-2mm		DEF CENTRAL		DEF CENT PROM (mm)	Momento CL (kN*m)	Esfuerzo (kn/m2)
		Def 1	Def 2	(mm)				
7	0,62	3910,0	3000,0	0,00	0,00	0,00		
10	0,88	3876,0	2970,0	0,34	0,30	0,32		
20	1,76	3739,0	2856,0	1,71	1,44	1,58	1,35	
30	2,64	3600,0	2739,0	3,10	2,61	2,86	2,03	
40	3,53	3439,0	2595,0	4,71	4,05	4,38	2,70	
50	4,41	3262,0	2442,0	6,48	5,58	6,03	3,38	1977,66
60	5,29	3044,0	2252,0	8,66	7,48	8,07		
70	6,17	2845,0	2080,0	10,65	9,20	9,93		
80	7,06	2600,0	1948,0	13,10	10,52	11,81		
90	7,94	2350,0	1608,0	15,60	13,92	14,76		
100	8,82	2028,0	1398,0	18,82	16,02	17,42		
110	9,71	1680,0	1063,0	22,30	19,37	20,84		
120	10,59	1335,0	630,0	25,75	23,70	24,73		
130	11,47	1016,0	318,0	28,94	26,82	27,88		
140	12,36	664,0	4980,0	32,46	30,20	31,33		
150	13,24	375,0	4592,0	35,35	34,08	34,72		
160	14,13	4880,0	4090,0	40,30	39,10	39,70		
168	14,83	4170,0	3400,0	47,40	46,00	46,70		

Pmax	251	Carga Puente
	22,18	kN
Long. Ensayo:	2,30	m
Inercia	108531126	mm⁴
c	63,50	mm
My	3,38	kN*m
Esf. Y	1,98	MPa

DATOS:

Modulo Elástico: 35,63 MPa

MUESTRA No. VAC-5

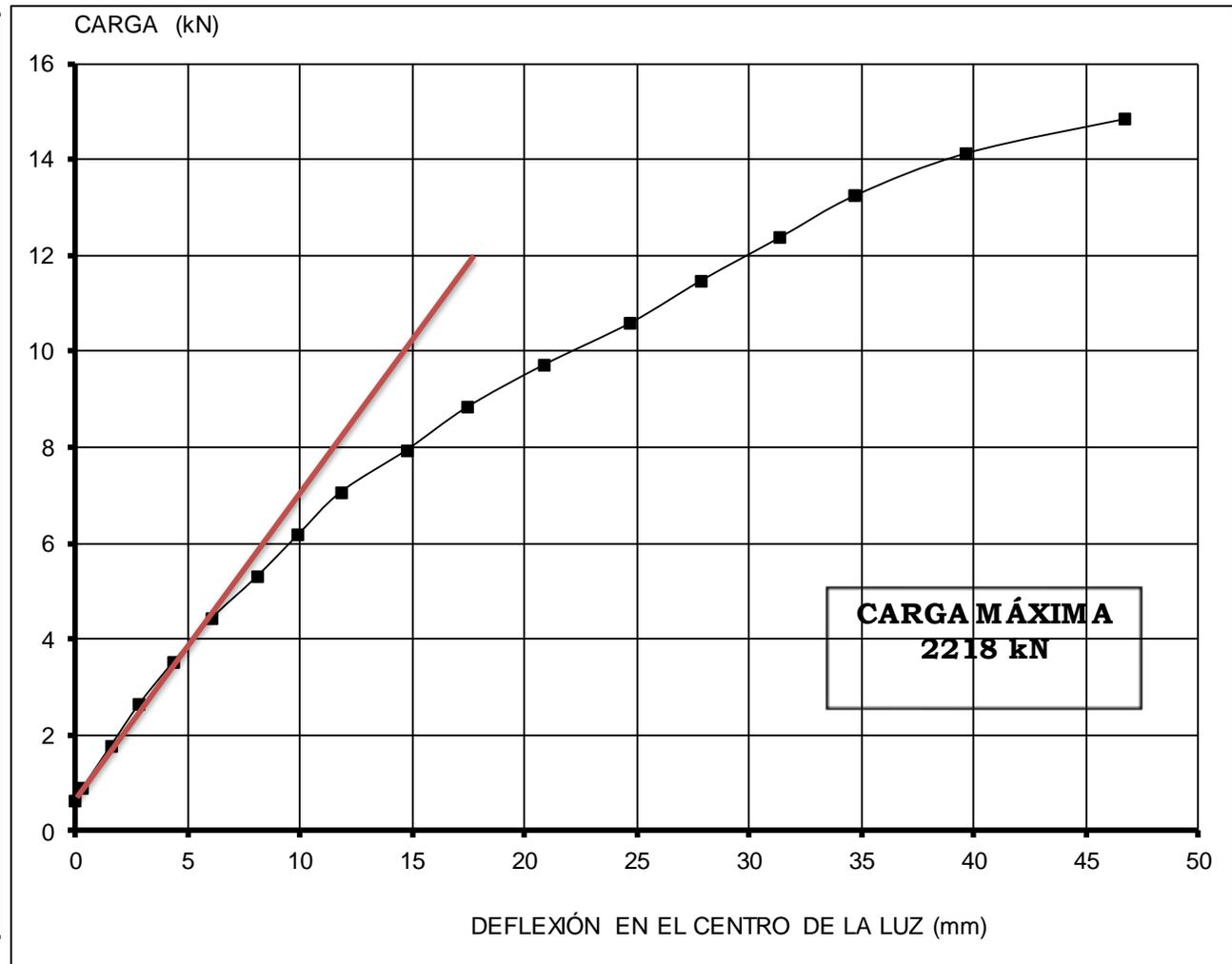
a: 766,67 mm

L: 2300 mm

Fecha de Ensayo: Octubre 16 de 2013

I: 108531126 mm⁴

Carga	Def	Modulo elástico
kN	mm	MPa
0,62	0,00	
0,88	0,32	
1,76	1,58	44,54
2,64	2,86	36,86
3,53	4,38	32,04
4,41	6,03	29,09
5,29	8,07	
6,17	9,93	
7,06	11,81	
7,94	14,76	
8,82	17,42	
9,71	20,84	
10,59	24,73	
11,47	27,88	
12,36	31,33	
13,24	34,72	
14,13	39,70	
14,83	46,70	



G. Anexo: Resultados de ensayos a carga lateral estática en muros a escala real

Carga y desplazamiento máximos resistidos por muros a escala real durante ensayo a carga lateral estática

MUROS	Carga máxima resistida (N)	Desplazamiento máximo (mm)
1	2.767	120
2	2.421	50,2
3	3.287	50,0
Promedio	2.825	73,5
Desviación Estándar	435	40,5
Coefficiente de variación	15,4%	-
Valor característico	1690	-

Resultados de fuerza cortante para un 1% de deriva del muro

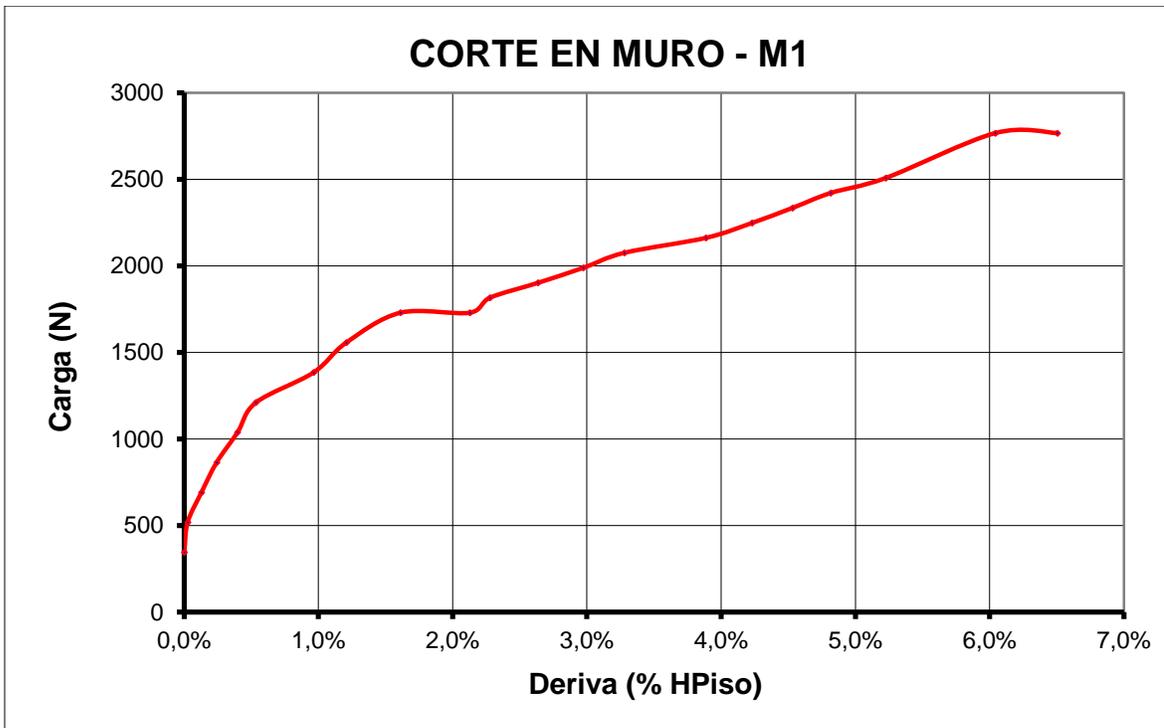
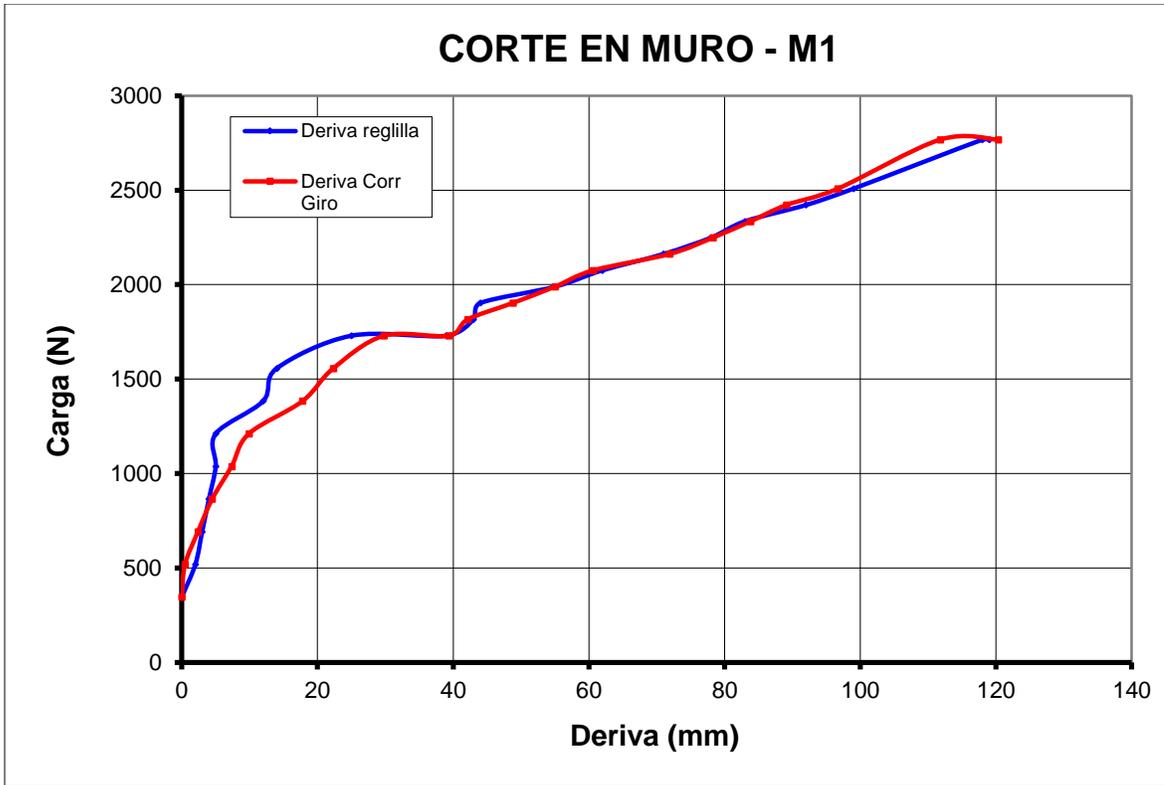
MUROS	Desplazamiento (mm)	Fuerza Cortante (N)
1	18,5	1.410
2	18,5	1.446
3	18,5	1.769
Promedio	18,8	1.542
Desviación Estándar	1,05	198
Coefficiente de Variación	0,056	0,128
Valor característico	15,7	1023

Muestra 1

MUESTRA No. 1

Fecha de Ensayo: Noviembre 15 de 2013

Carga (N)	Mecánicos		% h Piso	Reglilla
	Deriva (mm)	Deriva Correg Giro (mm)		Deriva (mm)
346	0,0	0,0	0,00%	0
519	0,5	0,5	0,03%	2
692	2,4	2,4	0,13%	3
865	4,5	4,5	0,24%	4
1038	7,3	7,3	0,40%	5
1211	9,9	9,9	0,53%	5
1383	17,8	17,8	0,96%	12
1556	22,3	22,3	1,21%	14
1729	29,8	29,8	1,61%	25
1729	39,5	39,4	2,13%	39
1816	42,4	42,1	2,28%	43
1902	49,2	48,8	2,64%	44
1989	55,6	55,0	2,97%	55
2075	61,4	60,6	3,28%	62
2162	71,9	71,9	3,89%	71
2248	78,3	78,3	4,23%	78
2335	83,8	83,8	4,53%	83
2421	89,1	89,1	4,82%	92
2508	96,7	96,7	5,23%	99
2767	111,8	111,8	6,04%	118
2767	120,3	120,3	6,50%	119

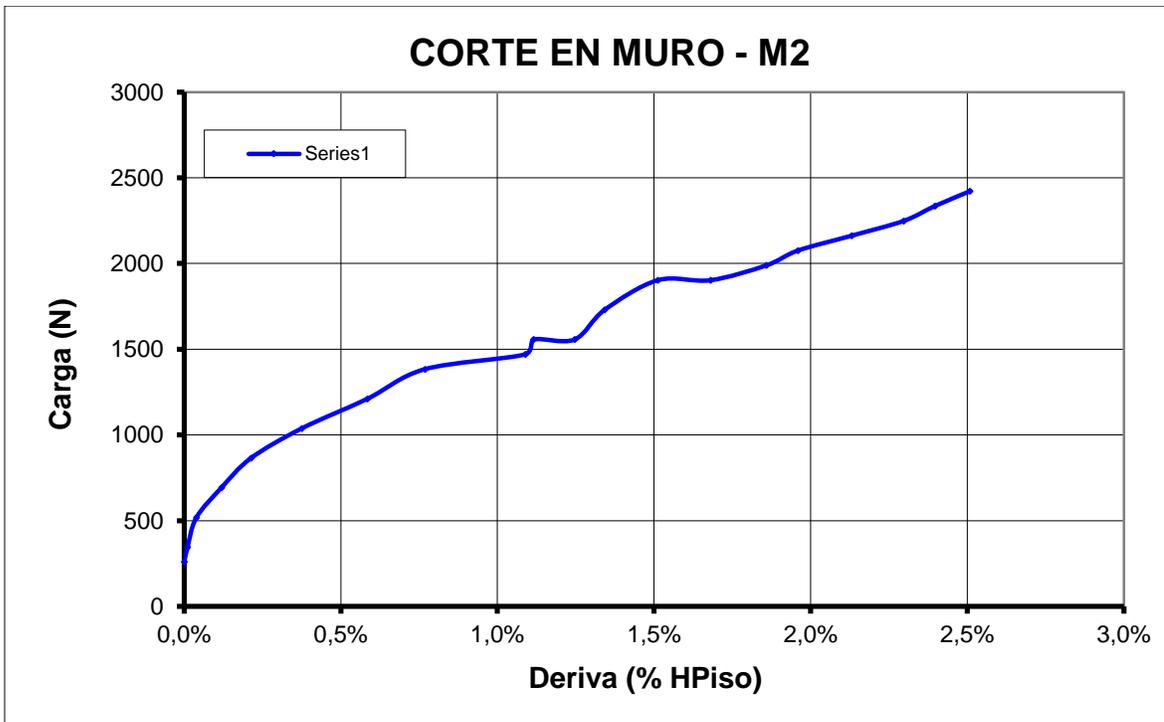
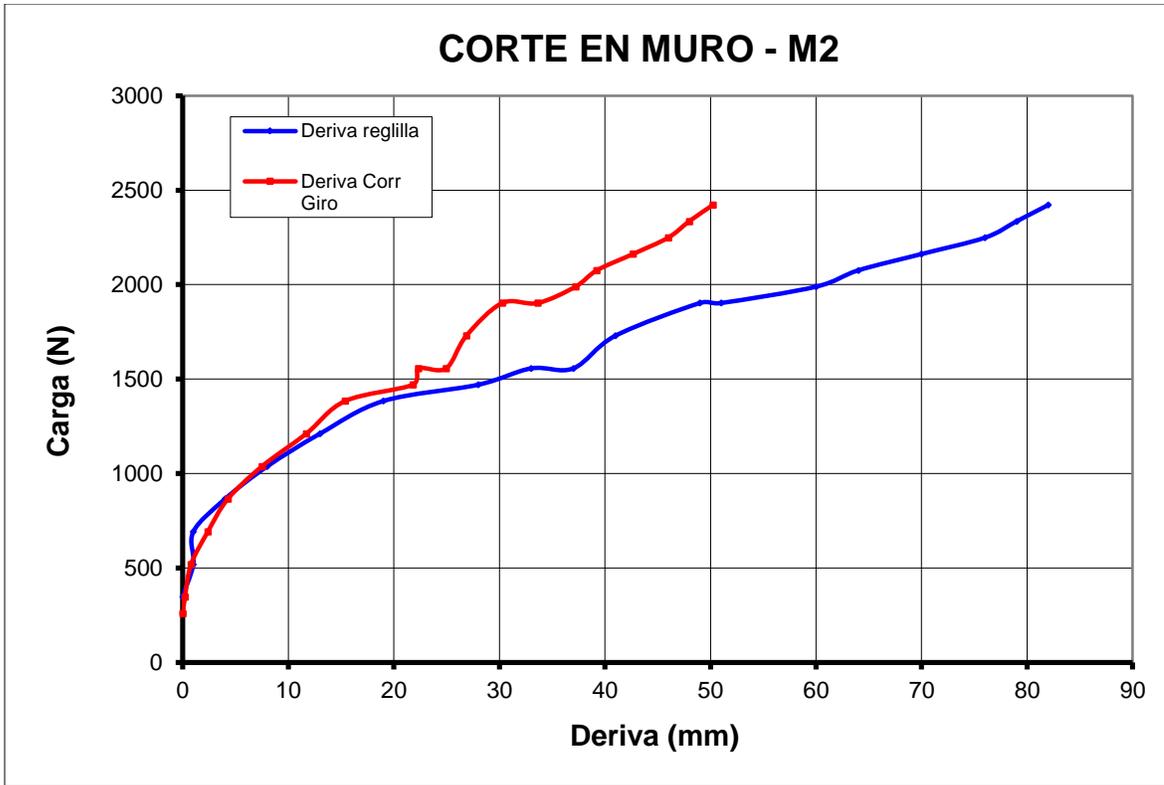


Muestra 2

MUESTRA No. 2

Fecha de Ensayo: Noviembre 19 de 2013

Carga (N)	Mecánicos		% h Piso	Reglilla
	Deriva (mm)	Deriva Correg Giro (mm)		Deriva (mm)
259	0,0	0,0	0,00%	0
346	0,2	0,2	0,01%	0
519	0,8	0,8	0,04%	1
692	2,6	2,4	0,12%	1
865	4,8	4,3	0,21%	4
1038	8,7	7,5	0,37%	8
1211	14,0	11,7	0,58%	13
1383	20,2	15,4	0,77%	19
1470	28,4	21,8	1,09%	28
1556	31,9	22,3	1,12%	33
1556	35,9	24,9	1,25%	37
1729	39,2	26,9	1,34%	41
1902	45,1	30,3	1,51%	49
1902	50,6	33,6	1,68%	51
1989	56,2	37,2	1,86%	60
2075	59,4	39,2	1,96%	64
2162	65,0	42,7	2,13%	70
2248	70,5	46,0	2,30%	76
2335	73,8	48,0	2,40%	79
2421	77,3	50,2	2,51%	82

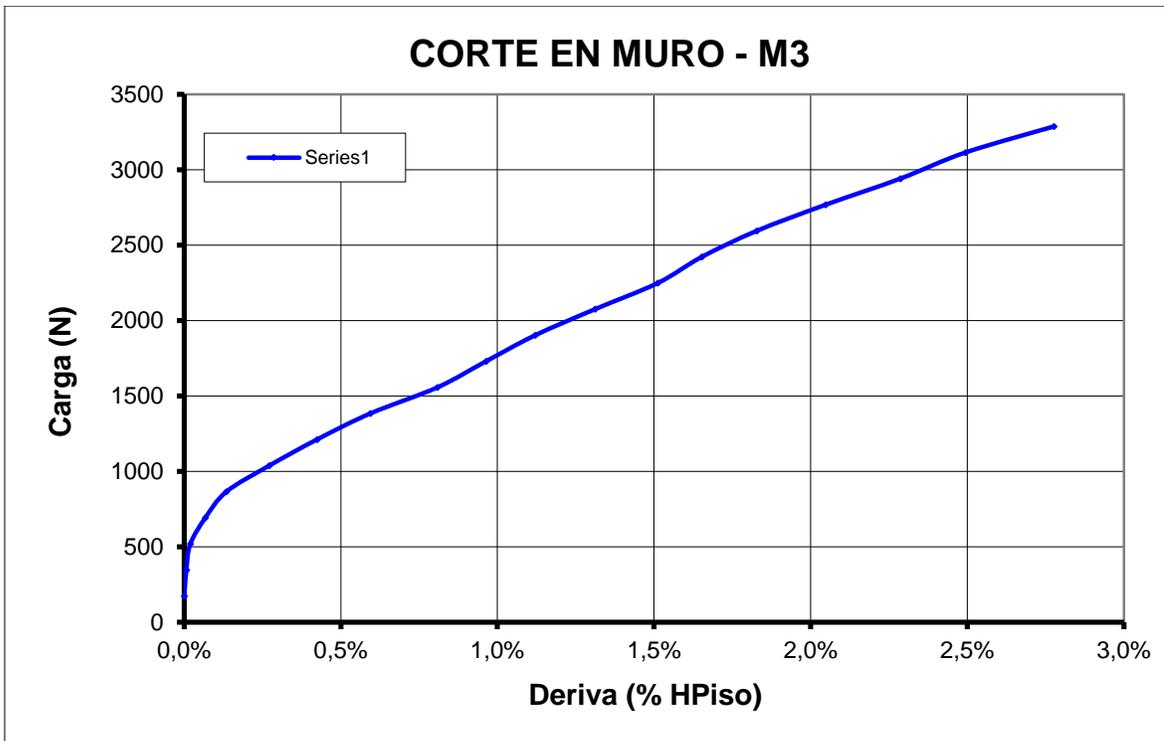
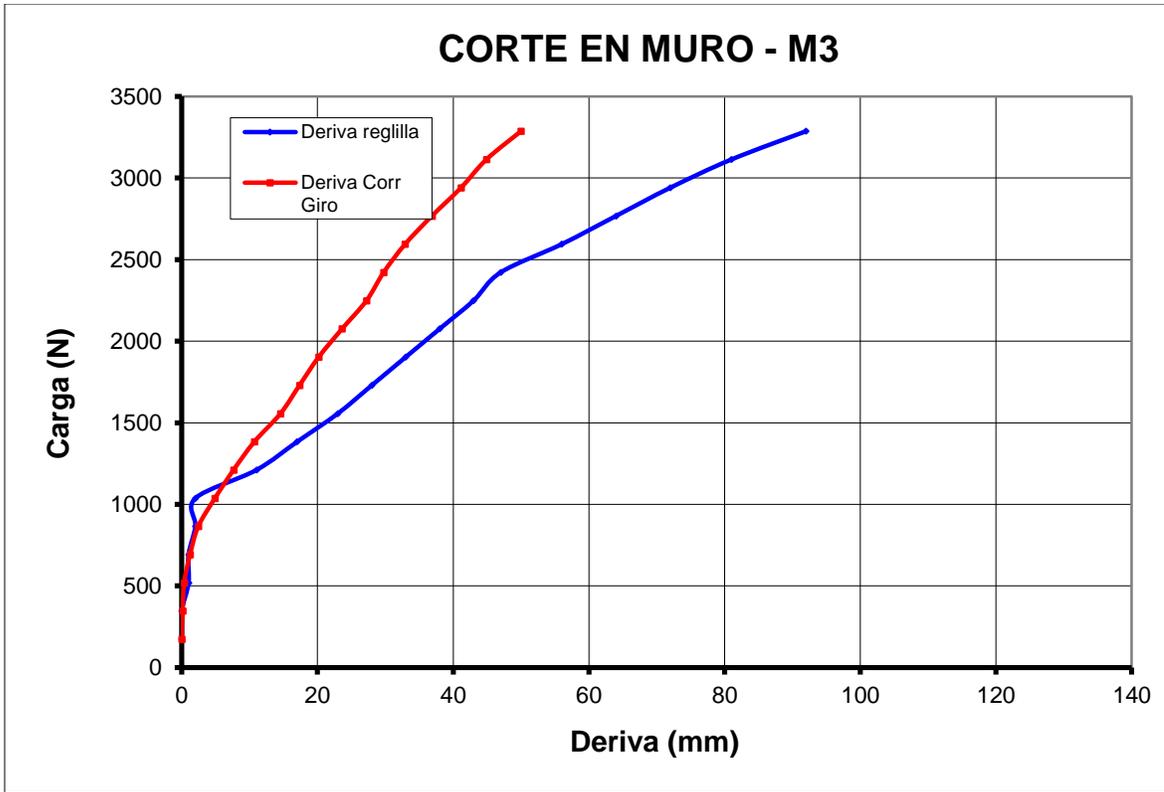


Muestra 3

MUESTRA No. 3

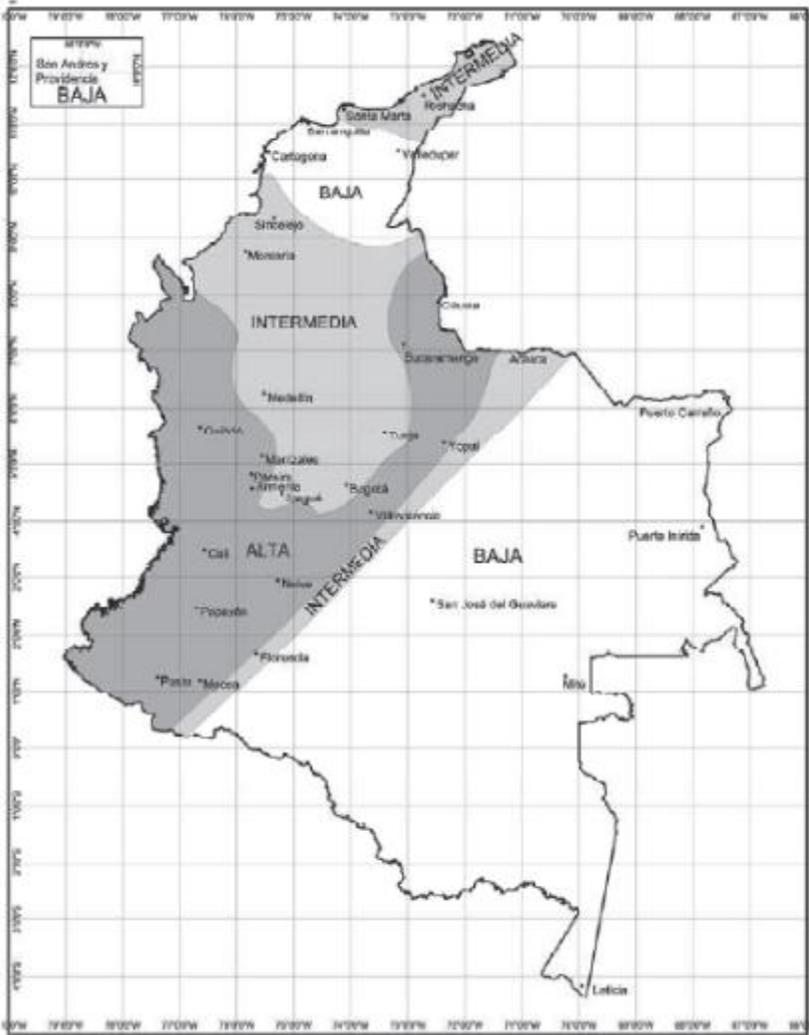
Fecha de Ensayo: Noviembre 20 de 2013

Carga (N)	Mecánicos		% h Piso	Reglilla
	Deriva (mm)	Deriva Correg Giro (mm)		Deriva (mm)
173	0,0	0,0	0,00%	0
346	0,1	0,1	0,01%	0
519	0,4	0,4	0,02%	1
692	1,3	1,2	0,07%	1
865	2,8	2,4	0,13%	2
1038	6,2	4,9	0,27%	2
1211	10,5	7,6	0,42%	11
1383	14,8	10,7	0,59%	17
1556	20,4	14,6	0,81%	23
1729	24,7	17,3	0,96%	28
1902	29,0	20,2	1,12%	33
2075	34,2	23,6	1,31%	38
2248	39,4	27,2	1,51%	43
2421	43,7	29,7	1,65%	47
2594	50,1	32,9	1,83%	56
2767	57,8	36,9	2,05%	64
2941	66,0	41,2	2,29%	72
3114	73,6	44,9	2,49%	81
3287	83,0	50,0	2,78%	92



H. Anexo: Figuras de la NSR-10 utilizadas en la investigación

- Figura A.2.3-1 Zonas de amenaza sísmica – según NSR-10



- Tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente F_a – según NSR-10 (utilizada para establecer la envolventes de espectros)

Tabla A.2.4-3
Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

- Tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente F_v – según NSR-10 (utilizada para establecer la envolventes de espectros)

Tabla A.2.4-4
Valores del coeficiente F_v , para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

- Figura A.2.6-1 espectro elástico de aceleración de diseño como fracción de la gravedad – según NSR-10 (utilizada para establecer la envolventes de espectros)

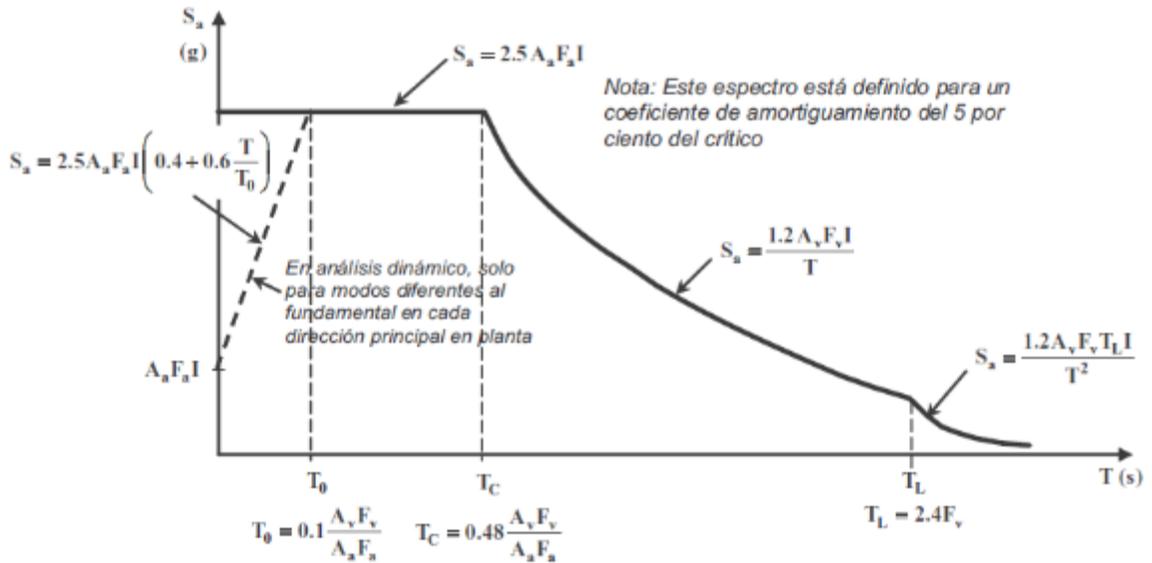
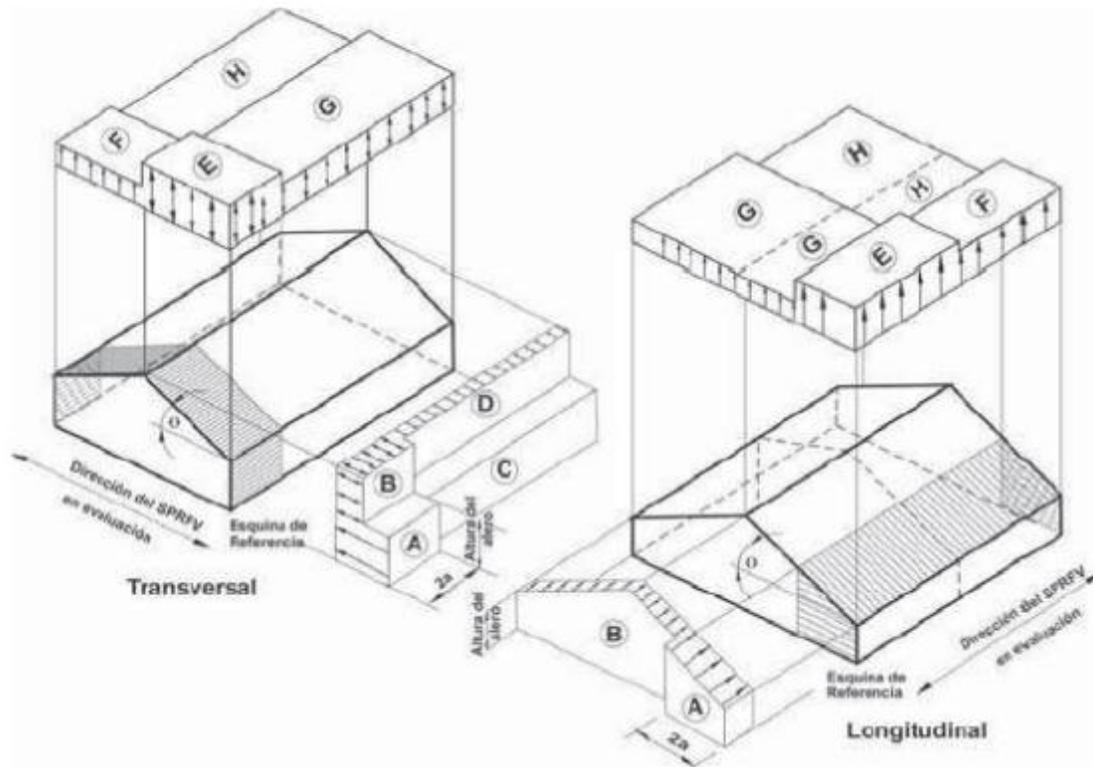


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

- Figura B.6.4-2 Presiones de viento de diseño, sistema principal de resistencia de fuerzas de viento (SPRFV) Método 1 – según NSR-10 (utilizada para establecer las solicitaciones de viento)

Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento (SPRFV) – Método 1		$h \leq 18.0 \text{ m}$
Figura B.6.4-2	Presiones de Viento de Diseño	Muros y Cubiertas
Edificios Cerrados		



7. Bibliografía

1. **Escuela Colombiana de Ingeniería.** Plásticos protocolo curso de proceso de manufactura. Bogotá : s.n., 2007-2.
2. *Polímeros vs. plásticos.* Flores, Carlos E. Octubre de 2009, Revista electrónica No. 14, págs. 51-60.
3. **Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers.** *Plastics – the Facts 2015 An analysis of European plastics production, demand and waste data.* UE-28 plus Norway and Switzerland : s.n., 2015.
4. **BurjKhalifa.es.** [En línea] [Citado el: 5 de 4 de 2016.] <http://burjkhalifa.es/el-burj-khalifa-en-cifras/>.
5. **arquitexs.** *arquitexs.* [En línea] Wordpress, 7 de 2 de 2010. [Citado el: 5 de 4 de 2016.] <http://www.arquitexs.com/2010/02/burj-khalifa-edificio-mas-alto-del.html>.
6. **AIRD.** *Estudio de benchmarking del sector de plastico entre Republica Dominicana y Colombia.* 2010. ref 3389 v001.
7. **Salamanca, Carlos Alberto Garay.** *el empaque. el empaque.* [En línea] Septiembre de 2012. [Citado el: 5 de Abril de 2016.] <http://www.elempaque.com/temas/Industria-colombiana-de-plastico-mueve-USD4000-millones+4089645>.
8. **Superintendencia de sociedades.** *Superintendencia de sociedades.* [En línea] Ministerio de comercio, industria y turismo, 2014. [Citado el: 05 de 04 de 2016.] www.supersociedades.gov.co/asuntos-economicos-y-contables/estudios-y-supervision-por-riesgos/estudios-economicos-y-financieros/Paginas/Sectores-economicos.aspx.
9. **Toro, Carmen Gonzales.** *Agua de escorrentia.* [En línea] julio de 2010. [Citado el: 05 de 04 de 2016.] <http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Material%20educativo/Manchas%20de%20basura%20en%20el%20Pacifico.pdf>.
10. **R. Gonzalo, E. Rodrigo, S. Salvador, P. García, J. Martínez, P. Ferro, E. Yebes.** *Tecnología.* Andalucía : ANAYA, 2011. 978-84-667-1481-5.

11. University of Gothenburg. Eureka! The global source for science news. [En línea] AAAS, the science society, 28 de 11 de 2010. [Citado el: 5 de 4 de 2016.] http://www.eureka!org/pub_releases/2010-11/uog-cfp112810.php.
12. Yanes, Javier. bbvaopenmind. [En línea] BBVA, 22 de 4 de 2015. [Citado el: 5 de 4 de 2016.] <https://www.bbvaopenmind.com/5-alternativas-para-un-planeta-sin-plastico/>.
13. *La degradación de los plásticos*. Bustamante, Beatriz Posada. 94, s.l. : Revista Universidad EAFIT, 2012, Vol. 30.
14. Nirich, Sergio. *Diagnóstico provincial de los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos*. Gobierno de la provincia de Cordoba. Cordoba - Argentina : Agencia de Ambiente de Cordoba, 2000.
15. *Los plásticos; propiedades, tipos y aplicaciones, fabricación de objetos de plásticos y el reciclaje*. Centro del Profesorado y de Recursos de Avilés. 2010.
16. RODRIGUEZ, Pedro L. xente. [En línea] 2010. [Citado el: 5 de 4 de 2016.] www.xente.mundo-r.com/explora/quimica3/Polimeros.pdf.
17. *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)*. GIRÓN, IVÁN ERNESTO ROCA. GUATEMALA : UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 2005.
18. Tomia. [En línea] [Citado el: 18 de 5 de 2016.] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=591683>.
19. *El impacto de los plásticos en el ambiente*. HERNÁNDEZ, María Laura ORTIZ. Especial, México : s.n., 2013, Vol. Laura angulo.
20. *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. CALVO, Mariano SEOÁNEZ. Madrid, España : s.n., 2000, Vols. Mundi-Prensa.
21. Organización de las Naciones Unidas - ONU. *Nuestro futuro común*. Noruega : Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1987.
22. Organización de Naciones Unidas - ONU. *Informe de la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible*. Johannesburgo - Sudáfrica : s.n., 2002.
23. EspokNews. EspokNews. [En línea] 22 de 10 de 2011. [Citado el: 5 de 4 de 2016.] <http://www.expoknews.com/la-sustentabilidad-de-los-plasticos>.
24. Asociación Nacional de Industrias del Plástico. *Reforma*. Mexico : Anipac, 2011. págs. 10-15.

25. *Desenvolupamente sostenible*. Teran, Johanna Cáceres. 66, 1996. 1132-7081.
26. *Tecnología de reciclado para la auto-construcción de viviendas*. Gaggino, Rosana. 10, Córdoba, Argentina : I+A: Investigación + Acción, 2007, Vol. 11.
27. *Development of Energy-Efficient Concrete Buildings Using Recycled Plastic Aggregates*. Elzafraney M., Soroushian P., Deru M. s.l. : JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING © ASCE, 2005.
28. *New lightweight construction material: cellular mat using recycled plastic*. NOOR HASANAH, WIJESEKERA D, ISMAIL B, y SAIDIN W. Switzerland : elsevier, 2014, Vols. 594-595.
29. *Eco-Sustainable housing development for vulnerable population*. SALAZAR Edgar, ARROYAVE Juan, MORENO Ivan. 1, 2014, Vol. 16.
30. *Water-resistant panels made from recycled plastics and resin*. Rosana, GAGGINO. s.l. : elsevier, 2012, Vol. 35.
31. CHANDRA Vijay, KIM John S, BRINCKERHOFF Parsons. *Design Considerations for Thermoplastic Bridges*. s.l. : Axion International, Inc., 2012.
32. *World's First Thermoplastic Bridges made of Recycled Plastics*. CHANDRA Vijay, KIM John S. Seoul : IABSE Congress Report, 18th Congress of IABSE, 2012.
33. axion international, Inc. [En línea] [Citado el: 12 de 05 de 2016.] <http://www.axionintl.com/index.html>.
34. *Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate*. FERREIRA Luis, DE BRITO Jorge, SAIKIA Nabajyoti. s.l. : elsevier, 2012, Vol. 36.
35. *Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement*. Ismail Z, Al-Hashmi E. 11, Oxford : Waste Manage, 2008, Vol. 28, págs. 2041-7.
36. J.S., Maini. *Desarrollo sostenible de los bosques*. Ottawa, Canadá : Departamento de Montes, 1991.
37. Muñoz, Juan Plablo. prezi.com/vjg0txmcgye7/. [En línea] 9 de 11 de 2012. [Citado el: 14 de 05 de 2016.] http://prezi.com/vjg0txmcgye7/?utm_campaign=share&utm_medium=copy&rc=ex0share.
38. *Long-term engineering properties of recycled plastic lumber used in pier construction*. Breslin V, Senturk U, Berndt C. s.l. : elsevier, 1998, Vol. 23.

39. ***Plastics Recycling: Products and Processes Chapter 9: Commingled Plastics.*** Nosker TJ, Van Ness KE. New York: Hanser Publishers : Ehrig R.J., 1992.
40. Zarillo G, Lockert C. ***Feasibility of Using Commingled Recycled Plastic in Marine Construction.*** Florida : s.n., 1993.
41. ***Design development of wood-plastic for building louver façade.*** Benjapon Wethyavivorn, Siradech Surit. Bangkok : Elsevier, 2011, Vol. 21.
42. FICIDET. [En línea] 2010. [Citado el: 18 de 5 de 2016.] <http://www.ficidet.com/brickarp/caracteristicas.htm>.
43. Quintero, Martha Varga. ***Sistema constructivo Brickarp(r).*** Santiago de Cali : s.n., 2010.
44. Parra, Arq. Carolina. [entrev.] Jorge Sierra Jimenez. Santiago de Cali : Entrevista personal, Octubre de 2015.
45. Barney, Sonia Juliana Calero. ***Proceso de producción Brickarp.*** Santiago de Cali : FICIDET, 2011.
46. Méndez, Paola Díaz. ***Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera Nothofagus glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes.*** Talca-Chile : Universidad de Talca, 2005.
47. Ley 400 de 1997 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ***Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente.*** Bogotá D.C. - Colombia : s.n., 2010.