

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COMPONENTES DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO NO TRADICIONAL.

Reyes H. Indira, Néstor Guerrero, María E Marante, Eliana Barradas, Rafael Díaz
Email: hreyes@ucla.edu.ve, nguerrero@ucla.edu.ve

RESUMEN

En este trabajo se determinaron curvas experimentales de comportamiento de los componentes pertenecientes a un sistema constructivo no tradicional llamado Sistema Modular Cerchalosa. Estos componentes están formados por paneles denominados tipo losas y tipo muro, para lo cual fueron sometidos a flexión, corte diagonal y flexocompresión con diferentes niveles de carga axial, adicionalmente se ensayaron juntas losas-muros. Las historias de desplazamiento aplicadas fueron de tipo monótonico. Para ello se implementó un programa experimental llevado a cabo en el Laboratorio de Mecánica Estructural (LME) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Las probetas ensayadas a flexión se agruparon en función de la longitud y las otras sometidas a corte diagonal y flexocompresión, se agruparon considerando la relación de aspecto (ra). Para los ensayos de estos últimos, se implementó la técnica de correlación de imágenes digitales para obtener los campos de desplazamientos y deformación, así como la visualización del modo de falla.

Palabras Claves: Sistema Modular Cerchalosa, ensayo a flexión, Flexocompresión, Corte Diagonal, Correlación de imágenes digitales.

ABSTRACT

In this work, experimental behavior curves of novel building system called Modular Cerchalosa System (MCS) were determined. The components of this system were grouped in horizontal panels called slab panels and vertical panels called wall panels. The first group was subjected to bending test and the second ones were subjected to compression bending test with different levels of axial force. In addition the joint wall – slab panels was tested.

The program test was implemented in the Structural Mechanics Laboratory (SML) in the Lisandro Alvarado University in Barquisimeto, Venezuela. The applied load in each test was monotonic. The slab panels test were group in terms of length and the wall panels were grouped in terms of aspect ratio (ra). For testing the latter technique was implemented, digital image correlation to obtain the displacement and strain fields and the display of the Digital Image Correlation (DIC) technique was implemented in the latter group to obtain displacement and strain fields and failure mode.

Keywords: Modular Cerchalosa System, bending test, compression bending test, diagonal shear, digital image correlation.

1.- INTRODUCCION

La utilización de materiales no convencionales para la construcción de sistemas estructurales prefabricados, ha sido estudiada durante los últimos años con el propósito de implementar técnicas que permitan el desarrollo de construcciones más económicas y eficientes, de tal manera que puedan ser aplicadas en futuros proyectos de edificaciones de uso residencial y/o comercial.

En este sentido, diferentes investigadores han llevado a cabo programas experimentales sobre sistemas constructivos basados en paneles conformados por un alma de

poliestireno expandido con malla electrosoldada espacial, revestidos externamente con hormigón o mortero proyectado en ambas caras, con la finalidad de obtener curvas de comportamiento de los elementos, y obtener así las propiedades físicas y mecánicas mediante el uso de herramientas teóricas y experimentales[1].

Basados en la características antes mencionadas, en Venezuela se están implementando en la construcción de obras civiles, diversos sistemas constructivos no tradicionales tales como: Sidepanel, Emmedue, Cerchalosa entre otros.

Sin embargo, los reportes de resultados de ensayos experimentales sobre estos nuevos sistemas son limitados, incluso no existen normativas referentes a la determinación de parámetros que definan estados límites de desempeño, que permitan un adecuado análisis estructural, por lo tanto, es necesaria la investigación y experimentación en ésta área.

En éste trabajo de investigación, se presenta la determinación experimental de curvas de comportamiento mecánico de los componentes de un sistema constructivo no tradicional denominado Sistema Modular Cerchalosa, mediante la aplicación de un programa experimental de ensayos.

Para la elaboración de la fase experimental, se recopilieron normas referentes a la evaluación de elementos de concreto armado [2-3], Estudio y Evaluaciones de sistemas aligerados existentes [4-5]. Adicionalmente en esta fase se aplicó la técnica de Correlación de Imágenes Digitales CORRELLI, implementada en trabajos de investigación [6-7], para el análisis de elementos de estructuras civiles a escala real, es utilizada para medir campos de desplazamiento y deformaciones, basada en la comparación de dos imágenes digitales de la superficie del sólido en estudio, antes y posterior a la deformación.

En cuanto esta técnica, se puede mencionar que el campo de desplazamiento en el plano, es evaluado mediante la correlación cruzada de una región de interés (RI), seleccionada en la superficie de la imagen deformada con respecto a una imagen de referencia y con el empleo del algoritmo CORRELLI-Q4, para ello se considera una sub-imagen que se denomina zona de interés (ZI), con el propósito de comparar las ZI de las dos imágenes, esta evaluación consiste en generar una imagen deformada artificialmente con un desplazamiento conocido (upre), que varía entre cero y uno en las componentes X y Y. Finalmente al aplicar el algoritmo a este par de imágenes se mide el campo de desplazamiento estimado (uest).

En primer término se presenta una descripción del sistema constructivo en estudio, luego la fase experimental llevada a cabo en los elementos estructurales bajo diferentes sollicitaciones, y posteriormente se muestran los resultados obtenidos, permitiendo establecer criterios para un adecuado análisis estructural de edificaciones construidas bajo este sistema constructivo.

2.- SISTEMA CONSTRUCTIVO NO TRADICIONAL: SISTEMA MODULAR CERCHALOSA (SMCL)

El sistema estructural del SMCL, está conformado por una combinación de paneles tipo losas y paneles tipo muros, las primeras están compuestas por una estructura interna principal de cercha tridimensional y nervios laterales en celosía con acero de refuerzo de diámetro entre 6 – 8 mm y láminas metálicas calibre 20 en forma de V tanto en la parte superior como inferior como se muestra en la Figura 1. Con la finalidad de dar arriostramiento a estos nervios, se conectan mediante acero de refuerzo transversal espaciados cada 30 cm. El esfuerzo cedente de las acero de refuerzo utilizado es de 5000 kgf/cm², internamente la estructura posee laminas de poliestireno como relleno. Para lograr la

adherencia del concreto o del mortero a la armadura, se le adosa una malla de alambre de ojos hexagonales en ambas caras del panel, la resistencia de los mismos dependerá de la dosificación en obra, finalmente el ancho total del panel es de 60 cm y espesor de 23,5 cm.

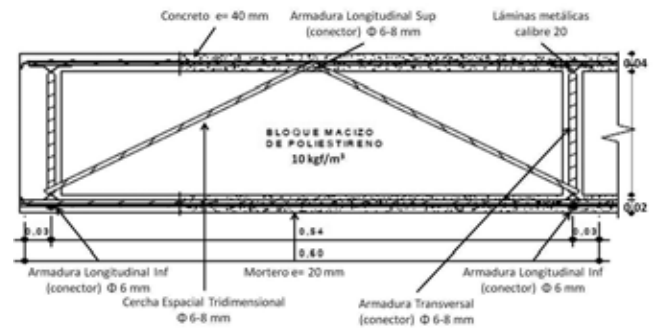


Figura 1. Panel tipo losa de techo del SMCL

Los paneles tipo muro son de estructura más sencilla que la anterior, y funcionan como elementos estructurales autoportantes, estos se encuentran lateralmente rigidizados por nervios en celosía o cerchas planas compuestas por láminas metálicas calibre 20 y acero de refuerzo de diámetro $\Phi = 5$ mm, adicionalmente posee longitudinalmente un acero de refuerzo de diámetro $\Phi = 5$ mm como se muestra en la Figura 2a.

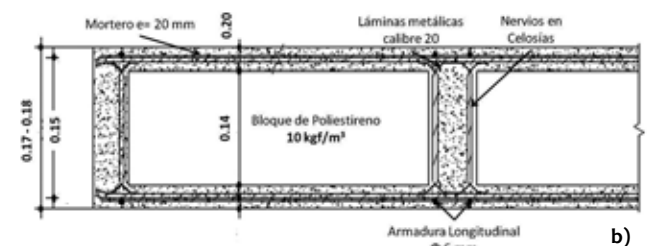
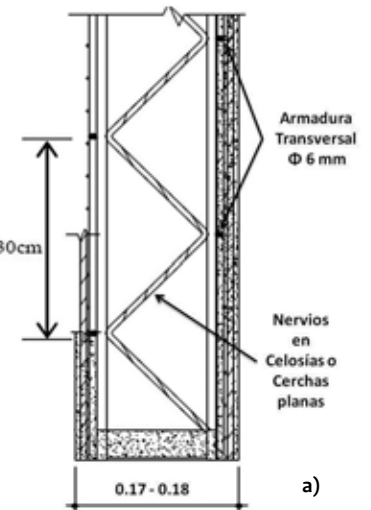


Figura 2. Panel vertical tipo muro del SMCL (a) Vista Transversal, (b) Vista en Planta

Los nervios en celosía se arriostran con acero de refuerzo transversal de diámetro de 5 mm y separadas cada 30 cm, adicionalmente se coloca internamente una lámina de poliestireno uniforme como se muestra en la Figura 2b, estas son colocadas de tal forma que el acero de refuerzo de los paneles permanezcan descubiertas en su cara externa. A estos paneles se les adosa una malla de alambre de ojos hexagonales y se reviste externamente con mortero de cemento o friso de resistencia aproximada de 180 kgf/cm² y

espesor de 20 mm. La dimensión estándar o típica de un panel es: 60 cm de ancho, 18.5 cm de espesor y altura 2.50 – 3.30 m. Con la finalidad de reflejar experimentalmente el comportamiento de estos paneles, se adosaron a cada uno de los mismos, una viga en la parte superior para representar la unión de las losas sobre el muro.

3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El programa experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Mecánica Estructural (LME), ubicado en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (Barquisimeto – Lara). Este laboratorio posee dos marcos estructurales, dos actuadores hidráulicos MTS de 50 ton y uno de 25 ton, que se encuentran conectados a un sistema computarizado que trabaja bajo el Software Teststart II.

La selección de las características geométricas de las probetas o paneles tipo losas y muros, obedece al tipo de ensayo aplicado y según la construcción del sistema en obra, considerando, ocho (8) paneles tipo losas y quince (15) paneles tipo muros, todos con dimensiones variables.

En las tablas 1 y 2 se muestran la identificación y las características de las probetas utilizadas en el programa de ensayos a flexión, corte diagonal y flexocompresión.

A los paneles tipos losas, se les colocó un recubrimiento superior de concreto de 40 mm y un mortero inferior de 20 mm con un espesor de poliestireno de 175 mm. Mientras que a los paneles tipo muros, utilizados en los ensayos a corte diagonal, se les colocó un recubrimiento exterior con mortero en ambas caras de 22 mm y un espesor de poliestireno de 141 mm.

Identificación	Cantidad de Paneles	Anchura (b _L)	Longitud (L _L)
LT1	2	600	3000
LT4	2	1200	3000
LT2	2	600	4200
LT3	2	1200	4200

Cantidades en mm.

Tabla 1. Probetas tipo losas sometidas a ensayos de flexión.

Identificación	Cantidad de Paneles	Anchura (L _m)	Altura (h _m)
M1	2	720	2500
M2	2	1320	2500
M3	2	1920	2500
M4	2	2520	2500
M5	2	3720	2500

Cantidades en mm.

Tabla 2. Probetas tipo muros, utilizadas en los ensayos a corte diagonal.

Los paneles tipo muros sometidos a ensayos de flexocompresión, poseen las siguientes características geométricas 1.90 m de ancho, 2.30 m de altura y 0.18 m de espesor. Los mismos fueron identificados de acuerdo al tipo ensayo, el primero identificado como MC y sometido a compresión pura, el segundo MF0 sometido a flexión con carga axial nula, el tercero como MF10 sometido a flexocompresión uniaxial con una carga axial igual al 10% del valor de la carga axial última (Pu) obtenida en ensayo MC, el cuarto MF20 sometido a flexocompresión uniaxial con una carga axial

igual al 20% de Pu, y el quinto MF30 sometido a flexocompresión uniaxial con una carga axial de 30% de Pu.

La configuración de los ensayos aplicados a flexión, de los paneles tipo losas bajo cargas monotónicas fueron: con carga puntual en el centro del tramo y carga simétrica a los tercios del tramo como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Configuración del ensayo a flexión de las losas (a) Carga aplicada en el centro del tramo, (b) Carga aplicada a los tercios del tramo.

En la figura 4a se muestra la configuración del dispositivo de aplicación de carga en los ensayos a corte diagonal de los paneles tipos muros, con una aplicación de carga horizontal en el tope del mismo y carga axial nula, a fin de obtener el comportamiento resistente en el plano del muro inducido por carga lateral. La aplicación de la carga axial en los ensayos a flexocompresión uniaxial, se realizó mediante un gato hidráulico manual con capacidad de 100 ton como se muestra en la Figura 4(b). En ambos programas de ensayos, las historias de desplazamientos impuestas siguieron un esquema de cargas y descargas de tipo monotónico, con descarga a fuerza cero.



Figura 4. Configuración de los ensayos de los paneles tipo muros. (a) Ensayo a corte diagonal (b) Ensayo a flexocompresión

Para este programa de ensayos, se utilizó la técnica (CORRELLI) anteriormente mencionada, la cual requiere que la superficie en estudio posea una textura no uniforme, para ello se aplicó una pintura texturizada sobre la superficie de

los elementos, posteriormente durante la realización del ensayo se mantuvo una iluminación constante y se capturaron imágenes secuenciales mediante una cámara fotográfica digital.

Se realizó la comparación de dos imágenes digitales de la superficie del muro ensayado, antes y posterior a la deformación, y finalmente obtener el modo de falla presentado en la superficie en estudio debido a las cargas aplicadas.

4.- RESULTADOS Y DICUSIÓN

4.1.- Modos de Falla:

La configuración del sistema permite definir un modo de falla particular en cada elemento, para los paneles tipo losas, el criterio del modo de falla se tomó en cuenta lo que ocurrió primero entre: un agrietamiento por tracción en el concreto ó fallas en los elementos de refuerzo tales como, pandeo en las diagonales de la celosía, falla por soldadura o rotura por tracción. En este mismo orden de ideas, para los paneles tipo muros, el criterio de falla considerado está dado por: la ocurrencia de falla por separación en la junta de conexión del muro y la base, las fallas por aparición de grietas horizontales, verticales y con inclinación a 45° por efecto de corte y las fallas por aplastamiento o desprendimiento del friso.

4.2.- Paneles Tipo Losas:

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos experimentales aplicados a las losas de techo LT1 y LT4, con carga aplicada simétricamente a los tercios del tramo.

Variables Obtenidas	Unidades	LT1-1	LT1-2	LT4-1	LT4-2
Py	N	17703.88	15523.66	32356.98	28537.37
δy	Mm	9.19	11.87	10.49	9.42
Pu	N	21624.89	19123.56	39641.28	37427.26
δu	Mm	14.24	15.32	15.01	16.36

Tabla 3. Resultados de ensayos a flexión a los tercios del tramo.

Asimismo en la Figura 5, se muestran las curvas de comportamiento obtenidas experimentalmente hasta la falla.

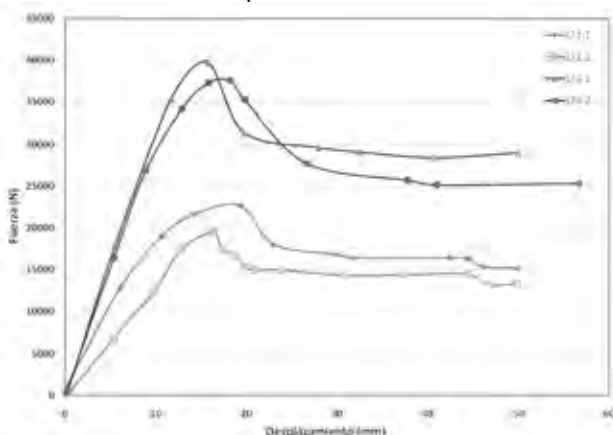


Figura 5. Curvas de comportamiento a flexión de los paneles losas LT1, LT4, con carga a los tercios del tramo

El modo de falla observado en estas losas fue el pandeo de

las diagonales de las celosías, este pandeo se produce por efecto de la transmisión de la carga hacia los apoyos, como se puede observar en la Figura 6.

El aumento de los valores en las curvas de comportamiento de la pareja de losas LT4, respecto a la pareja de losas LT1, se debe a que las losas poseen un área transversal igual al doble de las losas LT1.

Durante el ensayo y después de la falla, las losas no presentaron agrietamiento del concreto superior ni desprendimiento del friso inferior; De forma general, las curvas de comportamiento obtenidas, muestran después del punto de máximo esfuerzo, una caída súbita debido al modo de falla presentado.



Figura 6. Pandeo de las diagonales o celosías de las losas LT1 y LT4

En la tabla 4, se presenta los resultados de las losas LT2 y LT3 con carga aplicada en el centro del tramo.

Variables Obtenidas	Unidades	LT2-1	LT2-2	LT3-1	LT3-2
Py	N	7850.64	7918.244	12633.6	13106.83
δy	Mm	13.49	12.07	8.95	10.55
Pu	N	11771.65	11737.85	24312.14	24667.06
δu	Mm	44.21	39.58	44.69	47.63

Tabla 4. Resultados de ensayos a flexión en el centro del tramo

De igual forma en la Figura 7, se muestran las curvas de comportamiento experimentales obtenidas.

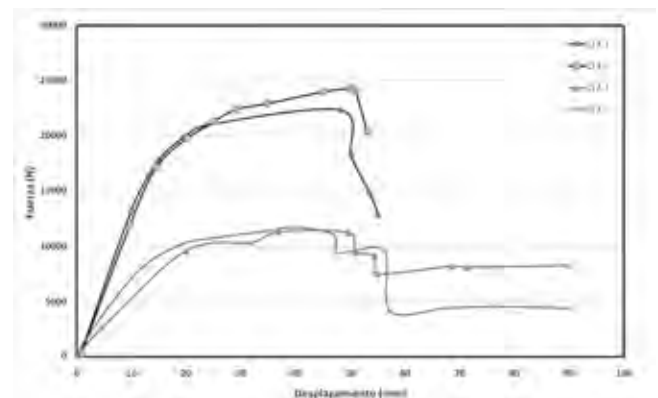


Figura 7. Curvas de comportamiento a flexión de los paneles losas LT2, LT3, con carga en el centro

Las curvas de comportamiento de estas losas, presentaron un rango de fluencia amplio y continuo hasta llegar a la carga última, en la pareja de losas LT2, previo a la falla, se presentaron agrietamientos del recubrimiento inferior en el punto de aplicación de la fuerza, por otro lado, la pareja de losas LT3 presentó un aumento de las cargas aplicadas con respecto a la pareja de losas LT2, debido a que las losas LT3 poseen un área transversal mayor.

La falla ocurrió en el punto de aplicación de la carga, la cual consistió en la fractura del acero longitudinal y las láminas perteneciente a los nervios. El modo de falla está gobernado principalmente por la flexión del panel ver Figura 8.



Figura 8. Fractura del acero longitudinal y separación de la lámina calibre 20 correspondiente al nervio

Considerando los resultados obtenidos, el peso propio de los elementos, y estimando un valor promedio para cada par de losas, se determinaron los cortantes y momentos por unidad de longitud del par de losas, como se muestran en la tabla 5, se observó que existe una aproximación en el comportamiento resistente de los paneles, tal como se espera para un panel típico, sin embargo, la aparente diferencia en los valores obtenidos puede ser ocasionado por la fabricación de los paneles ya que no son producidos en series y por la variabilidad de las características de los materiales.

Variabes Obtenidas	Unidades	LT1	LT4	LT2	LT3
V_u/b_L	N/m	16079.85	14027.35	9699.431	8491.652
M_u/b_L	N.m/m	15688.72	13692.09	17083.29	14546.95
V_u/b_L	N/m	19213.56	17396.97	12924.69	13333.06
M_u/b_L	N.m/m	18654.8	17061.71	23856.33	24713.92

Tabla 5. Valores obtenidos para las losas

El modo de falla observado en las losas con una longitud 3.00 m, correspondió a una falla por fuerza cortante en los apoyos, mientras que en las losas con una longitud 4.20 m, el modo de falla corresponde a efectos de flexión. Esto permite concluir que la fuerza cortante máxima resistente de un panel tipo losa es de 19213 N por metro de ancho de panel y un momento máximo resistente de 24713 N.m por metro de ancho de panel.

Por otro lado, la ductilidad de las losas ensayadas se de-

terminaron mediante las curvas de comportamiento obtenidas experimentalmente, a partir de la relación existente entre la deflexión última y cedente, a continuación se muestra en la tabla 6 los valores de ductilidad para las losas.

LOSAS	Ductilidad (μ)
LT1-1	1.55
LT1-2	1.29
LT4-1	1.43
LT4-2	1.74
LT2-1	3.28
LT2-2	3.28
LT3-1	5.00
LT3-2	4.52

Tabla 6. Ductilidad de las probetas tipo losas

De manera general, se observó que los valores de ductilidad determinados corresponden al modo de falla, presentando en los elementos con longitud $L = 3.00$ mt, una baja ductilidad con un efecto predominante de corte, mientras que en los elementos con una longitud $L = 4.20$ mt, se observó un incremento en el valor de la ductilidad y con la flexión como efecto predominante.

Las rigideces determinadas se ajustan al modelo matemático referido, losas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo y en el centro del tramo, y con un comportamiento elástico, en la tabla 7 se muestra el EI: Rigidez de losa ensayada, $EI_{Promedio}$: Rigidez Promedio de losas con mismas características geométricas y EI_{Tipo} : Rigidez del panel de losa estándar con 0.60 m de ancho.

LOSAS	EI (N.cm ²) x 10 ¹⁰	$EI_{Promedio}$ (N.cm ²) x 10 ¹⁰	EI_{Tipo} (N.cm ²) x 10 ¹⁰
LT1-1	1.61		
LT1-2	1.09	1.35	1.35
LT4-1	2.57		
LT4-2	2.52	2.55	1.27
LT2-1	0.90		
LT2-2	1.01	0.96	0.96
LT3-1	2.18		
LT3-2	1.92	2.05	1.02

Tabla 7. Rigidez de las losas

La rigidez observada en cada conjunto de losas presenta variaciones que puede ser ocasionado por la forma de construcción y materiales de los paneles, ya que el proceso constructivo es de forma manual. Además, se presentó incremento en la rigidez (EI) de las losas que tienen más de un panel, como consecuencia de una distribución de carga entre los nervios adyacente.

Al determinar la rigidez del panel de losa estándar con 0.60 m de ancho, se observó una variación entre $0.96 \leq EI \leq 1.35$ ($\times 10^{10}$) N.cm², con una rigidez media de , desviación estándar de y un coeficiente de variación = 16.50 %.

4.3.- Paneles Tipo Muros:

4.3.1.- Ensayos a Corte

Los resultados de los valores de cargas y desplazamientos

en la cedencia y en la rotura, obtenidos experimentalmente se encuentran expresados en la tabla 8, y en la Figura 9 se muestran las curvas de fuerza - desplazamiento de los muros debido a las cargas laterales aplicadas.

Muros	Py N	δy mm	Pu N	δu mm
M1-1	12614.99	4.24	24055.05	19.46
M1-2	12462.90	3.24	23396.03	24.50
M2-1	23429.82	3.50	52697.47	14.95
M2-2	25204.13	2.49	44011.80	13.24
M3-1	22804.59	2.74	40750.46	9.25
M3-2	28059.92	2.23	68615.56	13.47
M4-1	49588.20	2.74	159037.71	19.49
M4-2	45279.17	2.77	148780.51	22.04
M5-1	57530.35	2.97	221831.32	25.32
M5-2	47949.08	2.48	219820.45	19.97

Tabla 8. Fuerzas aplicadas a los muros, ensayo a corte diagonal

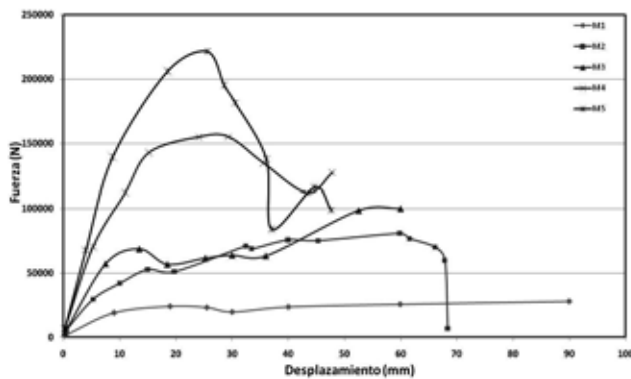


Figura 9. Curvas de comportamiento de los muros sometidos a corte diagonal

Se observó en las curvas comportamiento, que existe un aumento en el valor de la carga de agotamiento con una disminución del desplazamiento asociado a esta carga, a medida que incrementa la relación de aspecto (r_a). Igualmente existen diferencias en los modos de falla presentado en los muros, los cuales se resumen de la siguiente forma: En los muros M1 y M2, la falla se inició al presentarse una grieta con una inclinación aproximada a 45° en el plano del muro y cercana a la base, luego ocurrió la separación inminente del muro respecto la base (Ver Figura 10a).

En los muros M3, Previo a la falla se observaron agrietamientos leves en el friso en sentido horizontal y en la dirección del refuerzo transversal del muro, luego se presentaron grietas con inclinación a 45° muy cercanas a la base, y seguidamente ocurrió la separación del muro y la base ocasionando el colapso del panel.

En los muros M4, se presentaron numerosas grietas en la dirección del refuerzo horizontal, de igual forma aparecieron grietas con inclinación a 45° en el plano del muro y finalmente se presentó una leve separación entre el muro y la base, (ver Figura 10b).

Finalmente en los muros M5, la falla se presentó con la creación de grietas en el plano del muro, en dirección del

refuerzo horizontal y con inclinaciones aproximadas a 45° cercanas a la base (ver Figura 10c), luego ocurrió la inestabilidad geométrica del muro saliéndose de su plano.

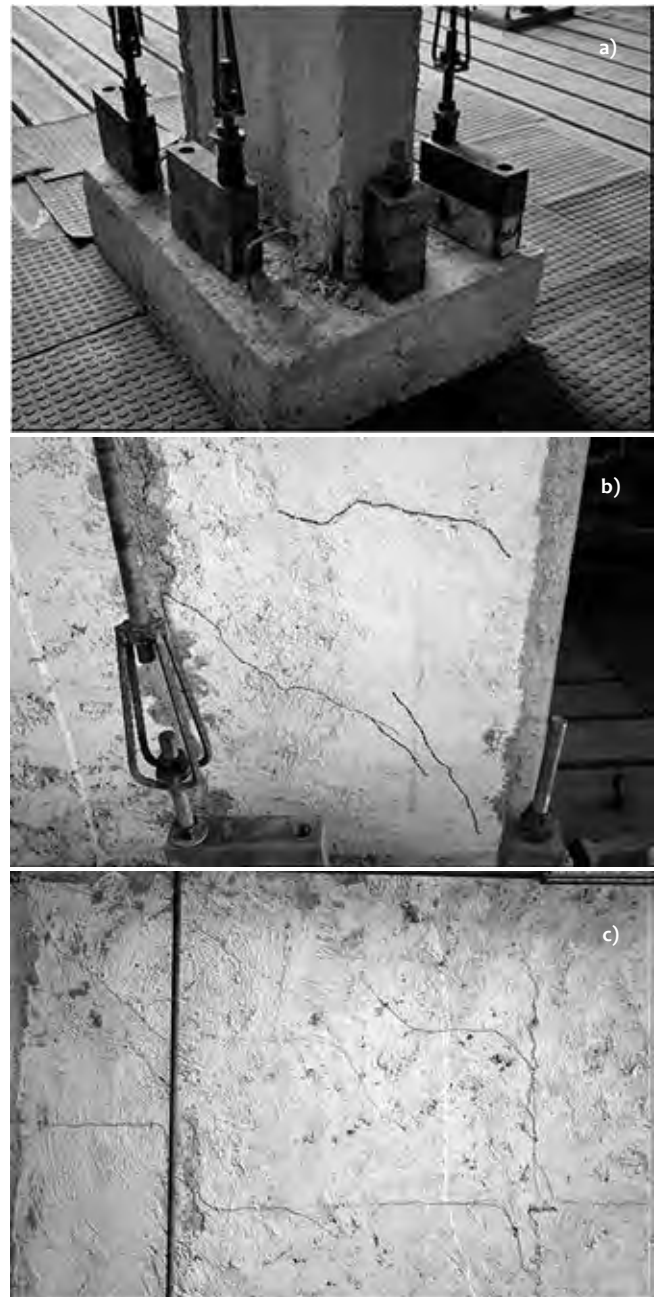


Figura 10. Falla de los muros del ensayo a corte Diagonal, a) M1, M2 Separación Muro - Base b) M3, M4 grietas a 45° c) M5 grietas en el plano del muro, Hz y 45°

A partir de las curvas de comportamiento, se obtuvieron parámetros que permitieron observar cuantitativamente la capacidad resistente de los muros, los cuales se expresan en la tabla 9, en la misma se muestra, que la disminución de la relación de aspecto (r_a), ocasiona que la rigidez del muro (k_e)

aumente así como la fuerza cortante resistente por unidad de longitud (V_u).

Muros	r_a	μ	k_e N/mm	V_u N/m	T_y N/m ²
M1-1	3.47	4.59	2786.82	33409.80	94707.12
M1-2	3.47	7.56	3527.97	32494.48	93565.35
M2-1	1.89	4.28	6052.97	39922.32	95945.22
M2-2	1.89	5.31	9396.02	33342.28	103211.02
M3-1	1.30	3.38	7687.12	21224.20	64202.11
M3-2	1.30	6.04	12332.15	35737.27	78997.53
M4-1	0.99	7.12	17243.04	63110.20	106366.80
M4-2	0.99	7.95	15595.94	59039.89	97123.91
M5-1	0.67	8.53	18376.09	59632.08	83595.39
M5-2	0.67	8.06	18079.83	59091.52	69673.18

Tabla 9. Capacidad resistente de los muros

Existe una variación del 34 % respecto al promedio de los valores de fuerza cortante resistente, por tal razón, se muestra el rango de valores en los que se encuentra V_u y al mismo tiempo se presenta el variación porcentual (véase tabla 10).

V_u (N/m)			Coeficiente Variación %
Mín	Media	Máx	
21224.20	43700.40	63110.20	34,32

Tabla 10. Fuerza cortante por unidad de longitud para los muros

Observando que para relaciones de aspecto mayores a uno ($r_a > 1$) la fuerza cortante está por debajo de la media obtenida de 43700 N/m, mientras que para relaciones de aspecto menores a uno ($r_a < 1$) la fuerza cortante presentó valores mayores que la media de estas, y superior a los 59000 N/m comportándose casi constante.

Por otro lado, el esfuerzo cortante por área gruesa en la cedencia presentó una variación del 15 % respecto al promedio, como se muestra en la tabla 11.

T_y (N/m ²)			Coeficiente Variación %
Mín	Media	Máx	
64202.11	88738,76	106366.80	15.88

Tabla 11. Esfuerzo cortante por área gruesa en la cedencia.

Muros	EI (N.cm ²) $\times 10^{11}$	EI Promedio (N.cm ²) $\times 10^{11}$	Coeficiente de Variación	EI Tipo (N.cm ²) $\times 10^{11}$
M1-1	1.55	1,78	17,97%	1,78
M1-2	2.00			
M2-1	3.49	4,38	28,68%	2.19
M2-2	5.27			
M3-1	4.34	5,45	28,78%	1.82
M3-2	6.56			
M4-1	9.44	8,97	7,31%	2.24
M4-2	8.51			
M5-1	10.1	10,08	0,10%	1.68
M5-2	10.1			

Tabla 12. Rigidez de los muros

La rigidez (EI) obtenida para los muros se muestra en la tabla 12, se observó un incremento de la misma a medida que la relación de aspecto r_a disminuyó.

Por otro lado, existe una diferencia entre los valores de rigideces de los muros M2 y M3 alrededor del 28 %, mientras que los muros que presentaron menor variación fueron M4 y M5. Esto puede ser ocasionado por la variación de la resistencia del mortero de cemento en los paneles.

Finalmente, para un panel muro con ancho estándar de 0,60 m se determinó la rigidez tipo (EI Tipo), obteniéndose los siguientes valores: variación de la rigidez tipo $1.78 \leq EI \leq 2.24 (\times 10^{11})$ N.cm², media obtenida, desviación estándar y un coeficiente de variación = 13.22 %.

4.3.2. Ensayos a Flexocompresión

Es importante destacar que la relación de aspecto para estos muros es constante y tiene un valor $r_a=1.19$, en la Figura 11 se representan curvas de comportamiento de los muros sometidos a flexocompresión.

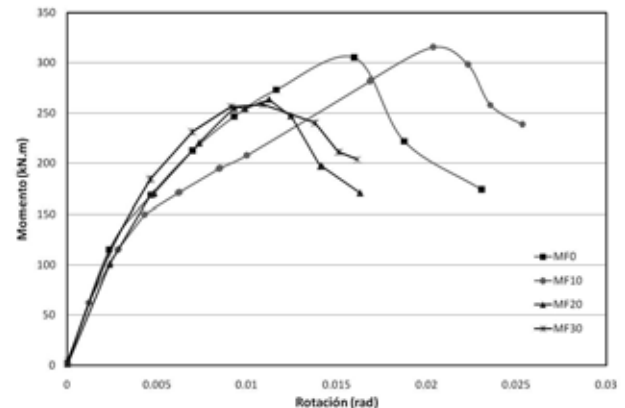


Figura 11. Curvas de comportamiento de los muros sometidos a flexocompresión

Las fallas observadas en los muros se resume de la siguiente forma: En el Ensayo a Compresión (MC), se observaron grietas verticales en la parte superior del muro reflejando aplastamiento del mismo en toda su anchura. Por otro lado, el Ensayo a Flexión (MF0), la falla ocurrió al presentarse fisuras con una inclinación aproximadamente de 45° en el plano del muro cercano al punto de aplicación de la carga lateral, también se observaron grietas horizontales con pérdida de recubrimiento (ver Figura 12a).

En el Ensayo a Flexocompresión (MF10), se observaron grietas con una inclinación aproximadamente de 45° en el plano del muro cercano al punto de aplicación de la carga lateral, también se presentaron fallas verticales originadas por el aplastamiento como se muestra en la Figura 12b. Mientras que, en el Ensayo a Flexocompresión (MF20), el muro presentó fallas por alabeo, así como grietas con una inclinación aproximadamente de 45° en el plano del muro, agrietamiento cercano a la base, con pérdida de recubrimiento (ver Figura 12c). Por último en el Ensayo a Flexocompresión (MF30), la falla observada fue por el pandeo

de los perfiles calibre 20 de los nervios generando grietas verticales con pérdida de recubrimiento, se observaron grietas con inclinación a 45°, en todo el plano del muro.

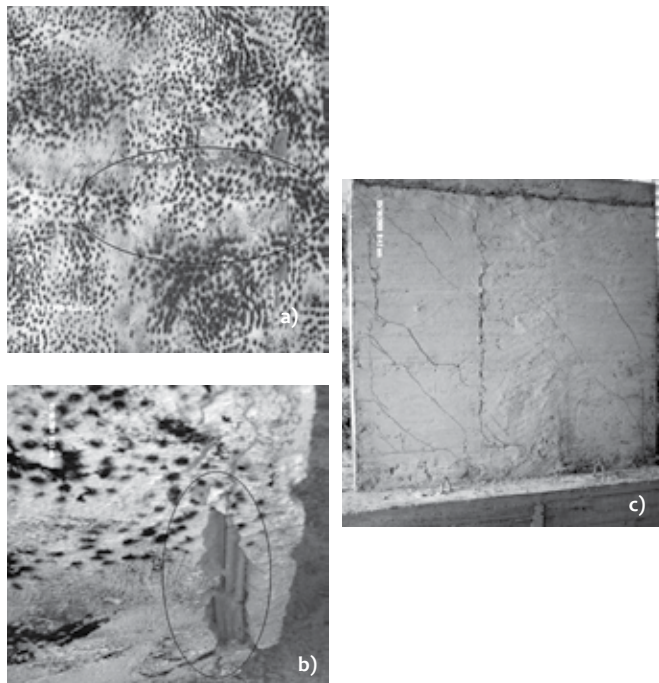


Figura 12. Falla de los muros sometidos a Flexocompresión. a) MF0, b) MF10, c) MF20

Las curvas de comportamiento de este programa de ensayos, permitieron la determinación del momento último, nivel de carga axial y rotación, del cual se procedió a la construcción del diagrama de interacción, en la tabla 13, se muestra un resumen de las fuerzas obtenidas para la construcción del diagrama de Interacción.

Ensayo	Momento último (KN.m)	Nivel de carga axial (KN)
MC	0,00	519,40
MF0	304,78	0,00
MF10	315,56	51,94
MF20	263,62	103,88
MF30	258,72	155,82

Tabla 13. Resumen de las fuerzas obtenidas de las curvas de comportamiento, para diagramar la curva de interacción

En la Figura 13, se muestra el diagrama de interacción, el cual se construyó por medio de una regresión exponencial para el ajuste de los puntos.

Finalmente, el momento máximo resistente para paneles tipo muro sometidos a flexión pura fue de 304.78 KN.m, mientras que, la carga axial máxima resistida para el panel tipo muro sometido a compresión pura fue de 519.40 KN.

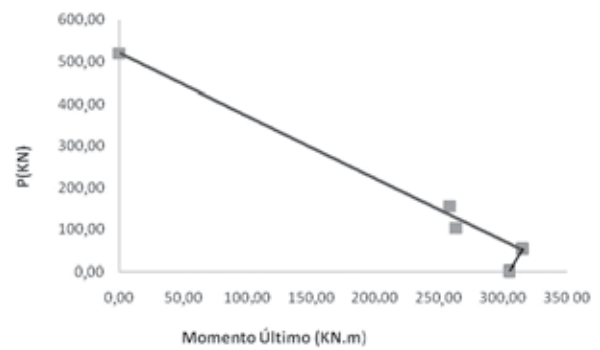


Figura 13. Diagrama de interacción obtenido para el panel muro

Campos de deformación obtenidos mediante la técnica CORRELLI

Con la aplicación de la técnica de la CID se logró analizar los campos de deformaciones ocurridos sobre los muros en cada ensayo, así como también observar las fallas. Se analizaron los campos de deformaciones y desplazamientos de la RI producidos por las deformaciones principales a tracción, la aplicación de la técnica se realizó en el sentido X (ux) para todo los ensayos.

En el MC la falla observada por concentración de esfuerzos en bandas verticales y horizontales generada por el aplastamiento del concreto de los nervios, la falla es localizada, la aparición de las primeras grietas verticales se produce en la cuarta carga 274.40 KN, Figura 14a

La falla observada en MF0 es por concentración de deformaciones en bandas a 45° aproximadamente, también se observa concentración de esfuerzos por efecto de aplastamiento del concreto en la zona de aplicación de la carga lateral, la aparición de las grietas ocurre en el quinto ciclo a un desplazamiento lateral de 25 mm, Figura 14b.

En el MF10 se observó falla por concentración de deformaciones en bandas a 45° aproximadamente, y concentración de deformaciones en la zona de aplicación de la carga lateral, la aparición de las grietas ocurre en el tercer ciclo a un desplazamiento lateral de 15 mm. Se observa una falla en la base donde el muro rota por efecto de volcamiento, Figura 14c.

De igual forma en el MF20, la falla observada en este ensayo es por concentración de deformaciones en bandas verticales y con una inclinación de 45° (aproximadamente), se observan concentración de deformaciones por aplastamiento del concreto en la zona de aplicación de la carga lateral. La aparición de las grietas ocurre en el segundo ciclo a un desplazamiento lateral de 10 mm, Figura 14d.

Finalmente en el MF30 observamos, falla por concentración de deformaciones en bandas horizontales, verticales e inclinadas a 45°, la aparición de las grietas ocurre en el segundo ciclo a un desplazamiento de 10 mm, Figura 14e.

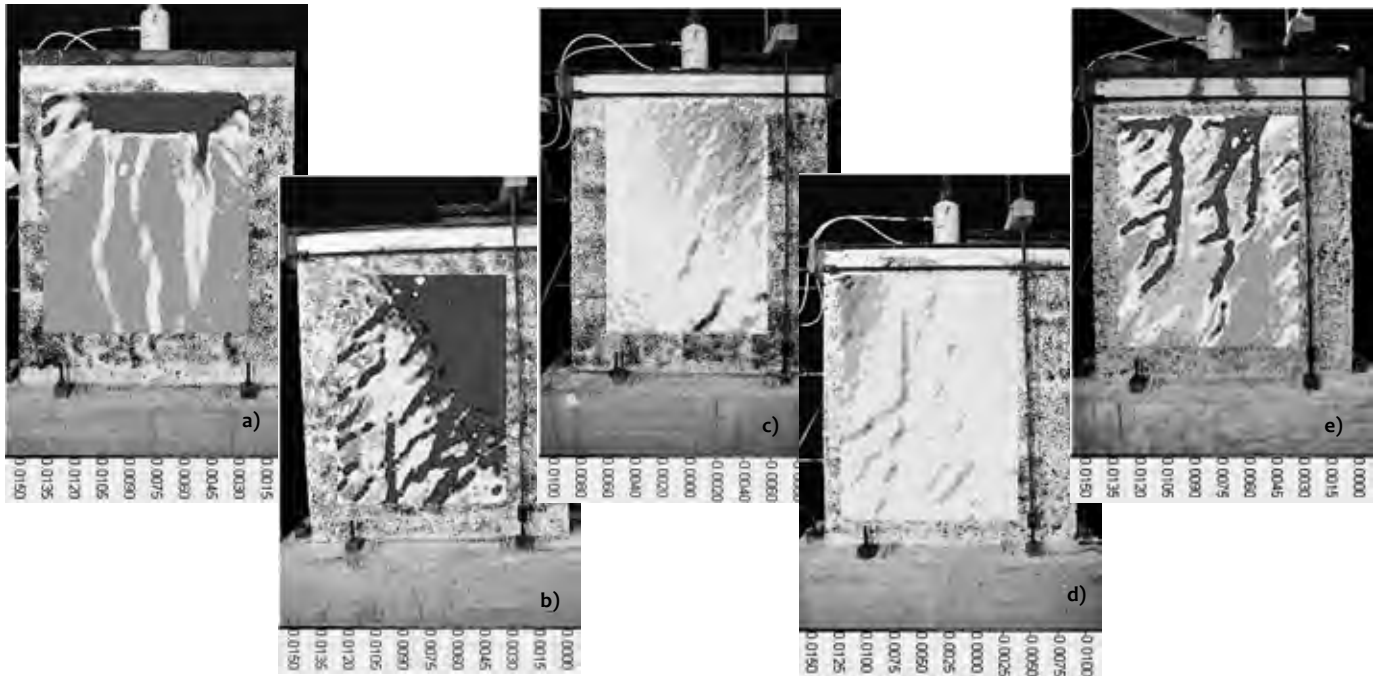


Figura 14 Campos de deformaciones originados durante el ensayo al aplicar ; a) el octavo intervalo de fuerza en MC, b) el octavo ciclo en MFo, c) el octavo ciclo en MF10, d) el sexto ciclo en MF20 e) el quinto ciclo en MF30.

5.- CONCLUSIONES

Las curvas de comportamiento de los paneles del sistema Modular Cerchalosa, sometidos a flexión, corte diagonal y flexocompresión, bajo cargas monotónicas, permitieron cuantificar los parámetros de la capacidad resistente, necesarios para el diseño de estos sistemas constructivos no tradicionales.

Las curvas de comportamiento de los paneles tipo muro ensayados por corte diagonal, no presentaron una meseta plástica dando lugar a una falla de tipo frágil una vez alcanzado el valor de momento máximo, en este sentido, las fallas observadas en los muros es un tipo de falla características de los muros de concreto y mampostería.

Se debe investigar acerca del valor del modulo de corte de-

bido a la variación considerable de los valores de EI.

La relación de aspecto juega un papel importante en el comportamiento de los paneles tipo muro. Para relaciones de aspecto mayores a uno ($ra > 1$) el modo de falla observado fue la fractura de los nervios de anclaje por tracción y para relaciones de aspecto menores a uno ($ra < 1$) el modo de falla observado fue el agrietamiento por tracción diagonal.

La técnica de Correlación de imágenes Digitales permitió determinar los campos de deformaciones en los paneles tipo muro del sistema modular Cerchalosa sometido a flexocompresión uniaxial, en la cual se observó, un patrón de orientación de las bandas de deformación verticales afectadas por la fallas de los nervios laminares. Así como también, se logró observar falla en la unión de las bases de los muros y las fundaciones, por volcamiento para bajos valores de carga axial.

REFERENCIAS:

- [1] **Cansario, María.** “Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: Estudio estructural y optimización”. Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2005.
- [2] **Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN.** Método de ensayo para determinar la resistencia a la atracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyada en el centro del tramo. 0343:1979. Caracas: FONDONORMA, 1979.
- [3] **Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN.** Método de ensayo para determinar la resistencia a la atracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyada a los tercios del tramo. 0342-1979. Caracas: FONDONORMA, 1979.
- [4] **Jared, B. J.** “Monotonic and Cyclic Performance of Structurally Insulated Panel Shear Walls”, Instituto Politécnico de Virginia, EUA, 1997.
- [5] **Ramírez, Oscar.** Informe Pruebas experimentales del sistema de paneles Campione Tipo PSM 60 y PSM 80 de M2. [Panamá]: Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Experimental de Ingeniería, 2003, N°: CEI-07-798-2003, 16p.
- [6] **Guerrero, Néstor.** “Análisis teórico-experimental del daño y del pandeo local en estructuras de Ingeniería Civil”. Universidad de los Andes, Venezuela, 2007.
- [7] **García, Manuel.** “Análisis experimental del comportamiento de muros de mampostería confinada”. Universidad de los Andes, Venezuela, 2007.