

Capitulo **3**

Resultados Generales

3. RESULTADOS GENERALES

3.1. INTRODUCCIÓN

La serie de ensayos del proyecto del SMIE-IIUNAM-CENAPRED fueron planeados para obtener resultados de comportamiento de cada muros y que estos fueran comparados entre si, buscando una correspondencia de la respuesta ante cargas laterales y su relación de aspecto.

Para la presentación de estos resultados, se utilizan las respuestas de los desplazamientos horizontales en los muros. La instrumentación requerida para este fin son los transductores horizontales en la parte superior de cada espécimen, que indican el comportamiento general del muro, y el arreglo de leds en el plano, que nos indicara su comportamiento en un sector específico de un espécimen.

Cabe señalar que gran parte de la instrumentación va encaminada a observar el comportamiento inelástico de los especímenes, por lo que para el objetivo de esta tesis se utilizara solo una parte para obtener resultados en etapa elástica.

Los modelos matemáticos presentados en el capítulo anterior, servirán para comparar los resultados de los muros experimentales, con los casos generales de utilizar el módulo de cortante recomendado por las NTCDF en mampostería y el módulo de cortante experimental.

3.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS

Los ensayos se realizaron entre los meses de Mayo y Junio del 2008, teniendo ya preparados los cuatro especímenes desde finales de Abril del mismo año, esto por los días de curado o resistencia a 28 días requeridos. Para cada espécimen se instrumentaba detalladamente a lo largo de una semana en donde, además, se colocaba el marco de carga. Cada ensaye duraba en promedio de 6 a 10 hrs ya que en cada pico de carga se median agrietamientos y por lo tanto se hacia una pausa en el mecanismo de carga.

3.3. CURVAS DE HISTÉRESIS

De acuerdo al sistema de cargas cíclicas, los desplazamientos horizontales tendrán valores positivos y negativos. Se estableció que al momento que el actuador empujaba al muro, este sería denominado como negativo, y en caso contrario, al ser el muro el atraído por el actuador este se le denominaba ciclo positivo, esto de acuerdo al sistema de referencia de la instrumentación.

Las cargas cíclicas, produjeron curvas de histéresis a lo largo de los ensayos. Estas curvas se hacen comparando el desplazamiento horizontal con la carga lateral. En este caso estas curvas se refieren con la distorsión, que es la razón de desplazamiento horizontal con la altura de los especímenes.

Las curvas histeréticas se pueden observar en la figura 3.1, en la que podemos ver como entre menor relación de aspecto se tienen lazos más estables.

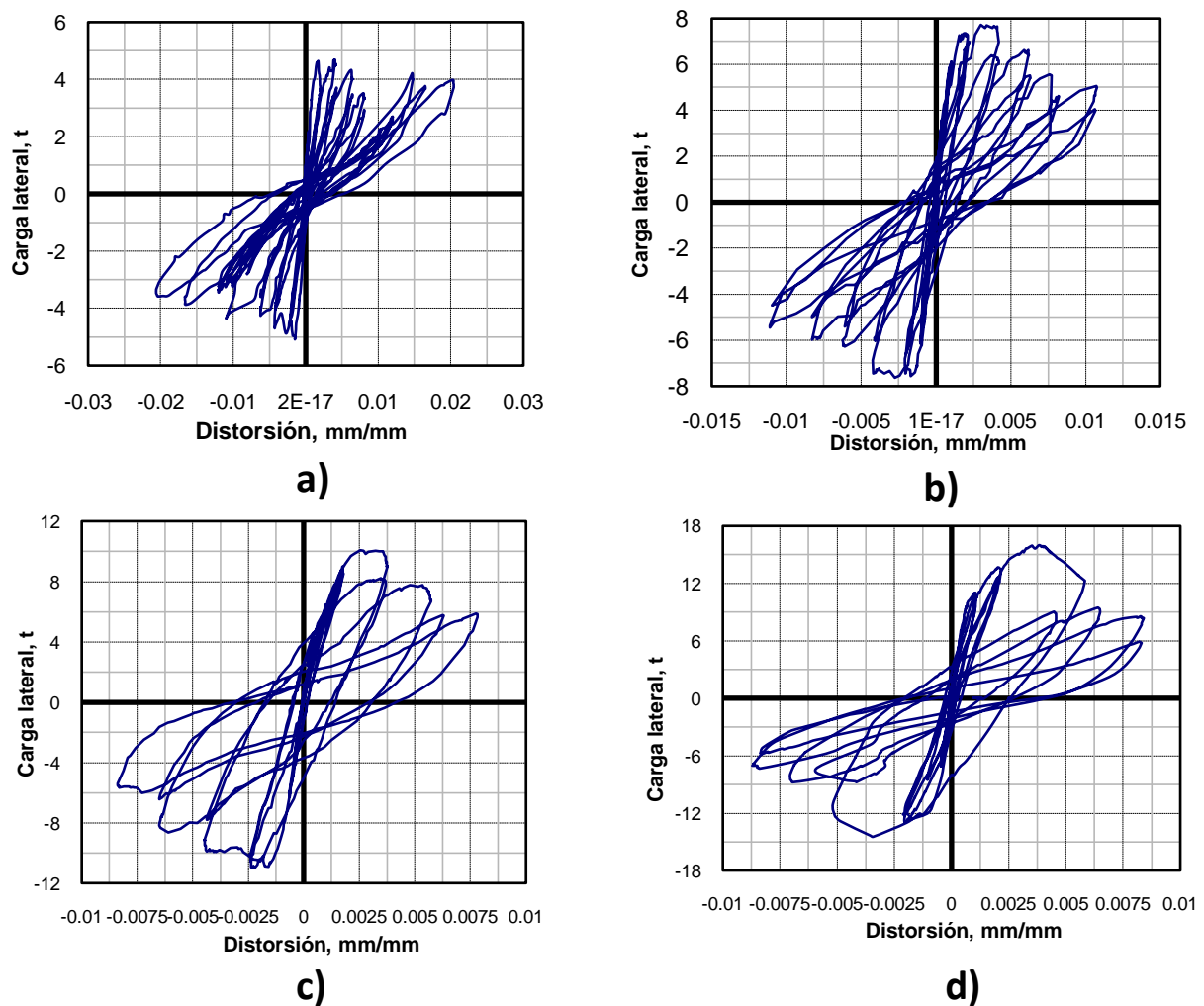


Fig. 3.1. Curvas de histéresis de los especímenes: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.

A las curvas histeréticas les corresponde unas curvas envolventes, realizadas con los puntos máximos de desplazamiento y carga en cada ciclo, para cada muro. En la figura 3.2 se observa las envolventes de respuesta en ciclo positivo.

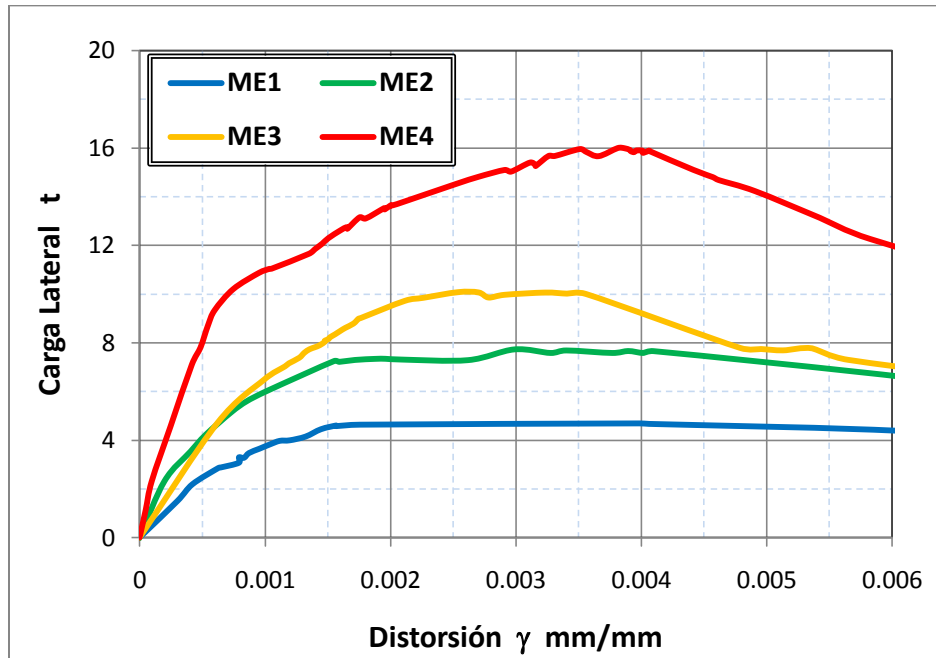


Fig. 3.2. Envolventes de respuesta ante carga lateral en los muros.

3.4. AGRIETAMIENTOS INICIALES

Normalmente, los agrietamientos sufridos en un muro de mampostería se consideran como el límite elástico de la deformación, ya que el material queda fracturado y no responden sus desplazamientos de forma consistente.

Especímen	Ciclo	A grietamiento		A la falla	
		Vagr, T	γ_{agr} , mm/mm	Vmáx, t	γV_{max} , mm/mm
ME1	+	4.6	0.00157	4.7	0.004
	-	-5.1	-0.00147	-5.1	-0.0015
ME2	+	7.25	0.00155	7.7	0.003
	-	-7.41	-0.0014	-7.6	-0.0027
ME3	+	9.01	0.00176	10.1	0.0025
	-	-10.91	-0.00158	-11	-0.0022
ME4	+	10.24	0.00077	16	0.0038
	-	-7.05	-0.00045	-14.4	-0.0034

Tabla 3.1. Valores de las cargas de agrietamiento iniciales en los muros.

Los patrones de agrietamiento de los modelos se muestran en la figura 3.3, estos patrones indican la totalidad de las grietas presentadas sobre los muros durante los ensayos.

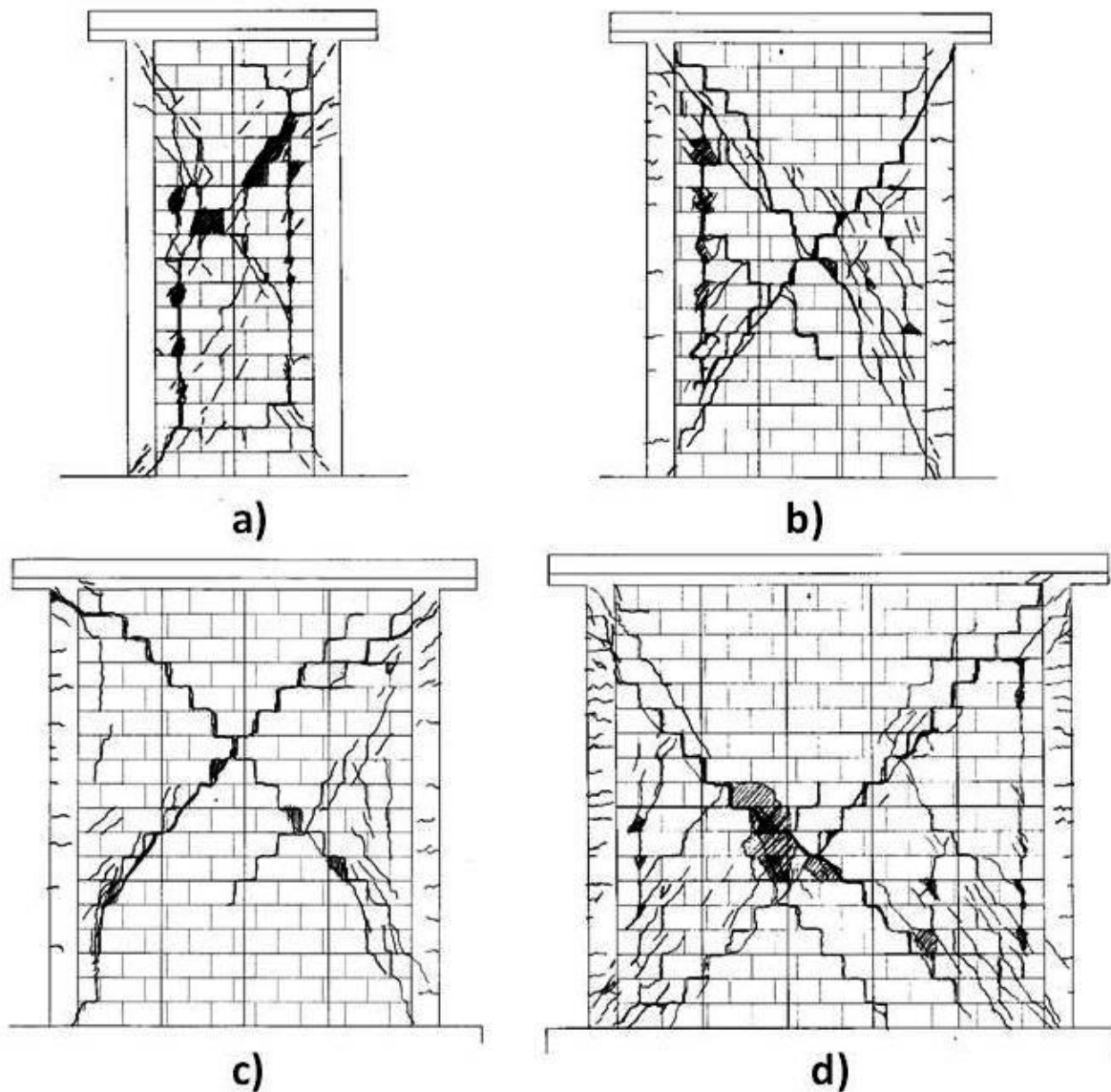


Fig. 3.3. Patrón de agrietamientos en muros: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.

Los agrietamientos iniciales se presentaron en la parte central del panel de los muros, y conforme se aumentaban las cargas estas tendían a alargarse hasta el centro de los muros de forma diagonal. Los agrietamientos iniciales eran reportados en bitácora, al establecer agrietamientos inclinados bien definidos.

En todos los muros se presentaron grietas verticales paralelas a los castillos en la zona de mampostería, en etapas finales con gran daño en la mampostería, estas iniciaban en la parte inferior de los muros y

conforme se incrementaba la carga ascendían hasta la parte superior degradando el confinamiento. El aspecto final se puede observar en la Fig. 3.4.

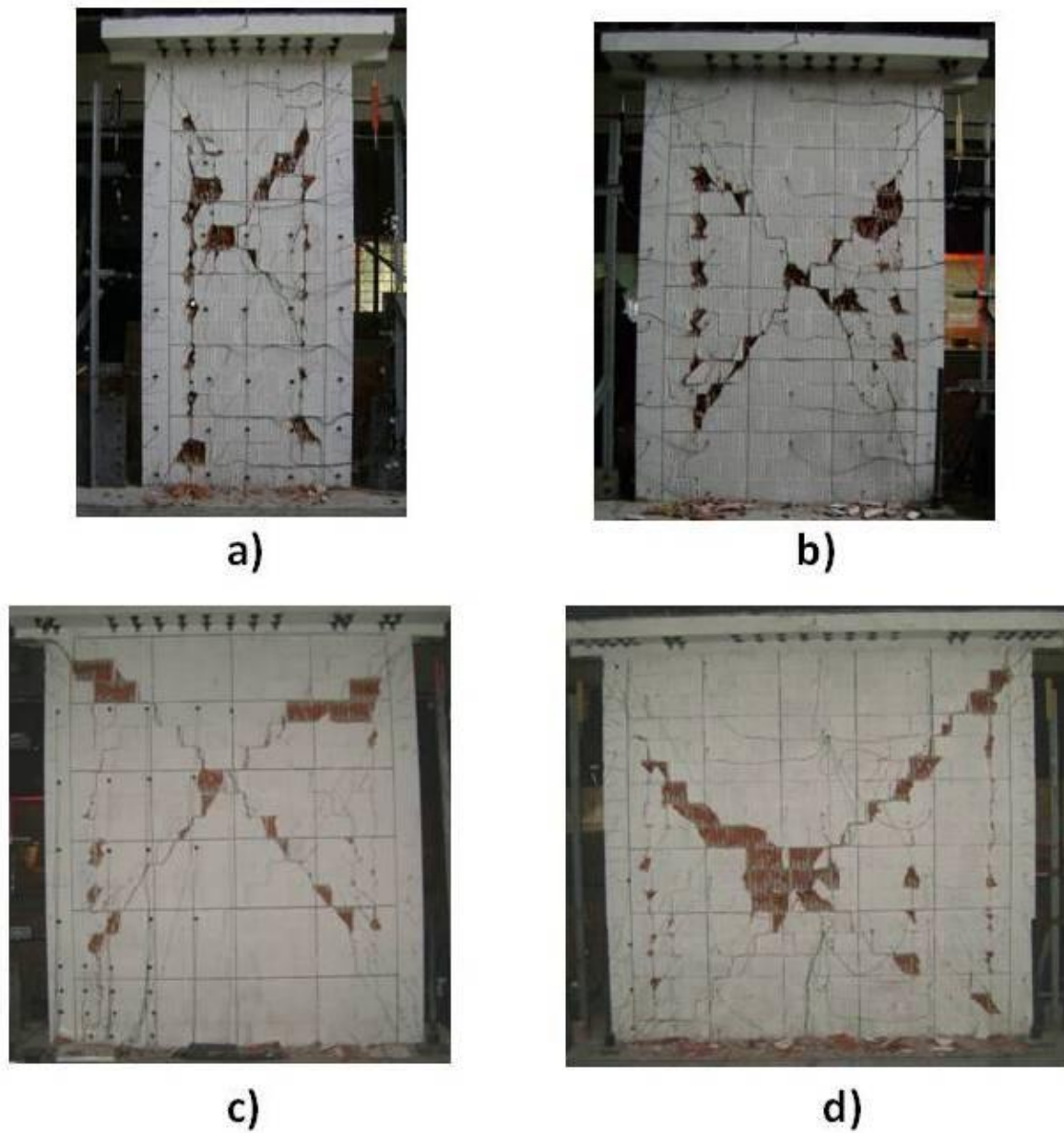


Fig. 3.4. Aspecto final de los muros: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.

La forma practica de calcular la carga agrietamiento inicial, se hace con el uso de la cortante resistente (V_{mR}) de las NTCDF, para esto hay que normalizar las cargas laterales aplicadas, a esfuerzos cortantes.

3.5. ESFUERZOS CORTANTES

Para visualizar los esfuerzos cortantes en los muros, se normalizaron las envolventes de respuesta con el área transversal de los muros, en la figura 3.5 se presenta los esfuerzos ante carga lateral y además se ubican los agrietamientos iniciales

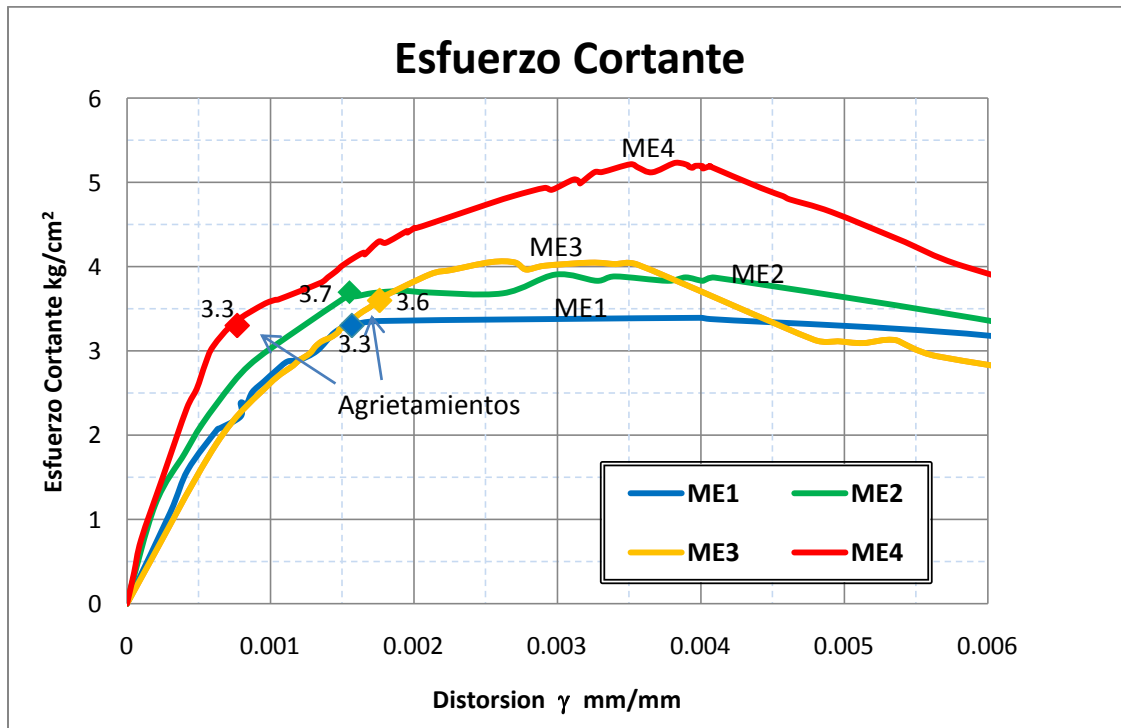


Fig. 3.5. Envolventes de respuesta en valores de esfuerzo.

En las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTCDF 2004) referente a mampostería se establece una expresión con la cual se predice el esfuerzo cortante de agrietamiento inicial. Cabe señalar que esta ecuación no determina el cortante máximo o resistente de un muro, sólo el agrietamiento diagonal y aunque interviene el área transversal del muro, no considera variación por su longitud. Esta ecuación fue vista en el capítulo 1.

$$V_{mR} = F_R (0.5v_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m^* A_T \tag{1.5}$$

Con el criterio de dicha normatividad y proponiendo un factor de reducción de resistencia unitario ($F_R = 1$) y se divide entre el área transversal (A_T), dando un esfuerzo cortante de diseño, v_m^* , y un esfuerzo vertical σ , asociado a la carga axial sobre el muro (P) y el área transversal¹.

¹ Ensayo de muros de mampostería de distinta longitud: cinemática y rigidez lateral, JJ Pérez Gavilán y otros (2009)

La ecuación simplificada del esfuerzo cortante resistente será:

$$V_{mR} = 0.5v_m^* + 0.3 \sigma \tag{3.1}$$

Para utilizar esta expresión, se sabe que en lo general, el esfuerzo de carga axial sobre el muro hasta su etapa destructiva tuvo un valor $\sigma = 5 \text{ kg/cm}^2$ aproximadamente, por lo que tendrá relevancia las variaciones de la cortante de diseño, vista en el capítulo 1. Los resultados de comparación entre la cortante resistente V_{mR} y la cortante de agrietamiento experimental se muestran en la tabla 3.2.

Espécimen	L, cm	L/H	f_b kg/cm ²	v_m^* kg/cm ²	V_{mR} kg/cm ²	$v_{agr}^{(+)}$ kg/cm ²	$v_{agr}^{(-)}$ kg/cm ²	$v_{agr}^{(+)}/V_{mR}$	$v_{agr}^{(-)}/V_{mR}$
ME1	115	0.5	65	3.11	3.05	3.3	3.7	1.08	1.21
ME2	165	0.7	90	3.34	3.17	3.7	3.7	1.17	1.17
ME3	207	0.9	93	3.52	3.26	3.6	4.4	1.10	1.35
ME4	255	1.1	84	3.3	3.15	3.3	2.3	1.05	0.73

Tabla 3.2. Comparativas de la cortante resistente V_{mR} y de agrietamiento experimentales.

Si normalizamos los esfuerzos cortantes experimentales sobre cortante resistentes, obtenemos la proporción a la que estamos alejados del valor de diseño. En la figura 3.6 podemos apreciar que en la mayoría de los casos el esfuerzo cortante de agrietamiento se encuentra un 45% en promedio arriba del esfuerzo de diseño.

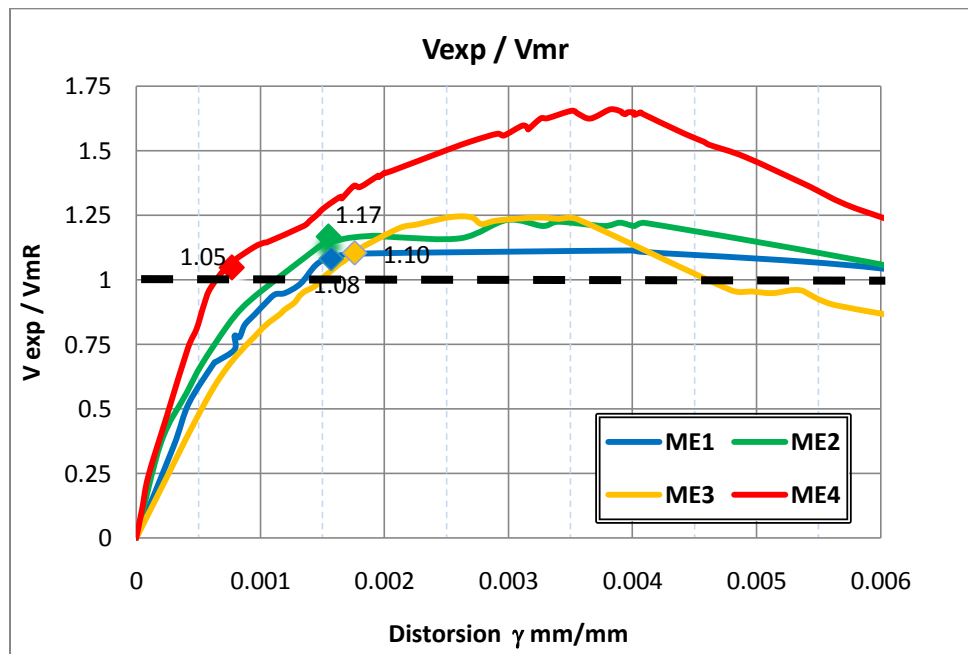


Fig. 3.6. Envolturas de respuesta normalizadas con esfuerzos cortantes de diseño. La línea punteada determina la zona de predicción de agrietamiento inicial.

3.6. RIGIDEZ EXPERIMENTAL

Para la rigidez experimental se optó por encontrar la zona elástica lineal de las envolventes de respuesta. En este caso se toman en cuenta los dos ciclos negativo y positivo. Estas rigideces eran limitadas en un principio por las zonas de agrietamiento inicial, para efectos de linealidad se toma el principio del 40% de la carga máxima aplicada para obtener dicha curva. Las rigideces al 40% de los especímenes se muestran en la tabla 3.3.

Especímen	Rigidez 40% kg/cm			Rigidez 75% kg/cm			Rigidez camb.pen kg/cm		
	Ciclo (+)	Ciclo (-)	Promedio	Ciclo (+)	Ciclo (-)	Promedio	Ciclo (+)	Ciclo (-)	Promedio
ME1	20827	12980	16904	16046	13824	14935	11972	14106	13039
ME2	38501	23619	31060	25530	24324	24927	19114	22677	20896
ME3	30914	36260	33587	23575	36747	30161	22599	29008	25804
ME4	70605	66653	68629	34066	50407	42237	46652	48629	47640

Tabla 3.3. Rigideces experimentales promedio por muro y ciclo.

Teniendo en cuenta la relación de aspecto de cada muro, estas rigideces pueden ser comparadas entre si, como se muestra en la figura 3.7.

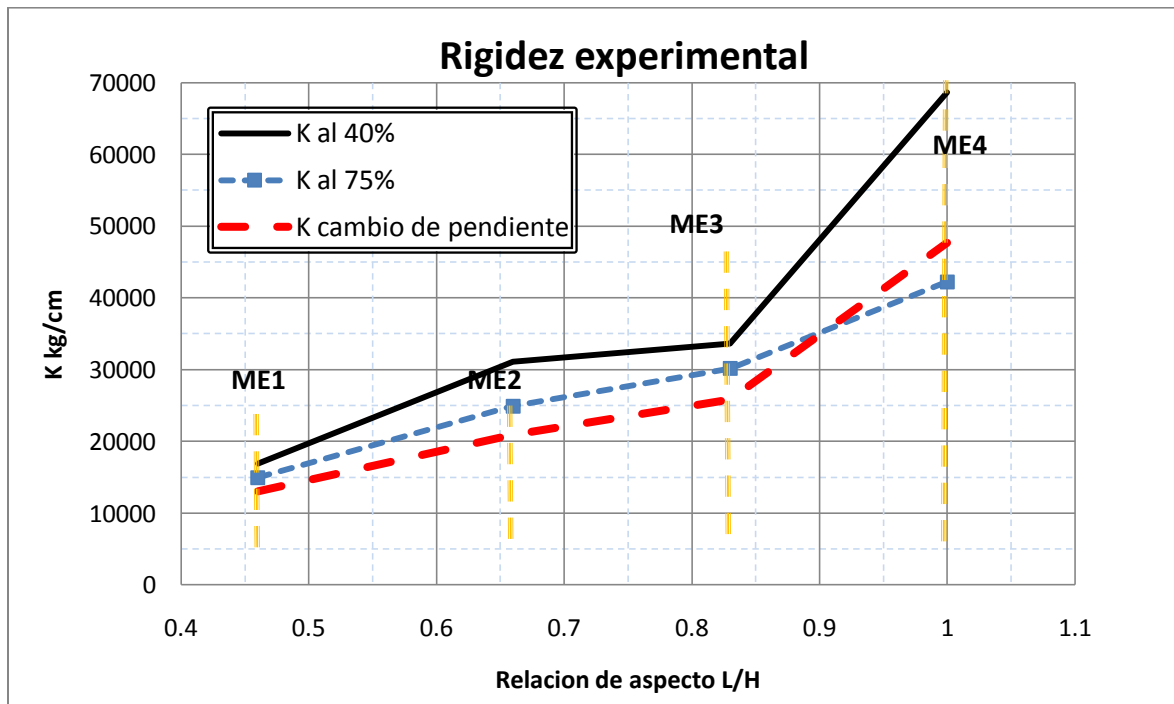


Fig. 3.7. Rigidez experimental en cada espécimen.

3.7. RIGIDEZ TEORICA

3.7.1. Rigidez con el Método de columna ancha

Las principales rigideces laterales teóricas con las que se procede a comparar resultados son las que tiene que ver con el método de la columna ancha aplicando principios de la mecánica de materiales. Para los modelos se tuvieron dos casos principales. Uno tomando en cuenta el módulo de cortante recomendado por las NTCDF ($G=0.4 E$) y el encontrado experimentalmente con los muretes a tensión diagonal. Como se vio en el capítulo 2, se dejó variar el nivel de empotramiento para tener un margen de valor de diseño.

Especímen	Rigidez kg/cm			
	Con $G=0.4E$		Con $G \text{ exp}$	
	D. Empotrado*	Cantiliver	D. Empotrado*	Cantiliver
ME1	48322	20306	20521	13233
ME2	87509	43983	30807	23207
ME3	118420	67508	53486	40514
ME4	161951	104988	51131	44040

*D. Empotrado: Rigidez Lateral suponiendo una columna Doblemente empotrada

Tabla 3.4. Rigidez teórica con el método de la columna ancha.

La comparativa con los modelos experimentales se pueden visualizar en la Fig. 3.8.

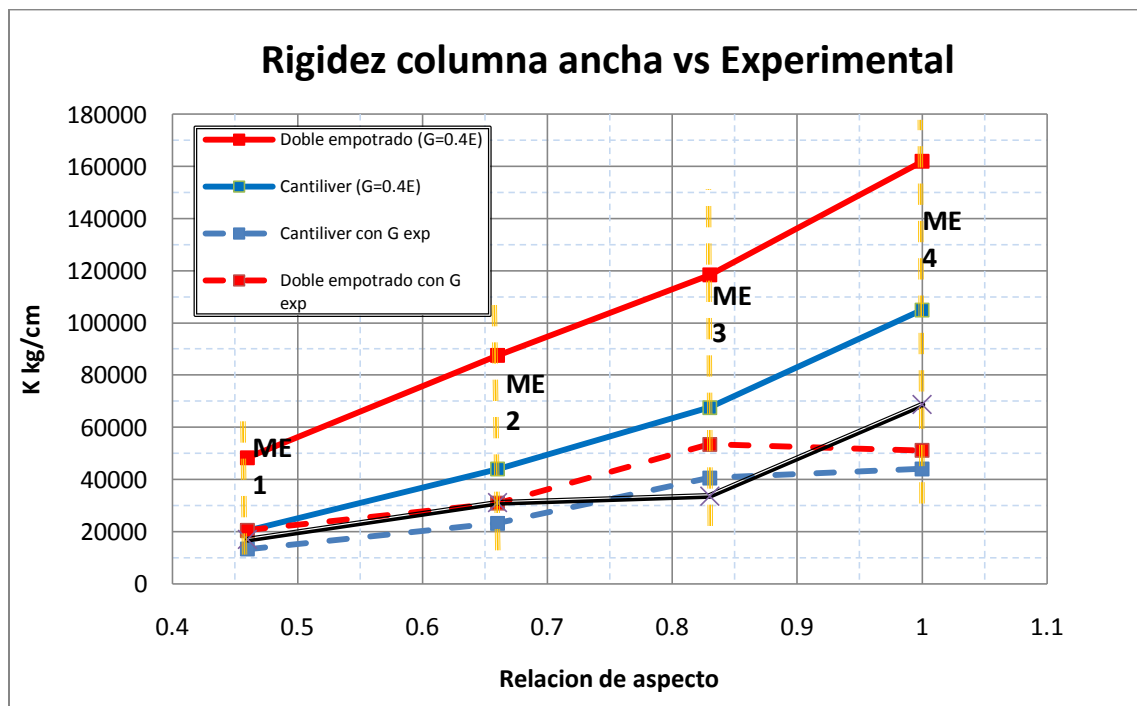


Fig. 3.8. Rigidez teórica por método de columna ancha, visualizando rigidez experimental.

Como podemos ver, la utilización de los valores del módulo de cortante G experimentales, hacen aproximarse los resultados del modelo matemático al experimental.

Con este método pareciera que para relaciones de aspecto iguales a 1, la predicción tiende a divergir, lo que en cambio para elementos cortos como ME1 logra hacer una cierta aproximación.

3.7.2. Rigidez con el Método de los elementos finitos (MEF)

Para el MEF se establecieron, al igual que para el método de la columna ancha, dos casos de módulo de cortante, estos son el teórico y experimental. A diferencia del modelo analítico de columna ancha, en el que sólo se modifican valores numéricos, en el caso del MEF la simulación adopta las propiedades del material como material elástico. El módulo de cortante se calcula con base en el módulo de Poisson y el de elasticidad evitando que G tome valores menos a $0.33 E$.

Debido a que el valor del módulo de cortante experimental es muy inferior al recomendado por NTCDF de $G=0.4E$ y no se encuentra dentro del rango de comportamiento elástico ($0.33 E$, $0.5 E$), para el caso de G experimental se establecieron las propiedades de la mampostería como material anisotrópico, cambiando sus propiedades sobre el plano del muro y su dirección lateral. (G_{12})

Los resultados se enuncian en la tabla 3.5.

Espécimen	Rigidez kg/cm	
	Con $G=0.4E$	Con G exp
ME1	22168	14440
ME2	46296	31847
ME3	55866	44643
ME4	116279	56818

Tabla 3.5. Rigidez teórica en MEF para cada espécimen.

De forma similar al de columna ancha al utilizar los valores del modulo de cortante experimental se tuvo una mayor aproximación a los resultados experimentales. La comparativa con la rigidez experimental nos revela una divergencia en los muros largos, como el ME4, pero en valores cercanos a la relación de aspecto menor la simulación predice el comportamiento de una manera muy consistente. Ver figura 3.9.

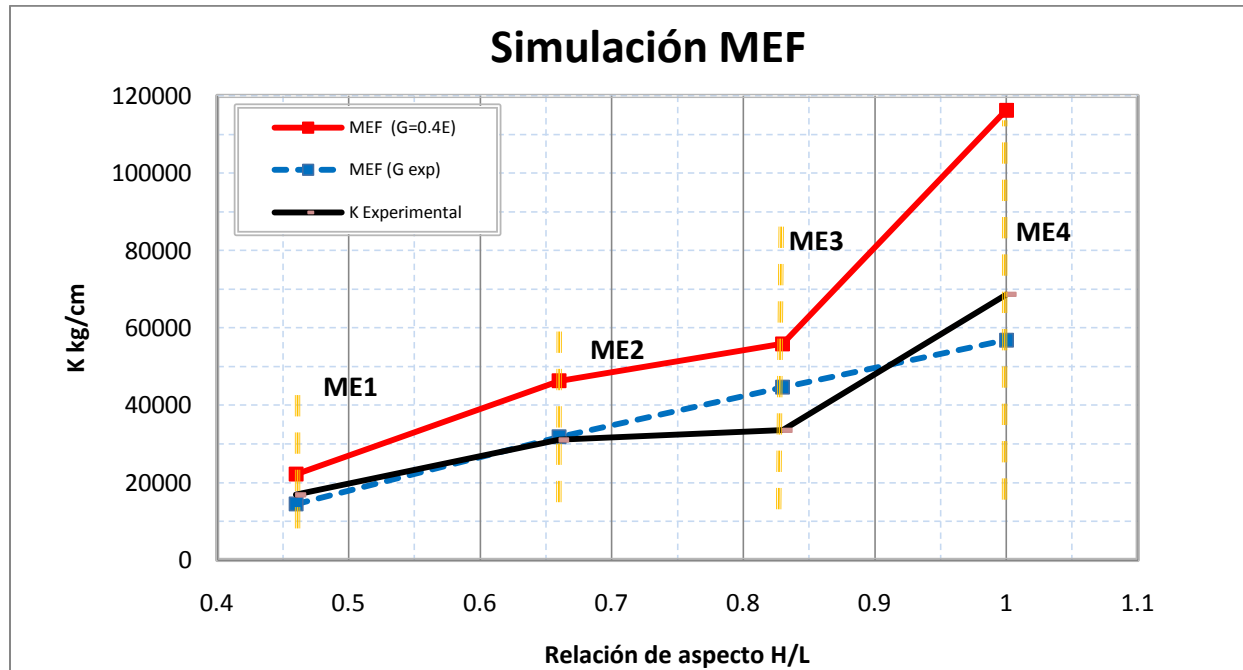


Fig. 3.9. Rigidez teórica por MEF, comparando rigidez experimental.

Cabe señalar que el MEF, fue una malla muy fina, para el tamaño real de cada espécimen, por lo que se supone que el comportamiento será similar al real. Podemos prestar atención a la importancia del valor del módulo de cortante experimental, que ha hecho que en todos los modelos se aproximen al real.

3.7.3. Rigidez en MEF simplificado

En el trabajo de Taveras (Taveras 2008), se hace un pronunciamiento sobre el análisis de elemento finito, en el cual se recomienda el uso un modelo simplificado. El modelo consiste en utilizar el menor número de elementos finitos en un panel (mampostería entre castillos) pero conservando una relación de aspecto de los elementos cercana a uno. Esta relación de aspecto garantiza el buen comportamiento numérico de los elementos finitos. En dicho modelo, los castillos son modelados con elementos prismáticos tipo viga.

Para este caso, las propiedades que se integraron a dicho modelo, fueron las del modulo de cortante experimental de la mampostería, ya que previamente hemos observado como tienden a ser mas aproximadas a la real. Los valores de la rigidez del MEF simplificado se aprecian en la tabla 3.6.

Espécimen	$K_{TAV} G=0.4E$ kg/cm	$K_{TAV} G_{exp}$ kg/cm
ME1	23923	18868
ME2	44643	32468
ME3	109289	52632
ME4	125000	56180

Tabla 3.6. Rigidez teórica con MEF simplificado

La comparativa del resultado experimental tiende a una similitud con los modelos de MEF presentados anteriormente.

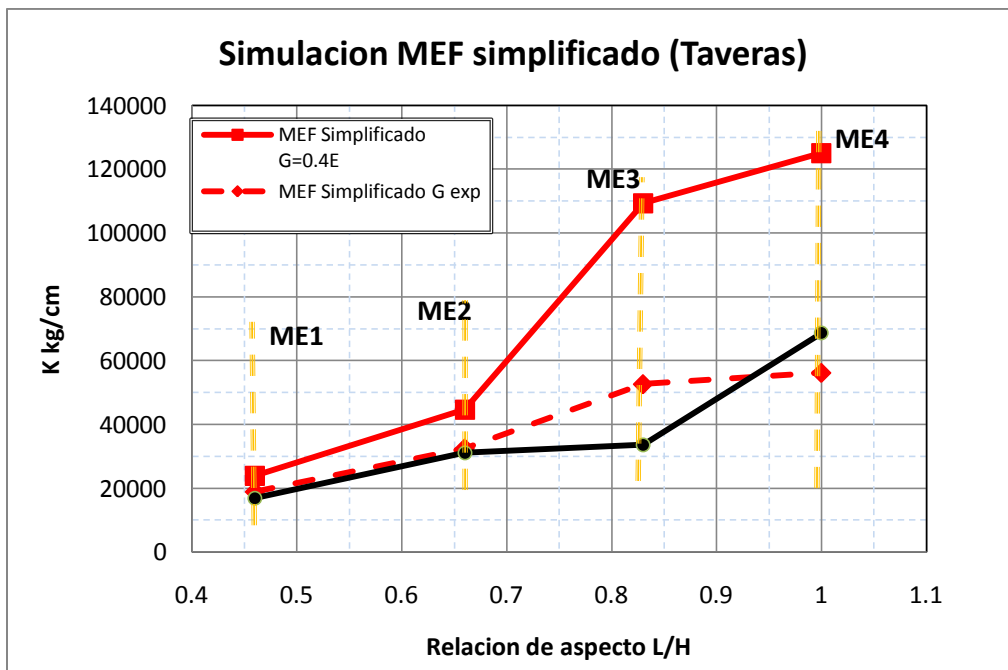


Fig. 3.10. Rigidez teórica de MEF simplificado con la rigidez experimental.

3.8. RIGIDEZ NORMALIZADA

En el análisis de cualquier estructura, lo que nos interesa es cuánto cortante toma cada muro, esto depende de las rigideces laterales relativas. Con esta idea en mente, se hace una comparativa de lo que tomaría de cortante cada uno de los muros en relación con lo que toma el ME4. Esto es, se calculan las rigideces relativas de los muros con respecto a la del muro ME4. En la Fig. 3.11 se muestran los modelos utilizados.

Los valores de rigidez lateral utilizados en cada muro son los valores de los modelos matemáticos más aproximados al cálculo de la rigidez experimental. La Fig. 3.11 muestra las proporciones de los muros ME1, ME2 y ME3 con respecto al muro ME4. Se tiene que comparar siempre muros diferentes, ya que con rigidez similar tendería a tomar la mitad de la rigidez en este arreglo.

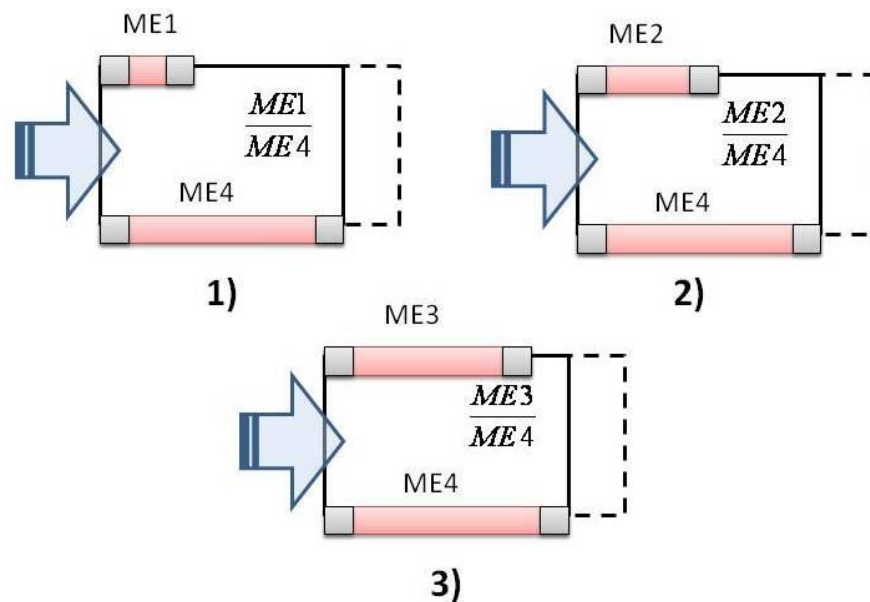


Fig. 3.11. Modelos de comparación para las rigideces en arreglo paralelo: 1) ME1 Vs ME4, 2) ME2 vs ME4 y 3) ME3 vs ME4

La relación usada para comparar las rigideces de los muros fue la siguiente:

$$\%ME_i = \left(\frac{ME_i}{ME_4 + ME_i} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Las rigideces que se obtuvieron experimentalmente se compararon con respecto a ME4 y sus resultados se utilizaran como referencia para todas las comparativas.

Experimental	
Muro / ME4	% de rigidez lateral
	ME1
ME2	31
ME3	33

Tabla 3.7. Comparativa de rigidez lateral experimental, con respecto a ME4.

Primero compararemos las rigideces obtenidas por el método de la columna ancha con las experimentales también normalizadas.

Columna Ancha		
Muro / ME4	% de rigidez lateral	
	G=0.4E	G exp
ME1	16	23
ME2	30	35
ME3	39	48

Tabla 3.8. Comparativa de rigidez lateral con método de columna ancha, con respecto a ME4.

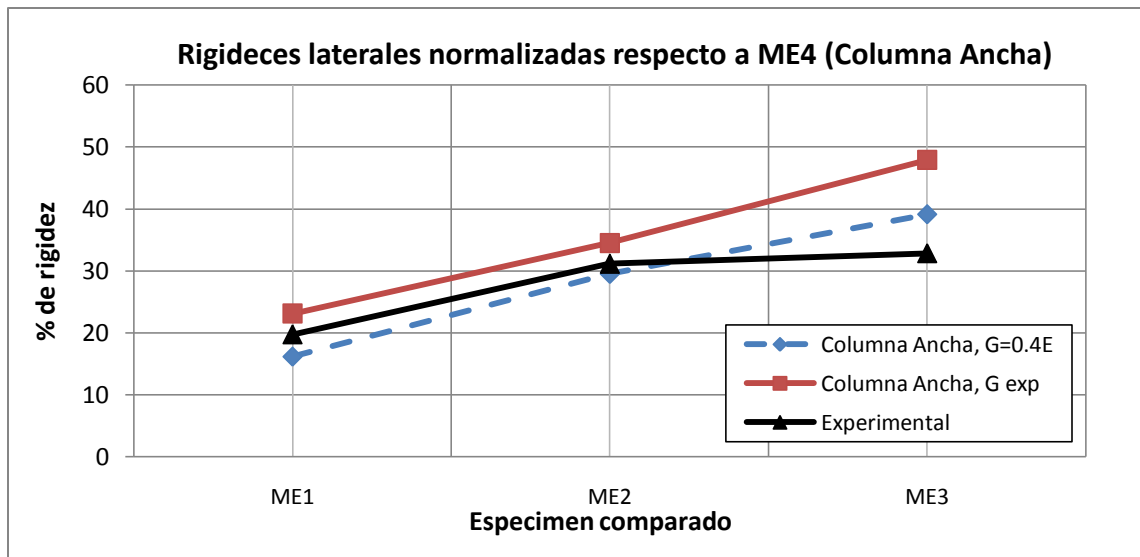


Fig. 3.12. Comparativas con respecto a la rigidez de ME4, con el método de la columna ancha.

Se puede observar que existe una consistencia en la proporción de rigideces en los modelos de columna ancha que utilizan la $G = 0.4 E$, acercándose mas a la distribución de rigideces que se da en la experimental.

En las comparativas con el MEF, se presentan las rigideces obtenidas con los diversos arreglos en los modelos de simulación.

Método de Elemento Finito		
Muro / ME4	% rigidez lateral	
	G=0.4E	G exp
ME1	16	20
ME2	28	36
ME3	32	44

Tabla 3.9. Comparativa de rigidez lateral con MEF, con respecto a ME4.

También se hace la comparativa con el MEF simplificado, en el cual también se calculo con los valores de el módulo de cortante experimental y teórico.

MEF Simplificado		
Muro / ME4	% de rigidez lateral	
	G=0.4E	G exp
ME1	16	25
ME2	26	37
ME3	47	48

Tabla 3.10. Comparativa de rigidez lateral con MEF simplificado, con respecto a ME4.

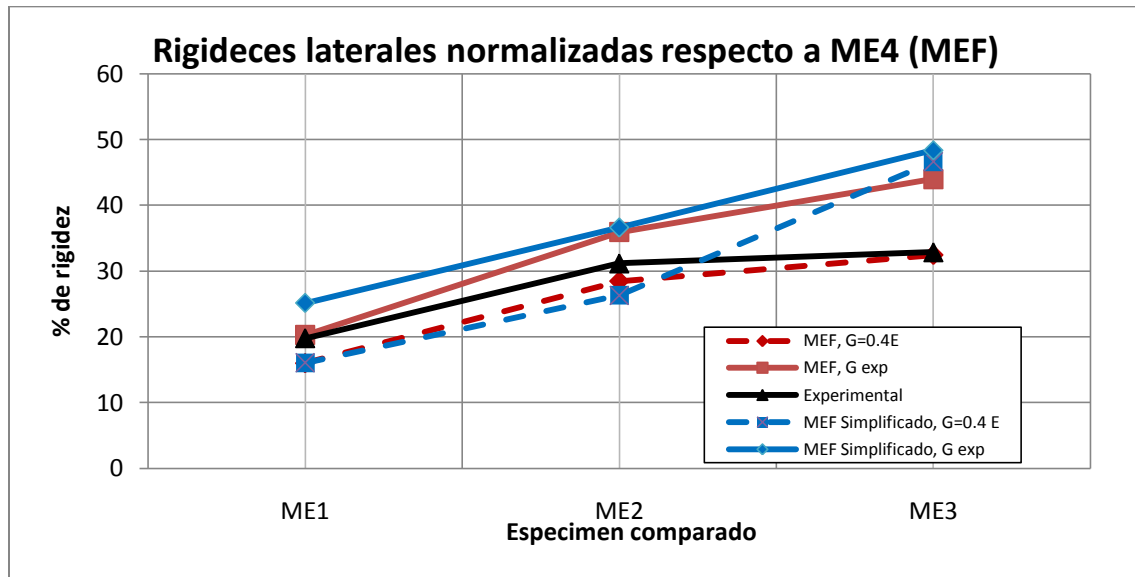


Fig. 3.13. Comparativas con respecto a la rigidez de ME4, con el método de elemento finito

Al igual que en el método de columna ancha, al utilizar G=0.4 E en el calculo de rigideces se acerca mas a la distribución que se da experimentalmente.

Una de las formas en las que hace esta comparativa de relación de aspecto es el método simplificado, de las NTCDF en mampostería.

$$F_{AE} = 1; \quad \text{Si } \frac{H}{L} \leq 1.33 \quad (3.3)$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2; \quad \text{Si } \frac{H}{L} > 1.33 \quad (3.4)$$

El factor F_{AE} se utiliza para modificar el área transversal de un muro, dando una proporción de acuerdo a su relación de aspecto. Al modificar el área, en los análisis se modifica por ende la rigidez lateral.

Relaciones Geométricas		
Muro / ME4	% de rigidez lateral	
	NTCDF	Geométrico
ME1	14	31
ME2	33	39
ME3	45	45

Tabla 3.11. Comparativas geométricas, con respecto a ME4.

En la figura 3.14 comparamos esta relación de áreas con las más representativas en cada modelo, de hecho se incluye la solo variación de la longitud, a la que llamaremos relación geométrica.

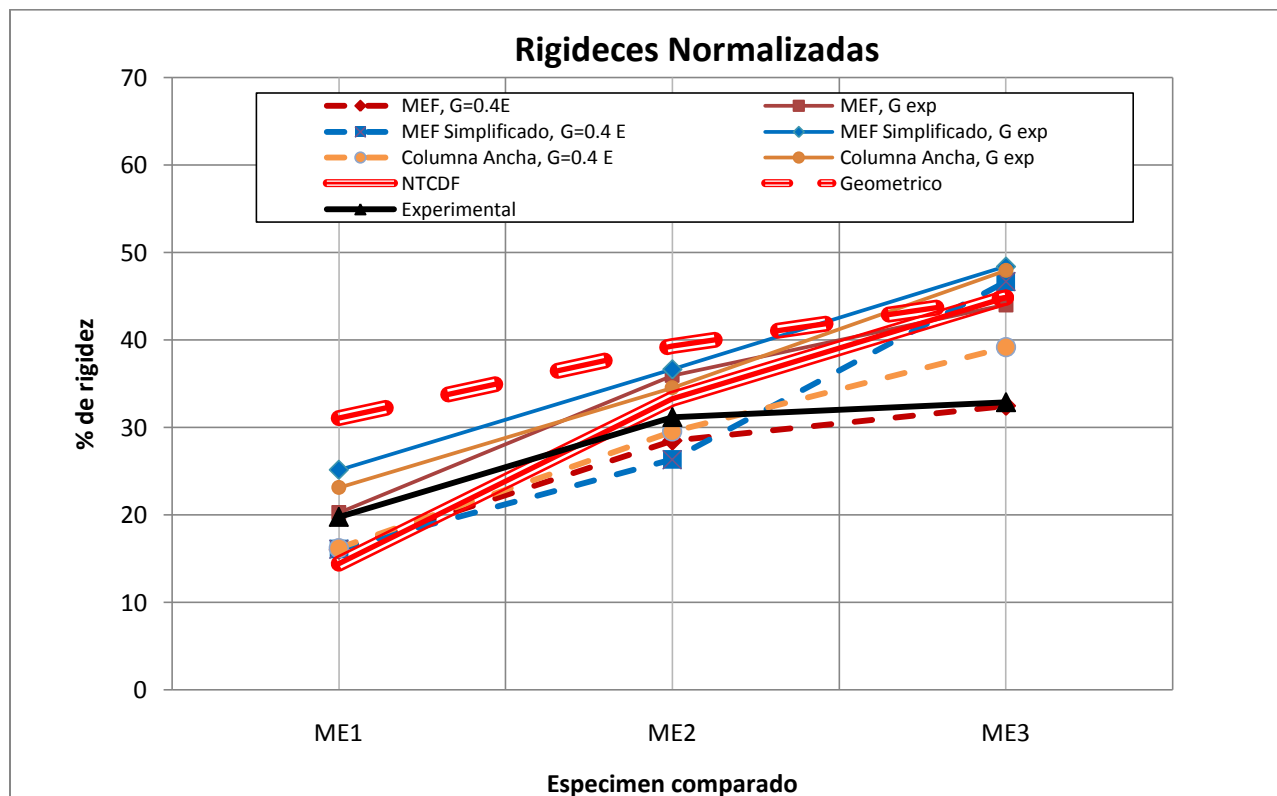


Fig. 3.14. Comparación general de rigideces normalizadas con ME4

La gráfica nos dice que, de acuerdo al experimento, el muro ME1 debe tomar el 20% y el resto el ME4 el muro ME2 debe tomar el 32% y el ME3 el 33%. La baja evidente en la rigidez del ME3 se atribuye a al bajo modulo de elasticidad del concreto de los castillos de ese muro. Esa baja en rigidez, sin embargo, no parece estar representada adecuadamente en los modelos de columna ancha, solo en el caso de elemento finito con $G=0.4E$ parece reaccionar adecuadamente.

La curva etiquetada como Geométrico, se refiere a las rigideces de los muros calculadas como proporcional a su área. La marcada como NTCDF, calcula las rigideces proporcional a su área efectiva. Los valores para ME1 y ME2 difieren debido al factor F_{AE} que el NTCDF especifica si $H/L > 1.33$ que es el caso de los muros ME1 y ME2, esto ya no se cumple para el ME3, por lo que el geométrico y NTCDF coinciden conforme los muros sean mas largos.

La relación sugerida por las NTCDF en su método simplificado, ignora la rigidez a flexión, pero eso no es válido si el muro es corto. Eso es lo que quiere corregir el factor F_{AE} . Según el experimento, la corrección se excedió un poco al reducir excesivamente la rigidez lateral de los muros cortos.

El efecto de usar G experimental es que los muros cortos toman más cortante, esto se explica porque al reducir G se reduce más rápidamente la rigidez lateral de los muros largos que la de los cortos, porque la participación de la deformación por cortante es mucho mayor que en los muros cortos.

A la inversa, los modelos con $G=0.4E$ dan lugar a cortantes mas bajos en los muros cortos que lo que podría esperarse de los experimentos. Porque la rigidez de los muros largos se sobreestima. El sobre diseñar los muros cortos es en general una buena idea, ya que errores pequeños en la construcción de muros cortos da lugar a una variación importante en su resistencia.

3.9. DEFORMADA EXPERIMENTAL

Una de las novedades en estos ensayos fue la utilización de Leds para la medición de los desplazamientos en la parte interna de los panales de los muros. Estos Leds tienen una gran sensibilidad a los movimientos (cerca de +/- 0.002 cm), por lo que inflúan en ellos hasta el caminar cerca del muro durante la prueba así como la iluminación del lugar. Cabe señalar que miden directamente la ubicación espacial de los Leds, y para obtener los desplazamientos de tiene que restar la ubicación inicial.

Para un ciclo en particular se compararon las posiciones de los Leds con las posiciones en la malla del MEF ($G=0.4 E$), para compararlos y obtener un error de exactitud relativo al teórico.

$$\%ee = \left[\frac{\Delta_{exp} - \Delta_{teo}}{\Delta_{teo}} \right] \times 100 \quad (3.5)$$

Donde Δ_{exp} es el desplazamiento experimental

Y Δ_{teo} es el desplazamiento teórico.

Los resultados muestran que la sensibilidad de los Leds en la zona inferior de los muros hace que tengan errores cercanos al 100%. Esto es debido a que en un modelo elástico y analítico esa zona tiene desplazamientos muy pequeños, al compararlos con los resultados experimentales aun teniendo desplazamientos semejantes, la mas mínima diferencia hace que el error de exactitud relativo se eleve mucho mas que en cifras mas grandes. En la Fig. 3.15 podemos observar la distribución de los errores de exactitud en el muro.

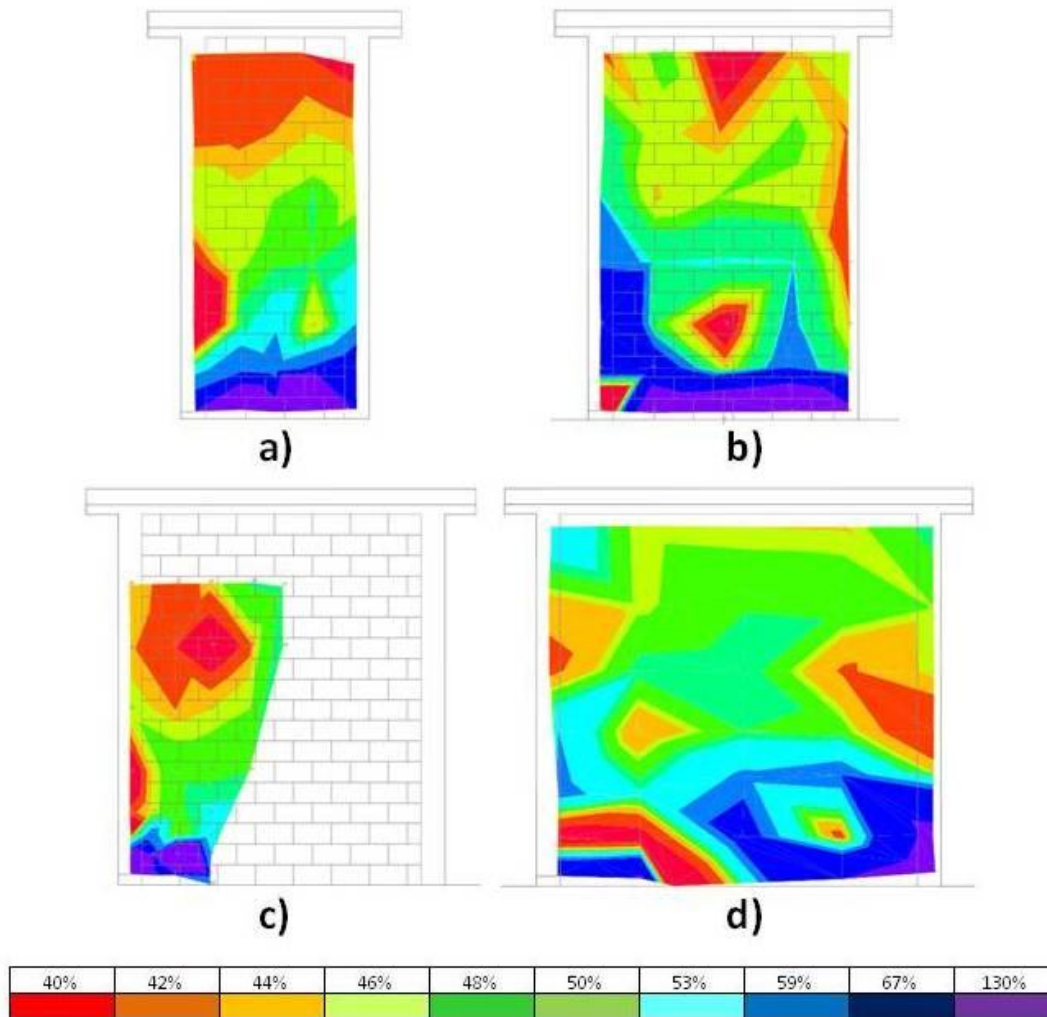


Fig. 3.15. Distribución de los errores de exactitud en los muros, para ciclo de 1 ton, para a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.

Cabe señalar que para la obtención de estos picos, se utilizó la parte elástica de las pruebas. En esa etapa se variaba la carga axial hasta $\sigma=10 \text{ kg/cm}^2$, y se aplicaban pequeñas variaciones a la carga lateral. Las variaciones de la carga axial no influyeron en el cambio de la rigidez lateral y eso se puede observar en las curvas histeréticas de la Fig. 3.1. en los ciclos iniciales.

Al tener puntos de desplazamiento en todo lo alto del muro se buscó observar la curva elástica. Para esto se obtuvo un promedio de los desplazamientos en el centro de los muros de acuerdo a su arreglo y

se comparo con las curvas elásticas obtenidas con el método de la columna ancha, ayudándonos con la ecuación A.34. del apéndice A.3.

$$\Delta_{TOTAL} = \frac{P}{6EI} (a^3 - 3H^2a + 2H^3) + \frac{P}{GA_c} (H - a) - \frac{PH}{4EI} (H - a)^2 \xi \quad (A.39)$$

Donde **a**, es la distancia variable de la losa a la base

H, es la altura del muro

P, la carga lateral aplicada

E, Modulo de elasticidad de la sección transformada

I, Momento de inercia de la sección transformada

G, Modulo de cortante de la sección transformada

Ac, área de cortante

ξ , Factor de cantiliver o doble empotrado, en este caso se tomo $\xi=0$

En la presentación de la curva elástica se eligieron distintos valores de carga lateral en cada muro, cuidando que estas fueran la mayor carga y por ende diera el mayor desplazamiento de la etapa elástica de la prueba de los muros. Los resultados se pueden observar en las Fig. 3.16 a Fig. 3.19.

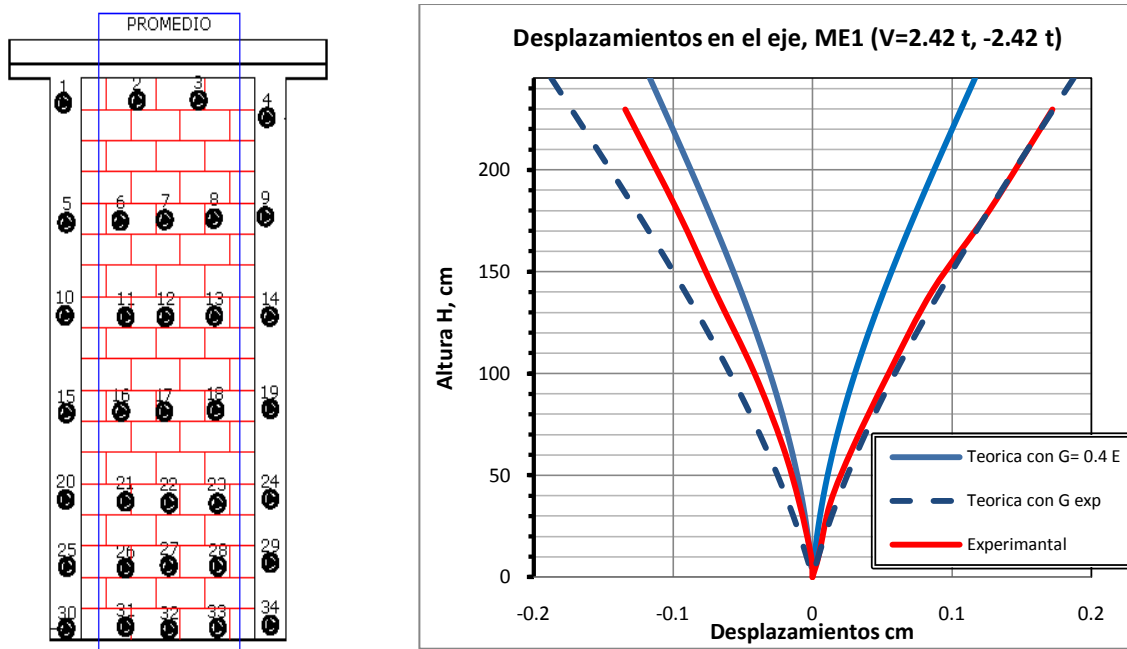


Fig.3.16. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME1.

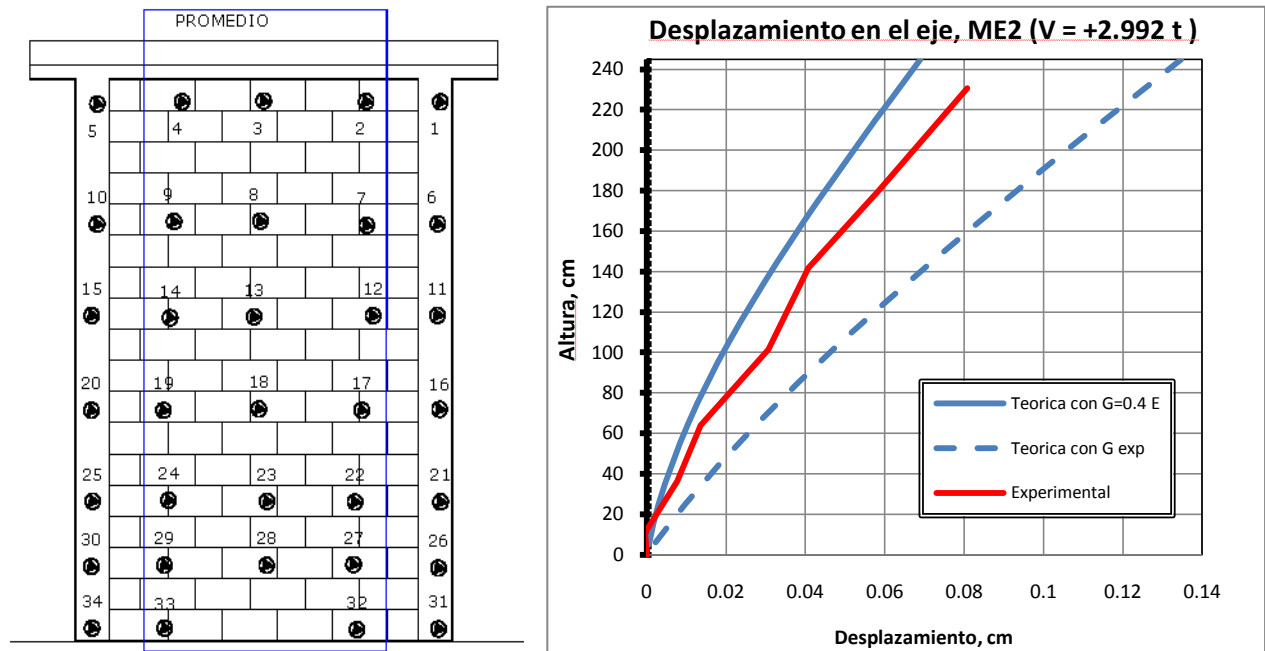


Fig. 3.17. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME2.

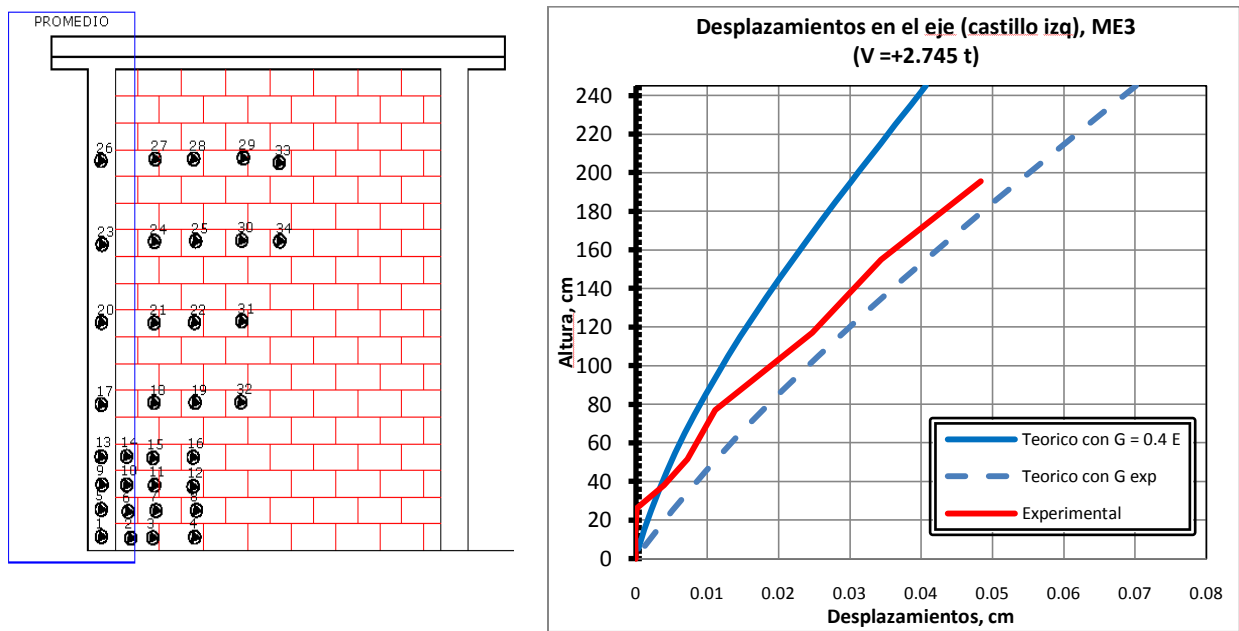


Fig. 3.18. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME3.

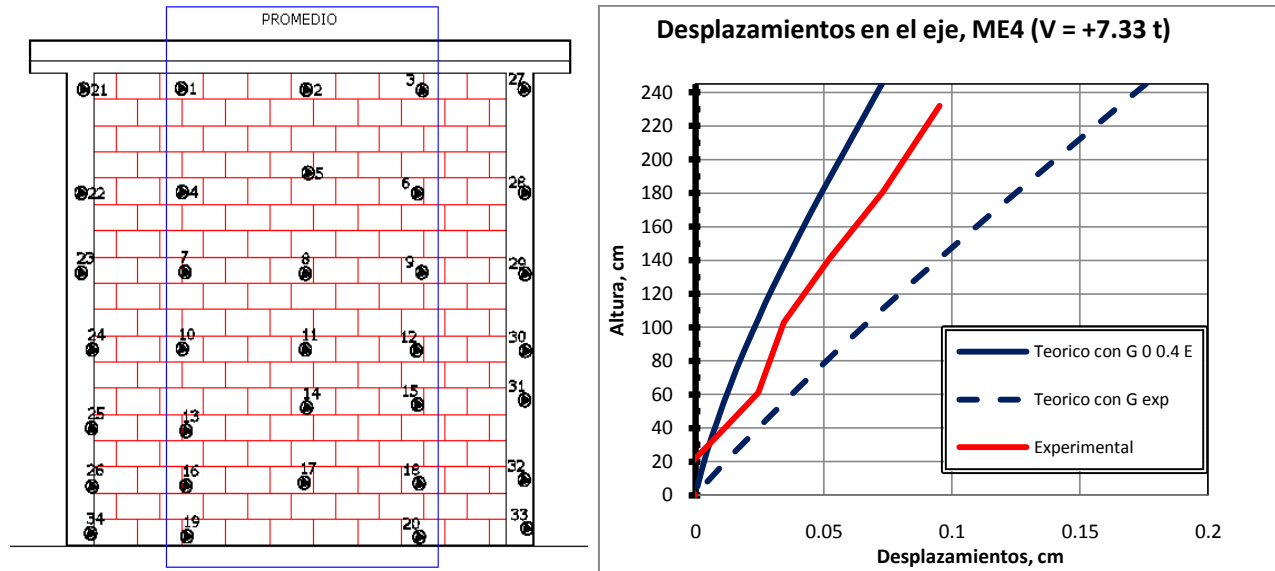


Fig.3.19. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME4.

Podemos observar en estas graficas que conforme la longitud de los muros crece, en la base se tienen menores desplazamientos, por lo general cerca de los 20 a 30 cm de distancia de la base, lo que indica una mayor resistencia en esa zona de proporcional al crecimiento del área transversal de los muros.

Por ultimo visualizaremos como fue la deformación interna en los muros. Utilizando los desplazamientos obtenidos en arreglos de leds, en un ciclo máximo de su comportamiento elástico, estos desplazamientos se insertan en la malla del MEF para que este método interpole los puntos entre leds y dibuje una deformada aproximada a la real en dicho ciclo. Estos ciclos de carga máxima corresponden a los que se obtuvieron en para la curva elástica de acuerdo a cada carga en los muros. En este caso los desplazamientos se exageraron 500 de su valor real para ser representados de forma clara.

Cabe señalar que el arreglo de leds utilizado en el espécimen ME3 no pudo ser utilizado plenamente, ya que en este modelo los leds no se colocaron uniformemente en toda el área del panel del muro.

Se pueden observar las Fig. 3.12, 3.13 y 3.14, en las cuales se tiene una característica común, no es una deformación plana.

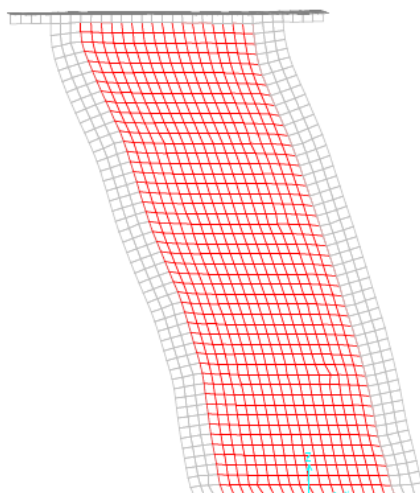


Fig. 3.20. Deformada real del muro ME1, ciclo elástico $v = -2.42 t$.

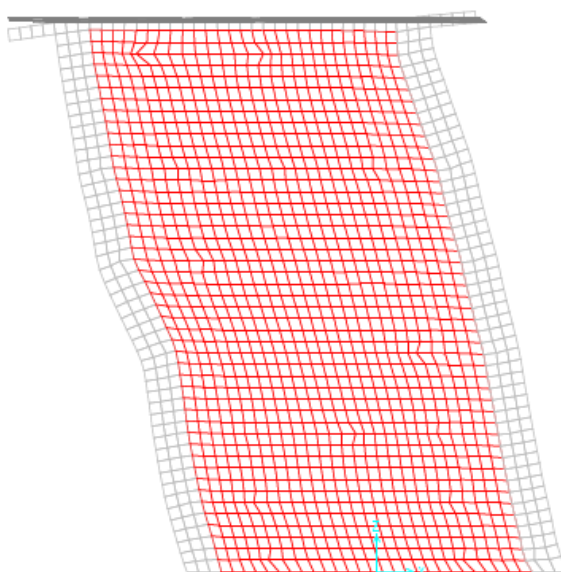


Fig. 3.21. Deformada Real ME2, para ciclo elástico $v = 2.99 t$.

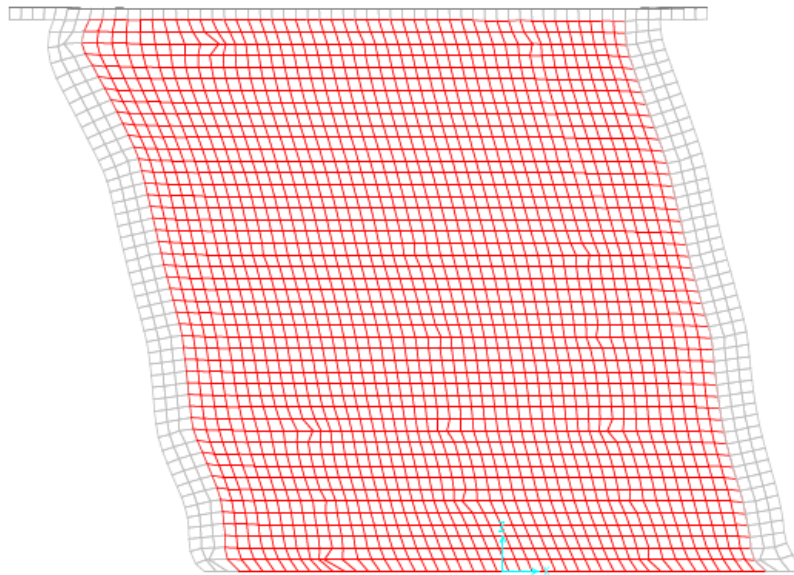


Fig. 3.22. Deformada real en ME4, para ciclo elástico $v=7.33 t$.

Como podemos observar, en la zona de transición de los materiales en el panel del muro, de concreto a mampostería, existe un cambio en la deformación general, que hace que el muro en su totalidad no se comporte como una sección plana.

Recordemos que el principio de sección plana es vital para el análisis en etapa elástica y en cuerpos homogéneos e isotropos, que es con lo que se ha estudiado parte del comportamiento de la mampostería.