

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1. Análisis de resultados. Resistencia a flexión.

6.1.1 De los especímenes de Hernández (ref. 7.1.2) sólo el primer espécimen falla por flexión, este espécimen solo tiene acero en el alma en la misma proporción tanto horizontal como verticalmente, la relación entre la resistencia calculada a experimental es 0.90; es importante hacer notar que es importante considerar la carga axial para la obtención de la resistencia, ya que de no ser así, el momento obtenido M_u (flexión pura) se aleja del experimental. La relación M/VL es 1.95.

6.1.2 De los especímenes reportados por Wood (ref. 7.1.1) que fallan por flexión, según el método propuesto se observa que cuando el acero vertical del alma es igual al horizontal, y no hay refuerzo en los extremos no se predice correctamente la resistencia a flexión porque parte del refuerzo vertical está ayudando a resistir fuerza cortante (ver muro PCA-SW1 PCA-SW2), y que a medida que aumenta el refuerzo vertical, respecto al horizontal puede alcanzar la resistencia a flexión antes de la falla por cortante (muros PCA-SW2 a PCA-SW4); pero en el caso que se tenga demasiado refuerzo, el acero no fluye y entonces se calcula mayor resistencia a flexión como se observa en los muros PCA-SW3 y PCA-SW4, pero si la relación M/VL es baja, la falla se tendrá por cortante (muro PCA-SW4).

Esto hace pensar que si consideramos que hay refuerzo vertical en el alma del muro que va a resistir flexión, este debe ser adicional al que va a resistir cortante y además que no debe haber refuerzo vertical menor a dos veces el horizontal si se quiere tomar éste en cuenta para resistir momento flexionante.

Al tener poco acero para flexión y altas relaciones M/VL el acero entra a la etapa de endurecimiento por deformación, calculándose resistencias a flexión menores a las experimentales (muros STAN-1, ILL, PAC-1 y PCA-2) ver tabla 5.2.2.

Finalmente consideraremos para propósitos de predicción de la resistencia a flexión solo los siguientes muros: R1, R2, R3, R4, B1, B2, B3, B4, B5, B7, B9, B10, B11, B12, F1, F2 y F3.

6.1.3 Todos los especímenes reportados por Lefas Ioannis D., Kotsovos Michel D. y Ambraseys N. (ref.7.1.4) fallan por flexión.

Estos especímenes tienen el refuerzo vertical en más del doble que el horizontal y para los muros SW-17 y SW-26 éste es mucho mayor (alrededor de cuatro veces), el primero tiene una relación M/VL de 1.1 y el segundo de 2.1, es lógico pensar que si no se tiene refuerzo en los extremos, para flexión el refuerzo vertical del muro comienza a trabajar por lo que en este caso si se considera el refuerzo del alma para la resistencia a flexión. Por otro lado se observa que a mayor relación M/VL la resistencia a flexión es menor, que para el mismo muro pero con menos altura; también se observa que con la carga axial se incrementa la resistencia.

6.1.4 Kumar Subedi Nutan (ref. 7.1.5)

La primera tabla que se muestra en 5.2.4, al muro se le considera con aberturas y con refuerzo en el alma distribuido uniformemente; y en la segunda tabla se considera que el refuerzo que se tiene a cada lado de la abertura es el acero en los extremos, por lo que no se tendría refuerzo en el alma. Podemos observar que la segunda interpretación del muro se apega a los resultados experimentales por eso se toma en cuenta esta segunda interpretación.

- 6.1.5 El espécimen N4 de Ali Aejaz y Wight James K. (ref. 7.1.6) falla por flexión con una relación de M_{cal} a M_{exp} de 0.87 la relación M/VL es de 2.91 pero debido a que el refuerzo del alma es el mismo horizontal como verticalmente, al eliminar el refuerzo vertical de la ecuación para solo tomar el refuerzo de los extremos la relación de M_{cal}/M_{exp} da 0.76 creo que los extremos están muy reforzados (más del 3%). Por esto no será tomado en cuenta para el análisis. El muro es con columnas en los extremos. Esto hace ver que por la gran cantidad de refuerzo en los extremos, el acero no fluye y por lo tanto no es aplicable el método propuesto.
- 6.1.6 De los cuatro especímenes de Mochizuki Makoto, Onozato Norikazu, Fujiwara Tatsuhito y Watanabe Daisuke. (ref. 7.1.7) el primero SW1 falla por flexión con relación de M_{cal}/M_{exp} de 1.02 la relación M/VL es de 0.7 y el refuerzo en el alma es la misma en ambas direcciones, el muro SW-1 tiene columnas en los extremos con porcentaje de 3.5%. Para los especímenes SW- 3 SW-4 y SW-5 este porcentaje es de 0.9% y si seguimos nuestra línea de considerar solo el acero de los extremos para flexión cuando los porcentajes del alma son iguales para este muro se aleja la resistencia calculada a la experimental debido a que parte del refuerzo vertical del alma del muro se usa para resistir flexión.
- 6.1.7 De los especímenes de He Minxuang, Arai Yasuyuki y Mizoguchi Mitsuo. (ref. 7.1.8) los siguientes fallaron por flexión, L0+, L-45 y CL0, el tipo de muro es con patines. El muro con puerta se considero como si solo tuviera acero en los extremos y con la contribución en acero de los patines como si fuera columna; y para los muros independientes en L se considero que cuando se ensayo a -45° la area neta fue únicamente la del muro sin considerar patines, los dos muros aislados en L tienen acero en el extremo con un porcentaje de mas de 2.5% y el muro LC tiene 2%, se predice satisfactoriamente su resistencia.
- 6.1.8 El espécimen 1 de Matsumoto Toshio, Nishihara Hiroshi, Suzuki Hideyuki y Tabata Taku. (ref.7.1.9) se reportó que falla por cortante sin embargo de acuerdo a nuestros resultados falla por flexión, tiene una relación M/VL de 1.4, el refuerzo vertical y horizontal es el mismo y la relación de resistencia calculada a experimental fue de 0.91, el muro es con columnas y su porcentaje es de 1.9%; este muro tiene como característica que tiene dos pequeñas trabes ahogadas en el muro aunque su agrietamiento fue como si fueran tres muros; pero el comportamiento general a flexión es de uno solo, se predice satisfactoriamente su resistencia.
- 6.1.9 Todos los especímenes de Mickleborough Neil C., Ning Feng y Chan Chun-Man. (ref. 7.1.10) fallan por flexión ninguno tiene refuerzo concentrado en los extremos pero se cumple que el refuerzo vertical es al menos el doble del horizontal, se observa que para relaciones bajas de M/VL la fuerza cortante resistida es mayor.
- 6.1.10 Todos los especímenes de Salonikios Thomas N., Capos Andreas J., Tengos Ioannis A. y Penelis Georgios G. (ref. 7.1.11) fallan por flexión ó flexo compresión.

En la tabla 5.2.10 podemos observar que estos muros tienen en sus extremos un porcentaje de acero muy alto, podemos pensar que no fluye el acero del alma, por ejemplo para los tres primeros muros de acuerdo a las graficas de esfuerzo-deformación mostradas en el artículo original fallan por cortante. Los consideraremos que fallan a flexión-cortante. El refuerzo en el alma es el mismo en las dos direcciones. El muro MSW6 que tiene junta fría no lo consideraremos. Además los muros LSW y LSW5, MSW4 Y MSW5 tienen un refuerzo adicional en las esquinas inferiores, sin embargo no se aprecia que tengan un efecto significativo.

- 6.1.11 De los muros de Huang (ref. 7.1.12) todos fallan a flexión o flexión-cortante. El refuerzo vertical es en todos los casos menores que el horizontal, pero tienen gran cantidad de acero en los extremos.

Como conclusión de la parte de flexión podemos decir lo siguiente: el método propuesto predice satisfactoriamente la resistencia si el refuerzo del alma es el mismo tanto vertical como horizontal, tanto si tiene o no refuerzo en los extremos, pero si tiene refuerzo concentrado en los extremos con un porcentaje de por lo menos 1%, para calcular su resistencia a flexión hay dos posibilidades: tomar únicamente el refuerzo de los extremos o bien considerar también el refuerzo vertical del alma, esto dependerá de que este último sea al menos 1.5 veces el porcentaje de acero horizontal ya que así se garantiza que también habrá refuerzo vertical que tome cortante.

Por otro lado se predice satisfactoriamente la resistencia de muros con presencia de carga axial. Para muros con aberturas se podría usar las ecuaciones propuestas considerando que el refuerzo que se tiene a cada lado del hueco está concentrado.

La sección neta para muros con columnas en los extremos es incluyendo totalmente la columna. Para muros con patines, se debe tomar solo la contribución de una vez el espesor del muro que se está analizando.

El refuerzo diagonal en las esquinas inferiores no contribuye a la resistencia, por lo que no se recomienda su uso.

En la siguiente tabla se agrupan los resultados para muros que fallan por flexión, se observa en dicha tabla que la resistencia media calculada es 0.94 la experimental lo cual permite observar que el método es confiable ya que se aplicó a distintas formas de armado de muros y formas de ensaye. Al ser menor que la unidad (0.94), queda ligeramente del lado de la seguridad ya que se predice una resistencia menor a la experimental.

Tabla 6.1.

CAP.	Id.	M/VL	Ma ton-m	Mexp ton-m	Ma/Mexp	CAP.	Id.	M/VL	Ma ton-m	Mexp ton-m	Ma/Mexp
5.2.1	1	1.95	0.2541	0.2834	0.90	5.2.1	1	1.95	0.2541	0.2834	0.90
5.2.2	R1	2.4	47.1	46.2	1.02	5.2.6	SW-1	0.7	3.89	8.68	0.45
	R2	2.4	62.9	88.6	0.71		SW-3	0.7	15.47	17.79	0.87
	R3	2.4	212.9	225	0.95		SW-4	0.7	15.47	18.72	0.83
	R4	2.4	120.3	111.7	1.08		SW-5	0.7	21.32	23.81	0.90
	B1	2.4	106.6	108.1	0.99						
	B2	2.4	233.8	271.2	0.86	5.2.7	L0-	2.64	4.43	5.21	0.85
	B3	2.4	104.6	109.2	0.96		L45-	2.64	4.43	5.02	0.88
	B4	2.4	106.7	115.7	0.92		CLO	0.88	20.88	21.15	0.99
	B5	2.4	252.6	292.4	0.86						
	B7	2.4	379.4	397.3	0.95	5.2.8	1	1.4	164.62	201.6	0.82
	B9	2.4	363	386.9	0.94						
	B10	2.4	247.7	280.2	0.88	5.2.9	SH-L	2	31.12	23.85	1.30
	B11	2.4	248	287.7	0.86		SH-H	2	36.32	35.93	1.01
	B12	2.4	248	313.6	0.79		SM-L	1.5	30.25	24.89	1.22
	PCA SW-1	3.36	56	69.8	0.80		SM-H	1.5	36.06	33.14	1.09
	PCA SW-2	3.36	103.1	110	0.94		SL-L	1	31.24	32.11	0.97
	PCA SW-3	3.36	223.9	176.1	1.27		SL-H	1	35.71	30.58	1.17
	PCA SW-6	3.36	114.8	193.6		5.2.10	LSW1	1.1	34.56	29.72	1.16
	F1	2.4	286.19	319.1	0.90		LSW2	1.1	23.05	18.91	1.22
	F2	2.4	322.78	382	0.84		LSW3	1.1	32.87	27.02	1.22
	F3	2.4	192.06	196.09	0.98		LSW4	1.1	23.05	21.61	1.07
	CI-1	2.88	124.96	189.28	0.66		LSW5	1.1	23.05	24.31	0.95
	UCBSW1	1.28	333.31	342.75	0.97		MSW1	1.6	34.56	31.4	1.10
	UCBSW2	1.28	333.31	338.6	0.98		MSW2	1.6	23.05	21.58	1.07
	UCBSW3	1.28	304.92	345.49	0.88		MSW3	1.6	32.96	29.43	1.12
	UCBSW4	1.28	304.92	315.1	0.97		MSW4	1.6	23.05	23.54	0.98
	UCBSW5	1.26	219.16	284.68	0.77		MSW5	1.6	23.05	27.47	0.84
	UCBSW6	1.26	219.16	266.73	0.82		MSW6	1.6	34.56	29.43	1.17
	STAN-1	3.95	0.5	1.34		5.2.11	HN4-1	0.75	18.2	17.97	1.01
	ILL	3.91	0.88	2.56			HN4-2	0.75	18.2	21.65	0.84
	PCA-1	2.88	40.12	41.56	0.97		HN4-3	0.75	18.2	17.71	1.03
	PCA-2	3.95	24.69	83.84			HN6-2	0.75	16.77	17.88	0.94
5.2.3	SW-11	1.1	20.42	21.86	0.93		HN6-3	0.75	16.8	17.97	0.93
	SW-12	1.1	27.57	28.59	0.96		HM4-1	0.75	18.2	19.55	0.93
	SW-13	1.1	31.46	27.75	1.13		HM4-2	0.75	18.2	20.25	0.90
	SW-14	1.1	20.42	22.28	0.92		HM4-3	0.75	18.13	21.91	0.83
	SW-15	1.1	26.17	26.91	0.97		LN4-1	0.75	18.17	16.92	1.07
	SW-16	1.1	34.72	29.86	1.16		LN4-2	0.75	18.17	19.02	0.96
	SW-17	1.1	20.42	20.77	0.98		LN4-3	0.75	18.15	17.79	1.02
	SW-21	2.1	14.68	17.81	0.82		LN6-1	0.75	16.8	21.57	0.78
	SW-22	2.1	19.41	21.02	0.92		LN6-2	0.75	16.8	17.53	0.96
	SW-23	2.1	23.59	25.23	0.93		LN6-3	0.75	16.8	18.41	0.91
	SW-24	2.1	14.68	16.82	0.87		LM6-1	0.75	16.75	19.19	0.87
	SW-25	2.1	23.13	21.02	1.10		LM6-2	0.75	16.82	17.97	0.94
	SW-26	2.1	14.68	17.24	0.85		LM6-3	0.75	16.78	18.41	0.91
5.2.4	1	3	0.76	0.76	1.00		LM4-2	0.75	18.12	22.09	0.82
	2	3	0.76	0.76	1.00		LM4-3	0.75	18.12	19.9	0.91
5.2.5	N4	2.91	39.31	51.53	0.76						
5.2.1	1	1.95	0.2541	0.2834	0.90						
									DESVIACIÓN ESTANDAR		0.14
									MEDIA		0.94

6.2. Análisis de resultados. Resistencia a cortante.

- 6.2.1 Muros que fallaron a cortante referencia HBO (ref. 7.1.2).
Los muros 2 al 21 de esta referencia fallan a cortante dentro de estos tenemos muros con sección rectangular y con columnas ó muros en los extremos, todos tienen la misma cantidad de refuerzo tanto vertical como horizontal excepto para los muros 17 y 18, cuyo porcentaje de refuerzo vertical con respecto a el horizontal es de la mitad para el primero y del doble para el segundo. Se predice aceptablemente su resistencia, todos son tomados para el análisis.
- 6.2.2 Muros que fallaron a cortante referencia Wood (ref. 7.1.1).
De acuerdo a los resultados que obtuvimos de aplicar las ecuaciones propuestas los muros presentados en la tabla 5.3.2 fallan a flexión cortante, ya que también se predicen con las ecuaciones de flexión, sin embargo el muro CI-1 tiene una resistencia menor a la calculada pero en la referencia no se indica nada respecto esto, no será considerado para la obtención de la desviación estándar, por tener condiciones de refuerzo poco usuales.
- 6.2.3 De la referencia Lefas Ioannis D., Kotsovos Michel D. y Ambraseys N. (ref. 7.1.4) solo el muro SW-26 falla a flexión cortante, es rectangular con relación M/VL de 2.1.
- 6.2.4 De la referencia Kumar Subedi Nutan (ref. 7.1.5) no hay ningún muro que falla en cortante.
- 6.2.5 De la referencia Ali Aeja y Wight James K. (ref. 7.16) no hay ningún muro que falla en cortante.
- 6.2.6 De los especímenes de Mochizuki Makoto, Onozato Norikazu, Fujiwara Tatsuhito y Watanabe Daisuke. (ref. 7.1.7) los siguientes fallaron a flexión-cortante: SW-3, SW-4 y SW-5, su relación M/VL es de 0.71, el porcentaje de acero en el alma es el mismo en ambos sentidos, de hecho tienen las mismas características los tres excepto que solo el ultimo tiene 15 ton de carga axial.
- 6.2.7 De los especímenes de He Minxuang, Arai Yasuyuki y Mizoguchi Mitsuo. (ref. 7.1.8) los siguientes fallaron a cortante: los muros aislados L0+ y L45+, que tienen una relación M/VL de 2.63 por lo que para la resistencia a cortante está dada solo por la fuerza que resiste el concreto y la contribución del refuerzo horizontal.
- 6.2.8 Todos los especímenes de Toshio, Nishihara Hiroshi, Suzuki Hideyuki y Tabata Taku. (ref. 7.1.9) fallan por flexión.
- 6.2.9 Todos los especímenes de Mickleborough Neil C., Ning Feng y Chan Chun-Man. (ref. 7.1.10) fallan por flexión.
- 6.2.10 Los especímenes de Salonikios Thomas N., Capos Andreas J., Tengos Ioannis A. y Penelis Georgios G. (ref. 7.1.11) fallan por flexocompresión según las gráficas del artículo original y la aplicación de las ecuaciones y son los LSW1-2-3 con relación de aspecto de 1.1, los tres muros tienen refuerzo en el alma en la misma proporción en ambos sentidos aunque el primero tiene cinco veces más que los otros dos y el ultimo, que si tiene carga axial, se predice satisfactoriamente su resistencia:
- 6.2.11 De los muros de Huang (ref. 7.1.12) según, el artículo original fallan a cortante casi todos los muros, sin embargo por los resultados que obtenemos, estos fallan a flexión-cortante, por esto no se tomaran en cuenta para los resultados finales.

En la siguiente tabla se agrupan los resultados para muros que fallan por cortante.

CAP.	Id.	M/VL	Va ton	Vexp ton	Va/Vexp
5.3.1	2	1.95	27.25	26.2	1.04
	3	1.95	26.79	26.4	1.01
	4	1.95	26.97	26.7	1.01
	5	1.95	27.23	29.2	0.93
	6	1.95	27.9	26.8	1.04
	7	1.91	27.19	26.5	1.03
	8	1.95	27	27	1.00
	9	0.5	49.24	46.1	1.07
	10	0.67	48.78	55.1	0.89
	11	0.5	46.61	44.5	1.05
	12	0.67	44.62	44	1.01
	13	2	27.9	27.7	1.01
	14	2	28.62	26.6	1.08
	15	2	29.15	28.9	1.01
	16	2	36.23	38.2	0.95
	17	2	35.46	33	1.07
	18	0.5	51.29	55.6	0.92
	19	2	38.54	38.2	1.01
	20	2	34.08	33.5	1.02
	21	2	28.08	29	0.97
5.3.2	R3	2.4	24.16	29.92	0.81
	B2	2.4	35.37	35.8	0.99
	B5	2.4	36.31	40.13	0.90
	B7	2.4	49.51	51.63	0.96
	B9	2.4	47.13	51.44	0.92
	B11	2.4	36.81	38.26	0.96
	B12	2.4	35.41	41.7	0.85
	F1	2.4	39.38	44.02	0.89
	F2	2.4	50.42	46.74	1.08
5.3.3	SW-26	2.1	29.23	26.71	1.09
5.2.4					
5.3.5					
5.3.6	SW-3	0.7	15.47	17.79	0.87
	SW-4	0.7	15.47	18.72	0.83
	SW-5	0.7	21.32	23.81	0.90
5.3.7	L0+	2.64	11.92	11.84	1.01
	L45+	2.64	11.53	11.07	1.04
5.3.8					
5.3.9					
5.3.10	LSW1	1.1	18.61	22.26	0.84
				DESVIACIÓN ESTANDAR	0.08
				MEDIA	0.97

6.3. Conclusiones.

Antes de concluir debe hacerse hincapié que es necesaria la presencia de refuerzo vertical y horizontal en el alma del muro para que puedan aplicarse las expresiones propuestas en esta tesis. También es conveniente la presencia de una cuantía mínima de refuerzo para evitar problemas de agrietamiento por contracción; el porcentaje mínimo que se propone en ese trabajo es de 0.0025, que es lo que recomiendan para muros las NTC.

Al aplicar las expresiones del capítulo 4 a muros confinados por columnas o muros transversales se observó que el esfuerzo calculado resultaba inferior al obtenido del ensaye si se consideraba como área efectiva sólo la del muro ($b \times L$), que confirma la idea de que estos apéndices ayudan en alguna forma a resistir la fuerza cortante y debe tomarse de los elementos de confinamiento, tanto en columnas como en muros transversales solo un ancho efectivo de $2b$ ya que resultó que efectivamente hay una concordancia aceptable.

Algunos investigadores han mencionado que la resistencia de un muro ante alternaciones de carga es menor que la obtenida de un ensaye bajo carga monotónica; se trató de confirmar lo anterior al aplicar las fórmulas, deducidas bajo alternaciones de carga, en muros con cargas monotónicas. Se observó que hay disparidad en los resultados. Estadísticamente se ve que es significativa la diferencia de valores medidos a calculados, según las referencias 7.1.1 y 7.1.2. Al comparar parejas de muros, ensayados uno bajo carga monotónica y otro ante alternaciones de carga, se dedujo que la resistencia bajo carga alternada es aproximadamente 9% que bajo carga monotónica, que fue lo que se aplicó en esta tesis.

Al aplicar las fórmulas de diseño propuestas a muros reforzados de manera no convencional, esto es, con cantidades de refuerzo muy diferentes en ambas direcciones o barras inclinadas, como es de esperarse no se predice la resistencia con exactitud.

En términos generales se tiene una semejanza aceptable entre los valores calculados con las expresiones propuestas y los medidos en los diferentes ensayos. Debe quedar claro que muchos de los ensayos se ejecutaron bajo condiciones de carga muy diferentes de aquellas para las que fueron deducidas las expresiones.

Las fórmulas propuestas pueden considerarse como confiables para predecir con buena aproximación la resistencia a cortante y flexocompresión de muros de concreto cuando:

- a) la relación de aspecto (M/VL) está comprendida entre 2.5 y 0.25,
- b) la cuantía de refuerzo en el alma del muro en cualquier dirección no es mayor del 1%, y
- c) la cantidad de refuerzo vertical es mayor de dos veces la colocada en dirección horizontal, para considerarla a flexión.

Como se observa, los resultados son muy cercanos al experimental, lo que da la pauta para afirmar que es altamente confiable el método de diseño presentado.

Para la aplicación del método propuesta para la práctica profesional es indispensable aplicar los factores de resistencia que marcan las normas mexicanas, por lo que las fórmulas serían las siguientes:

Para el caso de flexión:

$$\mu_u = F_r M_u; \text{ en este caso } F_r \text{ es } 0.9$$

Para el caso de cortante:

$$v_u = 0.85(v_c + v_s) \text{ por lo que fuerza cortante resistente es } V_u = F_r v_u A_m, \text{ en donde } F_r \text{ es } 0.8$$