

Influencia de la Forma de Colocación del Refuerzo Horizontal en la Resistencia a Cortante en el Plano de Paredes Estructurales de Bloque de Concreto para Viviendas de Dos Plantas

Resumen—

En el presente artículo se estudia la influencia de la colocación del acero de refuerzo horizontal en la resistencia a cortante en el plano de paredes de mampostería de Bloque de Concreto con refuerzo integral. Para esto se ensayaron seis paredes con diferentes formas de colocación del acero horizontal ante cargas pseudo estáticas cíclicas, manteniendo la calidad y resistencia de los materiales utilizados y también la misma cuantía de acero tanto horizontal como vertical. Previo a lo anterior se realizó un diseño tanto geométrico como estructural de las paredes ensayadas, se ensayaron cada uno de los materiales utilizados en la construcción de las mismas para garantizar el diseño propuesto, también se fabricaron prismas de mampostería para corroborar la calidad de los ensamblajes y mano de obra.

De los resultados de los ensayos de las paredes, se determinó que independientemente de la forma de colocación del refuerzo horizontal, la capacidad de carga del sistema de mampostería de bloques de concreto reforzada con celdas parcialmente llenas no varía significativamente. Por otro lado, el colocar el acero de refuerzo horizontal en sisa y en los laterales redujo drásticamente la ductilidad del sistema, característica que es importante en zonas sísmicas como nuestra región.

N. E. Ayala, catedrático/investigador, UCA, E. A. Burgos, catedrático/investigador, UCA y A. F. Alfaro, catedrático/investigador, UCA.

Índice de términos— Acero horizontal, Bloque de Concreto, Mampostería, Resistencia lateral, Sismo-Resistencia.

I. INTRODUCCIÓN

En El Salvador la mayoría de viviendas se construye con el sistema de paredes estructurales de bloque de concreto con refuerzo interior. En el Informe de Pre-Diagnóstico de la Norma Especial para Diseño y Construcción de Viviendas (NEDCV) año 1997 [1] y propuesta de la misma norma del año 2004 [2] se muestra que el número aproximado de permisos de construcción otorgados, por las oficinas encargadas de hacerlo, por año para este sistema son 2,075 para vivienda individual, lo que representa un 70.7% del total de permisos otorgados para vivienda individual y 34 para vivienda en serie, lo que representa un 89.5% de los permisos otorgados para viviendas en serie. Por lo anterior, la falla o colapso por terremotos de viviendas construidas con este sistema constituiría una pérdida considerable tanto desde el punto de vista humano como económico. En el terremoto del 13 de enero de 2001 se observaron fallas en paredes estructurales de bloque de concreto en viviendas nuevas de dos plantas y pertenecientes a un proyecto con todos los permisos otorgados.

La referencia [1] no establece ninguna provisión sobre la forma de colocar el refuerzo horizontal, por lo que deja a criterio del diseñador o del constructor la forma de ubicar el mismo. Los requisitos y recomendaciones de la [2] son confusos en cuanto a la posición y al tamaño del refuerzo horizontal que se puede utilizar, el cual es colocado en las sisas de las paredes de bloque de concreto. La referencia [2] muestra una alternativa de ubicación del refuerzo horizontal colocado en las sisas junto al refuerzo vertical, como se puede observar en la Fig. 1, lo que deja tramos de la varilla que no estarán embebidas en el

mortero de la sisa o en el concreto fluido en la zona de las celdas sin relleno. Esto causaría con el paso del tiempo oxidación en el acero y disminución en el área de las varillas horizontales, las cuales son el refuerzo en la pared para resistir el cortante que ocasionaría un sismo. La falta de concreto fluido o mortero alrededor del acero provocaría deslizamiento del refuerzo y cuando esto suceda la varilla ya no sigue resistiendo tensión y por lo tanto ya no trabaja para resistir la fuerza cortante inducida por un sismo. La disminución del área de la varilla por oxidación y el deslizamiento de la misma ocasionaría una disminución en la resistencia a cortante de la pared que la puede llevar a fallar cuando sufre fuerzas ocasionadas por sismos o terremotos.

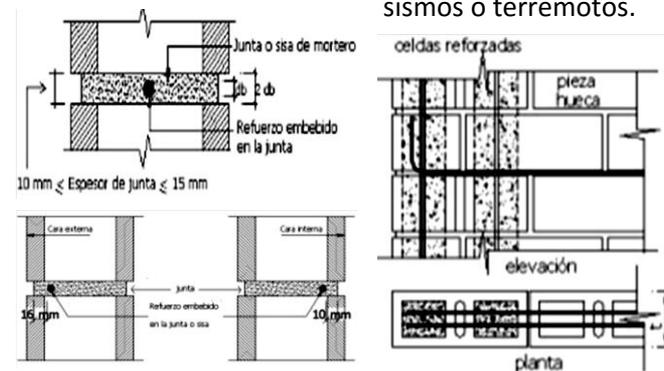


Fig. 1 Requisitos y recomendaciones de forma de colocación de acero de refuerzo horizontal de NEDCV 2004.

Por otra parte, dado que la falla por cortante es considerada como frágil, explosiva y grave es necesario determinar la capacidad de resistencia a cortante y de disipación de energía del sistema con distintos patrones de colocación del refuerzo horizontal a fin de concluir que patrón de colocación es más eficiente. La determinación de estas propiedades fue el principal objetivo de una investigación experimental

desarrollada en LEG de la UCA y referencia de este artículo.

II. METODOLOGÍA

Durante la investigación se llevaron a cabo cada una de las etapas que se presentan en los siguientes ítems.

A. Cálculo de la demanda y predicción de la capacidad de las paredes.

Para el cálculo de las cargas que soportarán las paredes de mampostería que se ensayaron en el proyecto se consideró una vivienda de dos plantas, estructurada con paredes de bloque de concreto con refuerzo interior y con características geométricas similares a las viviendas que se construyen en nuestro medio por las empresas nacionales. Se consideró también el peso promedio de los materiales más utilizados en el medio tanto para calcular las cargas de gravedad y cargas debido a sismos que soportaría la pared. Para el cálculo de las cargas sísmicas se consideró un valor de coeficiente sísmico de 0.24. Los resultados obtenidos en esta fase y para la pared más crítica se muestran en la tabla I.

TABLA I. DEMANDA SOBRE PARED

Pared más crítica	V_{TOTAL} (ton)	M_v (ton-m)
	8.27	23.12

Para la predicción de la resistencia y rigidez de las paredes ensayadas, se realizó una investigación bibliográfica de las

distintas metodologías que se han utilizado en el área académica para predicción de la resistencia a cortante de paredes de mampostería de bloque de concreto. Entre ellas podemos mencionar: la Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador (M.O.P. 1997) [3], el Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures ACI350-11 de Estados Unidos (Committee 2011) [4], las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de México (Federal 2006) [5], Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Ministerio de Ambiente 1997) [6], la ecuación empírica de Shing et al. (Shing et al. 1990) [7], y la ecuación de Anderson y Priestley (Anderson and Priestley 1992) [8]. A diferencia del resto de códigos que se utilizaron, la Norma de El Salvador utiliza el método de esfuerzos permisibles. La capacidad a cortante de la pared para fuerzas sísmicas elevadas, se calcula únicamente con la contribución del acero.

En la tabla II se presenta la capacidad a cortante de la pared, la cual se ha dividido en tres contribuciones, V_m es la contribución de la mampostería, V_{σ_o} es la contribución de la fuerza axial y V_s es la contribución del acero de refuerzo a corte. Se muestra el porcentaje de diferencia entre los cálculos de ambas paredes considerando la pared con acero en bloque solera como la referencia. Los valores negativos indican que el valor de la resistencia considerando 2 varillas $\frac{1}{4}$ " de diámetro (2#2) es menor que la obtenida si se utiliza 1 varilla de $\frac{3}{8}$ " de diámetro (1#3).

TABLA II. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PARED

ECUACIÓN	V_m [ton]		V_s [ton]			V_n [ton]		
	1#3	1#3	1#3	2#2	Dif. (%)	1#3	2#2	Dif. (%)
RESESCO	0	0	5.29	4.62	-12.70%	5.29	4.62	-12.70%
ACI 530-11	16.53	1.15	4.35	3.43	-21.10%	22.04	21.11	-4.20%
Norma México	1.76	1.15	6.83	5.42	-20.60%	26.26	24.85	-5.40%
Norma Colombiana	18.05	1.38	6.05	2.4	-60.30%	24.86	21.21	-14.70%
Shing et. al (1990)	16.53	1.15	8.03	6.33	-21.10%	24.5	22.8	-6.90%
Anderson and Priestley (1992)	16.15	0.31	4.02	3.17	-21.10%	6.93	6.08	-12.30%

Para el cálculo de la rigidez de pared se consideró la teoría clásica de Resistencia de Materiales. Debido a que con el sistema de aplicación de carga del LEG no se puede garantizar que la pared deforme exclusivamente a corte, se tomaron en cuenta ambas deformaciones, la de flexión y la de corte. Considerando que la rigidez es el inverso de la deformación y que la carga que se aplicará es horizontal, la rigidez de la pared se calculó empleando la ecuación (1).

$$k_{\text{pared}} = \frac{1}{\Delta_{\text{flexión}} + \Delta_{\text{corte}}} \quad (1)$$

(Tomažević 1999) [9] muestra la ecuación que puede utilizarse para el cálculo de la rigidez. En ella el factor α' es utilizado para definir la posición del punto de inflexión causado por el momento flector a lo largo de la altura de la pared. Así, se emplea un valor de 0.83 si la pared está empotrada y 3.33 si la pared está en voladizo. Esta expresión (2) considera un coeficiente de cortante de 1.2 correspondiente a secciones

transversales rectangulares.

$$k_{\text{pared}} = \frac{GA_w}{1.2h \left[1 + \alpha' \frac{G}{E} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

De acuerdo a la expresión anterior el cálculo de la rigidez de las paredes es de 21,270 ton/m.

B. Ensayo a materiales

Se realizó pruebas de control de calidad a los materiales utilizados en la construcción de las paredes que se ensayaron, esto con el fin de conocer las propiedades mecánicas de los mismos.

A los bloques de concreto se les realizó pruebas a compresión y absorción conforme a la ASTM C140-14 [10], especificación ASTM C90-14 [11], obteniendo resultados satisfactorios a dichos requerimientos.

El acero fue ensayado a tensión, mediante muestras de barras utilizadas en el reforzamiento de las paredes construidas. Por cada diámetro de barras se tomaron 3 muestras y se ensayaron según conforme a norma ASTM A615-13 [12], cumpliéndose los requisitos de calidad que establece dicha norma.

La calidad del concreto se verificó tomando muestras, de 3 cilindros de concreto cada una, a diferentes revolturas realizadas durante la construcción de las paredes. Se tomaron y ensayaron 15 muestras (45 cilindros en total). Estos ensayos fueron según estipulaciones de ASTM C39-12 [13], cumpliendo la totalidad de las muestras los requerimientos de dicha norma y la resistencia de diseño de las paredes, la cual fue

especificada en 210 kg/cm². También por cada revoltura de concreto realizada, fue realizada la prueba de revenimiento para satisfacer la fluidez del mismo.

El mortero utilizado para la mampostería también fue sometido a ensayos de fluidez y resistencia. Por cada revoltura de mortero se realizó la prueba de fluidez para garantizar la trabajabilidad y a cada cierta cantidad de revolturas se tomaron muestras de cubos de morteros (3 cubos por muestra) para ser ensayados a compresión. El ensayo de los cubos de mortero se realizó de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM C780-14 [14], cumpliendo los requisitos de la ASTM C270-14 [15], el valor de resistencia mínimo establecido en la investigación fue el mínimo requerido por las normativas nacionales, con un valor de 75 kg/cm². En total se ensayaron 27 muestras (81 cubos) de mortero, todas cumplieron los requisitos de las normas ASTM correspondientes y el mínimo establecido en la investigación.

El Grout (material de relleno de las celdas de los bloques con refuerzo) también fue sometido a ensayos para verificar la resistencia a compresión del mismo. De este material también se tomaron muestras de 3 unidades cada una, en total se tomaron y ensayaron 20 muestras (60 unidades), todas alcanzaron resistencias mayores a la mínima establecida por las normativas nacionales (125 kg/cm²), el cual también fue el mínimo establecido por esta investigación.

C. Ensayos a Prismas

Durante la construcción de cada una de las paredes, específicamente durante el pegado de la mampostería, también

se construyeron pequeños especímenes a base de bloques de concreto y mortero, conocidos como prismas, estos se realizaron con el objetivo de conocer las propiedades del conjunto y controlar así la calidad de la mampostería como unión entre los materiales mencionados. Los prismas se construyeron en tres formas diferentes para conocer propiedades como el esfuerzo a compresión simple, esfuerzo a cortante por medio de la compresión diagonal y por último, la adherencia que desarrolla el pegado por medio del mortero, estos se ilustran en la Fig. 2.

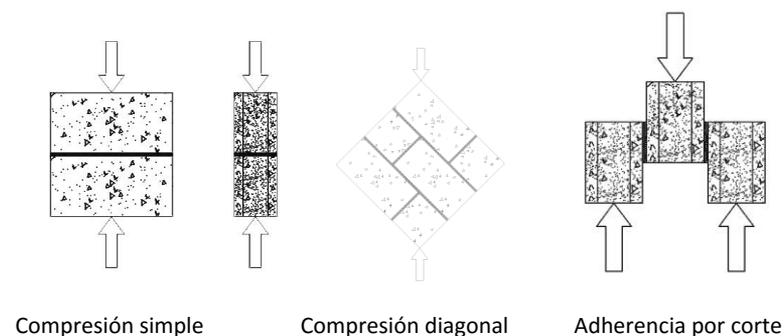


Fig. 2 Geometría y disposición de cargas de prismas ensayados.

En la tabla III se muestran los resultados de resistencias obtenidas en los ensayos.

TABLA III. RESULTADOS DE ENSAYOS DE PRISMAS BAJO DIFERENTES TIPOS DE CARGA.

Prismas de Pared	Compresión simple (kg/cm ²)	Compresión Diagonal (kg/cm ²)	Adherencia por corte (kg/cm ²)
BS1	165.2	12.2	4.5
BS2	143.3	10.8	5.1
BSC1	153.7	8.1	4.8
BSC2	150.9	8.0	2.9
BSL1	150.5	8.1	3.8
BSL2	143.9	5.8	3.3
Promedio	151.3	8.8	4.1
C. V. (%)	5.3	25.8	21.4

Los valores de resistencia a compresión simples de la tabla anterior fueron calculados con base al área neta de los bloques, mientras que los valores de compresión diagonal y adherencia fueron calculados considerando el área bruta.

D. Construcción y ensayos a Paredes.

En la investigación se construyeron y ensayaron 6 paredes a escala real, en cada una se mantuvo constante la cuantía de refuerzo horizontal y el único parámetro que se varió fue la forma de colocación del acero de refuerzo horizontal. Los modelos ensayados fueron: a) Dos paredes con el refuerzo horizontal colocado en bloque solera (modelos BS1 y BS2). b) Dos paredes con refuerzo horizontal colocado en las sisas y embebido en toda su longitud en el mortero (modelos BSL1 y BSL2). En este caso el acero se colocó en la cara de los bloques. y c) Dos paredes con refuerzo horizontal colocado en las sisas y junto al refuerzo vertical (modelos BSC1 y BSC2). Con esta disposición el refuerzo quedó embebido sólo en las zonas en que las celdas estarán llenas con concreto. Esto se hizo de

acuerdo a la recomendación de la [2], ver Fig. 3.

Los modelos de paredes se construyeron de 2600 mm de largo y 2600 mm de alto, utilizando bloque de concreto de 150 mm de espesor y sin ningún hueco de puertas o ventanas. Cada modelo se cimentó en una solera de fundación con sección transversal de 350 mm de ancho y 250 mm de alto, reforzada con 4 varillas # 3 en la dirección longitudinal y con estribos #2 a cada 150 mm. La solera de fundación se ancló a las vigas de cimentación disponibles en el LEG. El acero de refuerzo vertical fue calculado y diseñado, de manera que se procure una falla debida al refuerzo horizontal, debido a que se buscaba estudiar la influencia de la forma de colocar el acero horizontal en el comportamiento de las paredes.

En la parte superior de cada modelo se construyó una viga y una losa de concreto reforzado, la cual se utilizó para unir dos paredes del mismo tipo que se ensayaron en paralelo y para procurar un comportamiento de las paredes similar al observado en viviendas de dos niveles con diafragma rígido. La losa también sirvió para garantizar una buena conexión entre la pared y el sistema de carga. Todo el acero de refuerzo utilizado en los modelos tenía un esfuerzo nominal de fluencia de 2,800 kg/cm² (Grado 40). Los detalles geométricos de los especímenes se presentan en la Fig. 4.

Durante el ensayo de las paredes se aplicaron cargas verticales constantes que simulaban las cargas de gravedad provenientes de un segundo piso, también cargas horizontales crecientes, cíclicas y reversibles que simulaban la demanda que un sismo le provocaría a dichas paredes. En la Fig. 5 se muestra

el marco de carga utilizado y en la Fig. 6 la Historia de carga y distorsión que se planificaron para los ensayos.

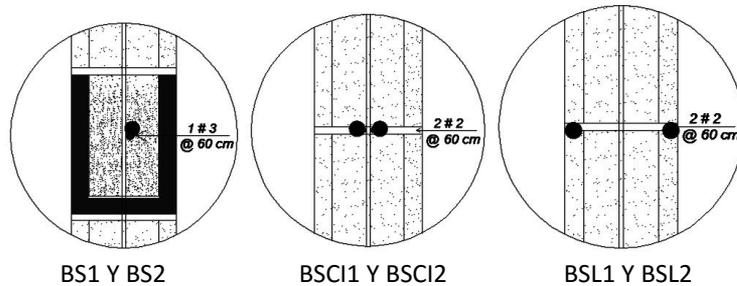
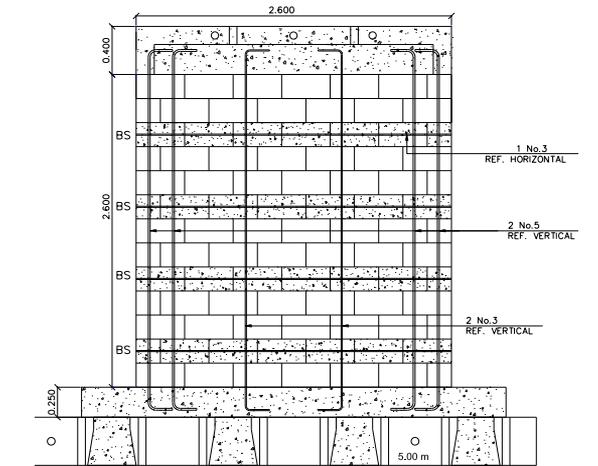
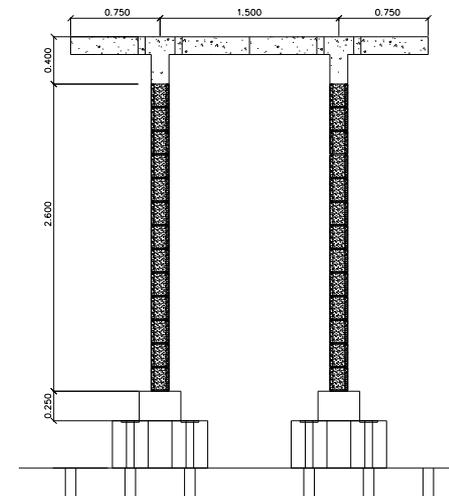


Fig. 3 Disposición de acero de refuerzo horizontal de las paredes ensayadas.

A cada pared se dotó de 63 medidores para lograr medir las deformaciones tanto internas como externas ante la aplicación de cargas. Para medir la elongación o acortamientos de las varillas de acero del refuerzo de las paredes, se instalaron en ellas medidores de deformación en 32 puntos donde se predijo máximos esfuerzos. Lo anterior se realizó tanto en varillas de refuerzo vertical como horizontal. Para medir las deformaciones externas de las paredes bajo carga, se instalaron medidores de desplazamiento o transductores en 31 puntos donde se predijo deformaciones considerables e importantes. Con estos últimos transductores se midieron desplazamientos horizontales, verticales y diagonales.



Geometría lateral y distribución de acero en paredes



Vista frontal de dos paredes con losa ensayadas.

Fig. 4 Geometría y colocación de acero en paredes ensayadas.

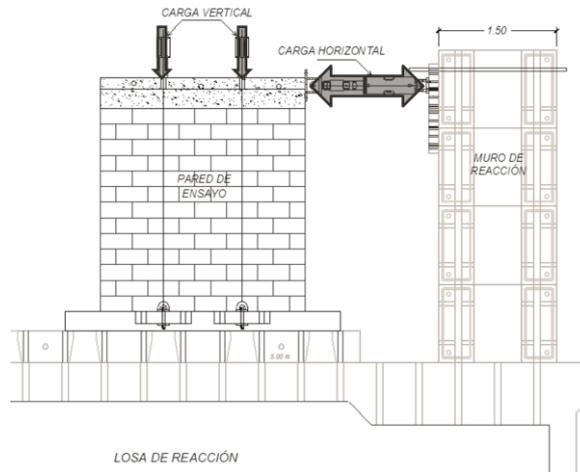


Fig. 5 Marco de carga, vista lateral de montaje de conjunto sobre losa de cimentación.

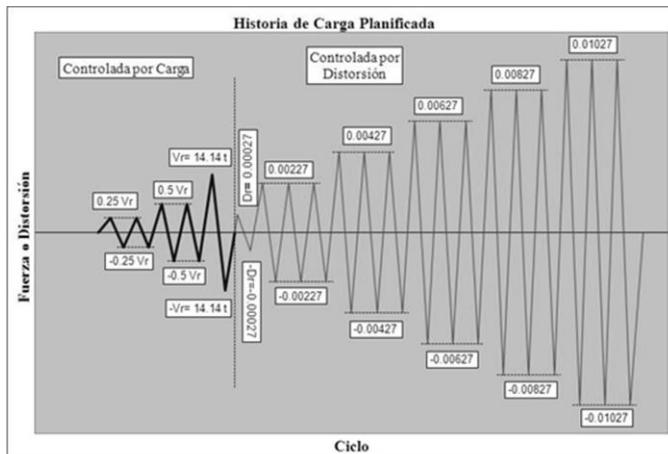


Fig. 6 Historia de carga planificada para los ensayos.

A cada pared se dotó de 63 medidores para lograr medir las deformaciones tanto internas como externas ante la aplicación de cargas. Para medir la elongación o acortamientos de las varillas de acero del refuerzo de las paredes, se instalaron en ellas medidores de deformación en 32 puntos donde se predijo máximos esfuerzos. Lo anterior se realizó tanto en varillas de refuerzo vertical como horizontal. Para medir las deformaciones externas de las paredes bajo carga, se instalaron medidores de desplazamiento o transductores en 31 puntos donde se predijo deformaciones considerables e importantes. Con estos últimos transductores se midieron desplazamientos horizontales, verticales y diagonales.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados que se muestran a continuación se basan en la combinación de las observaciones realizadas durante el ensayo, en los gráficos de curvas histeréticas y curvas de envolventes. Las curvas histeréticas y las envolventes se muestran en términos del esfuerzo contra distorsión.

Se han considerado los siguientes puntos para realizar el análisis: primer agrietamiento de las paredes, primer agrietamiento a cortante de las paredes, primera fluencia del acero a flexión, carga última y carga de falla.

A. Historia real de desplazamiento lateral aplicada a paredes durante ensayos

En las fig. 7 se presentan las historias de carga aplicada y la historia de distorsión medida durante los ensayos en los diferentes modelos. Para los modelos BS se observa que la máxima distorsión en la pared BS1 es de 0.80% mientras que en

la BS2 es de 0.40% (sin incluir el último ciclo de carga-descarga). Hasta el ciclo 8 la diferencia en las distorsiones se mantenía en aproximadamente 5%. A partir del ciclo 9 la diferencia incrementa hasta llegar a valores de 50% en los últimos ciclos. Esto se debió a la presencia de una grieta en la solera de fundación producida por las fuerzas de tensión generadas en el acero de refuerzo de flexión. Para los modelos BSC se observa que la máxima distorsión en la pared BSC1 es de 1.00% mientras que en la BSC2 es de 0.80%. Hasta el ciclo 10 la diferencia en las distorsiones se mantenía en aproximadamente 5%. A partir del ciclo 14 la diferencia incrementa hasta llegar a valores del 25%. Al igual que en los modelos BS, la presencia de una grieta en la solera de fundación provoca tal diferencia. Del ensayo de los modelos BSL, se observa que la máxima distorsión en la pared BSL1 es de 0.36% mientras que en la BSL2 es de 0.80%. Las distorsiones se mantuvieron similares hasta el ciclo -7, cuando la diferencia creció hasta el 22%, posteriormente, en el ciclo +8 dicha diferencia se incrementó hasta el 80% justo al momento de la falla de la pared BSL2. Cabe mencionar que este ensayo tuvo que detenerse debido a la falla prematura a corte que presentó esta pared.

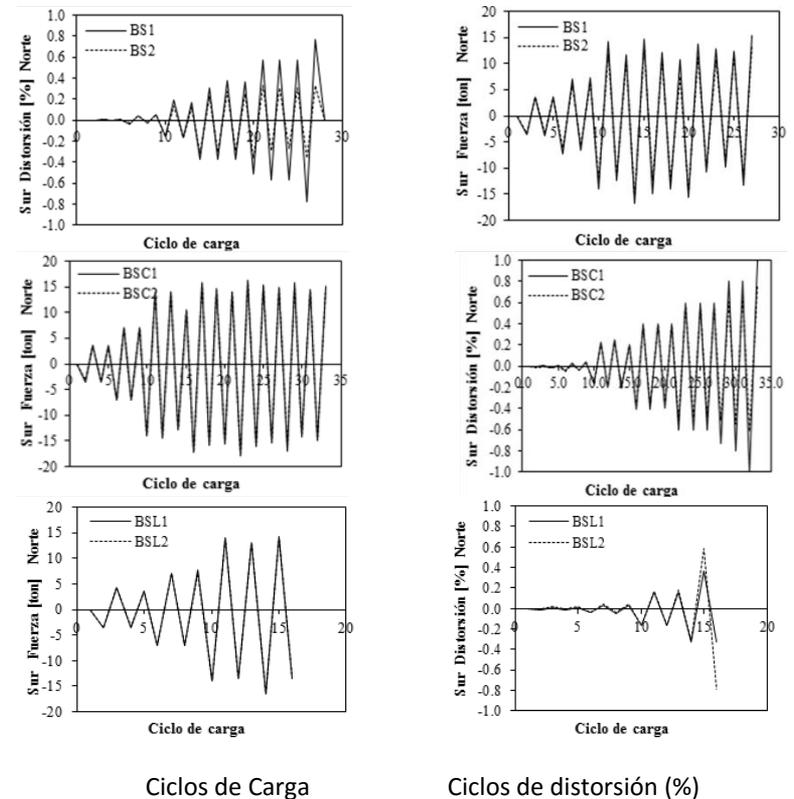


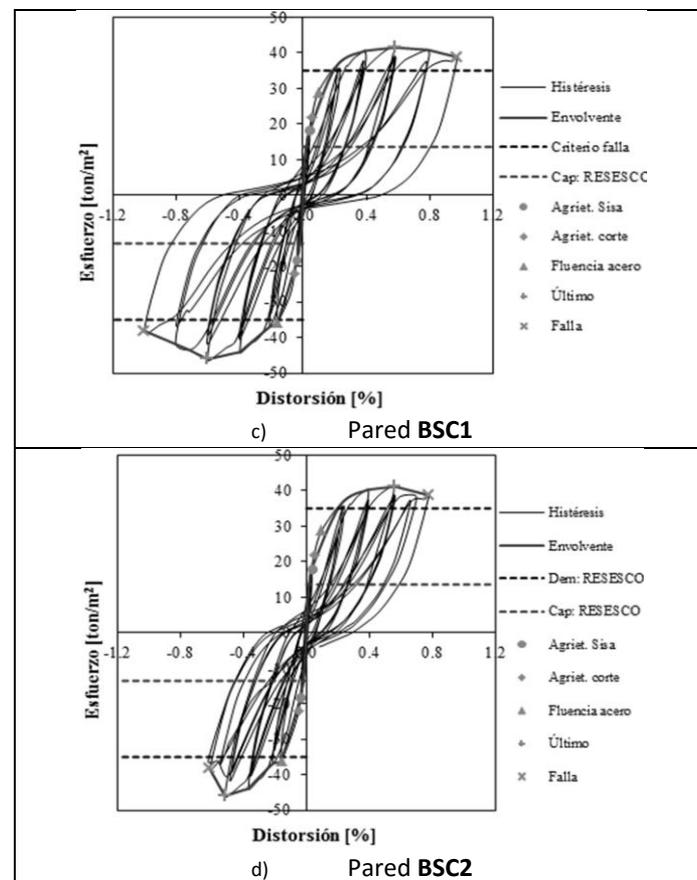
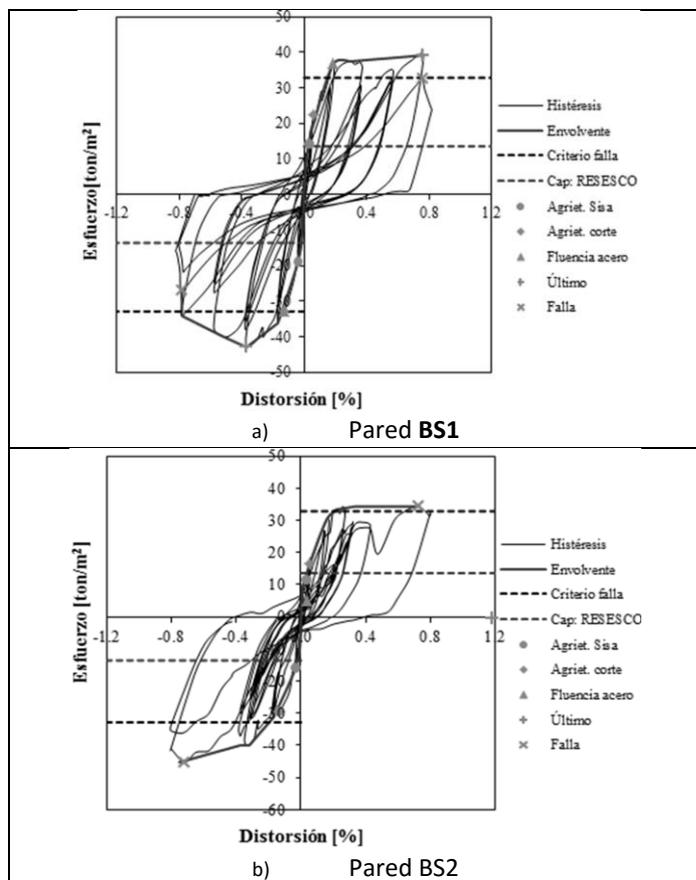
Fig. 7 Historia real de desplazamiento lateral aplicada a paredes durante ensayos.

B. Comportamiento Histerético.

Las Figs. 8 ilustran el comportamiento de esfuerzo-distorsión obtenido de las paredes durante los ensayos. Las gráficas muestran la curva de histéresis, la curva envolvente, la capacidad a cortante de la pared obtenida empleando el [3], el criterio de falla considerado (80% de la capacidad última observada), y los siguientes puntos importantes, a saber:

primer agrietamiento, primer agrietamiento a cortante, primera fluencia en el acero a flexión, esfuerzo último y esfuerzo de falla obtenido. La curva histerética se presenta en función del esfuerzo a cortante en la pared calculada empleando el área neta contra la distorsión que sufrió la pared, con el objetivo de desligar los resultados de la geometría de la pared. Se pueden observar los ciclos de carga y los ciclos de repetición que se realizaron. Como se esperaba, la carga de los ciclos de repetición son menores que la carga del ciclo inicial. Para los modelos BS, durante el proceso de descarga del último ciclo de carga-descarga realizado, no se tuvo control total de la carga y se tomaron únicamente dos puntos, razón por la cual el ciclo se observa “dentado” o “quebrado”. Para la elaboración de la envolvente, no se han considerado los ciclos de repetición. Como puede observarse, la curva histerética de la pared BS2 está “comprimida” en relación a la de la pared BS1, tal como se mencionó anteriormente, se produjeron unas grietas en los extremos de la solera de fundación de la pared BS2, formando unos conos de extracción y causados por la fuerza de tensión del acero de refuerzo a flexión. Se observó que la deformación lateral de la pared (y por tanto su distorsión) empezó a disminuir o a “comprimirse” con relación a la pared BS1 justo después de que dicho daño apareció en la solera de fundación. Al mismo tiempo, los desplazamientos perpendiculares al plano de la pared empezaron a incrementarse considerablemente. Lo anterior hace pensar que dicho desplazamiento perpendicular impidió que la pared BS2 se deformara de igual forma que la pared BS1. Este mismo comportamiento se observa con las paredes BSC, y de igual manera, la BSC2 presenta el mismo comportamiento que la BS2.

Con respecto a los modelos BSL, se puede observar que la pared BSL2 falló a cortante de forma prematura sin muchos ciclos de carga-descarga, mientras que BSL1 permaneció sin mayor daño. En la Fig. 9 se aprecia en la parte inferior la formación del puntal de compresión (óvalo rojo) y en la parte superior una grieta de dimensiones considerables (óvalo azul). Durante el ensayo pudo observarse que en el ciclo 3 de carga se abren grietas en la ubicación de las dos primeras varillas de refuerzo (de abajo hacia arriba), es de notar que en el ciclo -3, alrededor del 77% de dicha sisa se ha agrietado. En el ciclo 4 no presenta cambios en el patrón de agrietamiento por ser un ciclo de repetición. En el ciclo 5 se abren las primeras grietas a cortante en ambos sentidos, mientras que todas las sisas con refuerzo se han agrietado. Las sisas #1 y #2 con refuerzo horizontal, de abajo hacia arriba, se agrietan al 100% y la sisa #3 con refuerzo se agrieta un 23% aproximadamente. Durante el ciclo 6, se observan pequeños cambios en el patrón de agrietamiento por ser ciclo de repetición. Finalmente en el ciclo +8, la grieta a corte se abre considerablemente (grieta de 3.3 cm de ancho) provocando que se detenga el ensayo para evitar el colapso del espécimen.



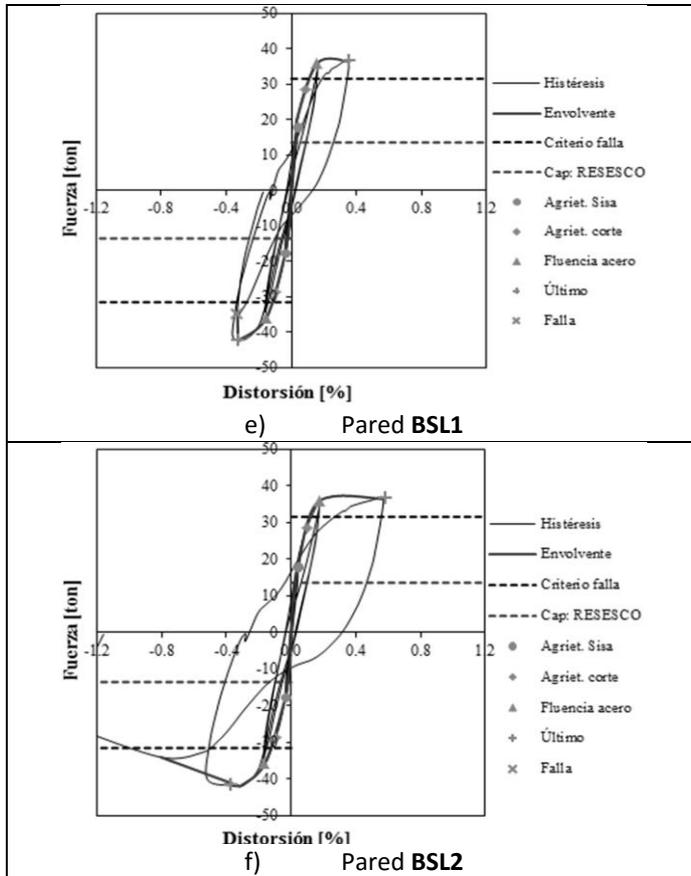


Fig. 8 Curvas de comportamiento histerético obtenidas durante ensayos de paredes.

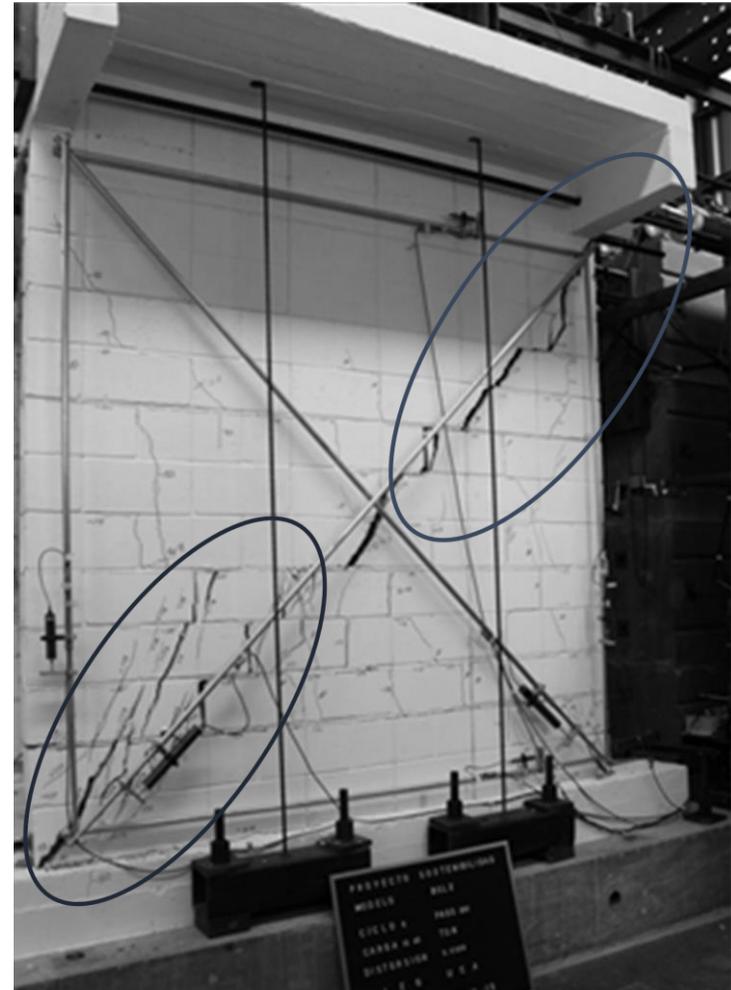


Fig. 9 Daños en pared BSL2.

De lo anterior se deduce que la pared no posee mucha ductilidad, debido a que falló de forma repentina sin muchos ciclos de carga-descarga, además que las sisas se agrietaron completamente a bajas distorsiones. Lo anterior hace suponer que el refuerzo horizontal (diámetro de 6.0 mm) colocado en una sisa de 10 mm de ancho, lo cual deja solamente 2 mm para el recubrimiento, impide que se genere la adherencia suficiente para que la varilla desarrolle toda su capacidad. Adicionalmente, es de recordar que la varilla de 6.0 mm utilizada en el medio es lisa, por lo que no posee las corrugas necesarias para adherirla al concreto y darle más oportunidad de desarrollar su capacidad.

IV. CONCLUSIONES

Los materiales utilizados en la construcción de las paredes ensayadas cumplieron con los requisitos mínimos de resistencia establecidos tanto por normativas como en el protocolo de la investigación.

Los prismas de control de calidad del proceso constructivo de las paredes obtuvieron valores de resistencia mayores a los recomendados tanto por las normativas nacionales como por los requisitos especificados en el protocolo de ensayo de esta investigación.

De los ensayos de las paredes se determinó que independientemente de la forma de colocación del refuerzo horizontal, la capacidad de carga del sistema de mampostería de bloques de concreto reforzada con celdas parcialmente llenas es la misma. Lo anterior se debió a que se utilizó el

mismo tipo de materiales (con resistencias similares) y una geometría similar.

Si se comparan resultados de los modelos con refuerzo en sisa (BSC y BSL), la forma de colocación del acero de refuerzo horizontal tuvo una gran influencia en la capacidad de deformación del sistema, reduciendo drásticamente su ductilidad. Esta característica es necesaria en los sistemas estructurales de edificaciones en zonas sísmicas porque les permite mantener su resistencia bajo numerosos ciclos de carga impuestos por los terremotos. Colocar el refuerzo en la sisa de la cara del bloque (modelo BSL) provocó que la falla de la pared fuera frágil. Se considera que lo anterior se debe a que el acero (diámetro de 6.00 mm) es liso y además no tiene suficiente recubrimiento lo que impide que la varilla desarrolle toda su capacidad de resistencia y deformación por falta de adherencia. A bajas cargas y distorsiones se produce una grieta horizontal a lo largo de toda la sisa.

Se recomienda continuar con el programa de ensayos de paredes de mampostería con celdas parcialmente llenas con diferentes esquemas de colocación del refuerzo horizontal, (incluyendo paredes con refuerzo en bloque solera) bajo cargas horizontales y verticales, haciendo énfasis en la colocación del acero de refuerzo horizontal en sisas y en los laterales para corroborar si el comportamiento encontrado en esta investigación es consistente.

V. NOMENCLATURA

ASTM: American Society for Testing Materials.

LEG: Laboratorio de Estructuras Grandes.

RESESCO: Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador

VI. REFERENCIAS

- [1] M.O.P. (1997). "Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador." *Norma Especial de Diseño y Construcción de Viviendas*. San Salvador, El Salvador.
- [2] Desconocido (2004). Propuesta de "Norma Especial para Diseño y Construcción de Viviendas." San Salvador, El Salvador.
- [3] M.O.P. (1997). "Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador." Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería. San Salvador, El Salvador.
- [4] Committee, M. S. J. (2011). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures: Containing Building Code Requirements for Masonry Structures (TMS 402-11/ACI 530-11/ASCE 5-11) ; Specification for Masonry Structures (TMS 602-11/ACI 530.1-11/ASCE 6-11) and Companion Commentaries, Masonry Society.
- [5] Federal, G. d. D. (2006). "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal." Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. , México D.F., México.
- [6] Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (1997). "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente." Título E - Casas de uno y dos niveles. Bogotá, Colombia.
- [7] Shing, P., Schuller, M., and Hoskere, V. (1990). "In Plane Resistance of Reinforced Masonry Shear Walls." *Journal of Structural Engineering*, 116(3), 619-640.
- [8] Anderson, D. L., and Priestley, M. J. N. (1992). "In plane shear strength of masonry walls." 6th Canadian Masonry Symp.Saskatchewan, Sask., Canada, 223–234.
- [9] Tomaževič, M. (1999). *Earthquake-resistant Design of Masonry Buildings*, Imperial College Press.
- [10] ASTM C 140-14. Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units.
- [11] ASTM C 90-14. Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units
- [12] ASTM A615-13. Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- [13] ASTM C39-12. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [14] ASTM C780-14. Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry.
- [15] ASTM C270-14. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.