



Evaluación del parcheo estructural en sistemas de bloque de concreto con refuerzo integral mediante pruebas de compresión diagonal.

Salazar, C., Valencia, J., Vigil, J., Ramos, J.

Departamento de Mecánica Estructural, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"

jramos@uca.edu.sv

Abstract—La investigación tiene como objetivo estudiar el proceso de aplicación del método de reparación y evaluar experimentalmente la recuperación de la resistencia de la mampostería de bloque de concreto dañada por sismos. Para obtener una primera aproximación de la recuperación de la resistencia y comportamiento del método se ensayaron prismas a compresión diagonal, los cuales fueron reparados utilizando la técnica de parcheo estructural y posteriormente ensayados bajo las mismas condiciones de carga. En los resultados se observa que la recuperación de resistencia a la compresión diagonal varió en un rango entre 72% y 104% de la resistencia original. Además se observa que el módulo de rigidez posterior a la reparación presenta una tendencia a aumentar. Al comparar los modos de falla de los prismas originales contra los prismas reparados es posible apreciar una nueva distribución del patrón de agrietamiento posterior a la reparación.

Palabras claves—*Parcheo estructural, Rehabilitación estructural, Reparación, Bloque de concreto.*

I. INTRODUCCIÓN.

El Salvador, ubicado frente a la zona de subducción de las placas de Cocos y del Caribe, es un país con alta actividad sísmica. Los pasados terremotos han ocasionado cuantiosos daños en viviendas, evidenciando la vulnerabilidad de los tipos de construcción local. Por otro lado, el sistema estructural de bloque de concreto con refuerzo interior es el más ampliamente utilizado a nivel nacional [1] Este sistema constructivo es compuesto por bloques de concreto de baja resistencia, de geometría nominal de 0.2 m de alto, 0.4 m de largo y un espesor que varía entre 0.1 m, 0.15 m y 0.20 m. Las unidades de mampostería son unidas con mortero hidráulico. El refuerzo de la mampostería consiste en la inclusión de acero a lo largo de celdas verticales y horizontalmente a lo largo de las sisas o en bloques soleras. Las celdas y los bloques soleras son

llenados con concreto fluido para garantizar que tanto la mampostería como el acero de refuerzo trabajen en conjunto. En El Salvador, debido a las particularidades de las viviendas, solamente las celdas con acero de refuerzo son llenadas, es decir que suele dejarse vacías muchas de las celdas verticales. Este hecho condiciona los métodos de reparación aplicables y es la razón que justifica el presente estudio.

Existen diversas metodologías de reparación según el tipo de mampostería, sin embargo se delimitó la investigación a aquellos métodos compatibles con mampostería de bloque de concreto. En un inicio se evaluó la factibilidad de diferentes procedimientos y materiales de reparación para daños por sismos, posteriormente se seleccionó en base a una matriz de factibilidad técnica y económica un método para ser investigado. El método seleccionado se conoce como parcheo estructural, éste método mostró ajustarse al hecho que en las viviendas, las paredes de bloque poseen celdas vacías. En métodos tales como inyecciones de epóxicos, la existencia de las celdas da como resultado el desperdicio excesivo de material de reparación, volviendo extremadamente caro la aplicación de este tipo de reparación [2].

Las reparaciones con parcheo estructural tienen por objetivo retirar las partes dañadas de una pared y sustituirlas con un material que permita cambiar el modo de falla de una estructura. El procedimiento consiste en rellenar las grietas con un mortero expansivo, o un mortero epóxico. Se procede a realizar un picado a lo largo de toda la grieta, en forma de "V".

El material de relleno debe de ser capaz de controlar la contracción. Se realiza una limpieza de la zona a rellenar para retirar cualquier material que impida la adherencia adecuada del mortero de relleno. Antes de colocar cualquier producto es necesario saturar el área a reparar, con el fin de que no pierda agua el mortero de relleno y pueda sufrir agrietamientos. Se procede a realizar el llenado de la grieta, de manera uniforme y garantizando que no queden espacios vacíos dentro de la misma. Es importante realizar un curado adecuado. Cabe destacar que para que este método funcione adecuadamente, se debe de garantizar que la adherencia entre el elemento y el material de relleno sea tal que permita desarrollar al completo la resistencia. Es por esto que en algunos casos se adiciona un puente de adherencia de base epóxica. En la Fig. 1 se muestra la zona de picado que se realiza y el corte en "V" que se debe de realizar para el relleno.

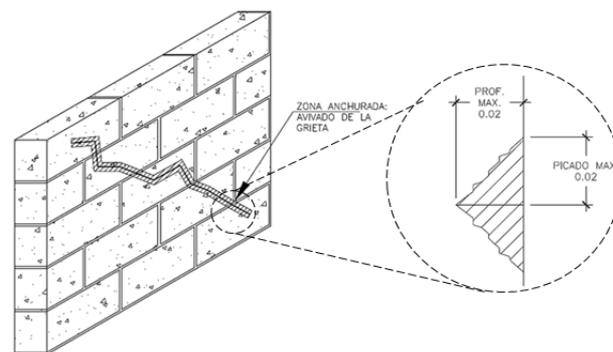


Fig. 1 Esquema de reparación con parcheo estructural.

II. METODOLOGÍA Y MATERIALES.

A. *Materiales para la elaboración de prismas.*

Los bloques utilizados en la investigación, son bloques de concreto huecos, de 14 centímetros de espesor. Además, se emplearon bloques mitad (o dados) de similares características. El esfuerzo máximo promedio de las unidades fue de 100.63 kg/cm² en el área neta, mientras que en el área bruta fue de 61.25 kg/cm². El peso promedio de las unidades fue de 10.75 kg. El área neta promedio fue de 332.84 cm² y en el área bruta fue de 547.77 cm².

El cemento utilizado para la pega de bloques durante la fabricación de todos los prismas fue cemento para albañilería elaborado bajo la norma ASTM C 91 “Especificación estándar para cemento de albañilería”. La arena utilizada para la fabricación del mortero es extraída del río Las Cañas.

B. *Materiales empleados para la reparación de prismas.*

El mortero de reparación utilizado fue de contracción controlada, con el fin de garantizar el llenado completo de la grieta. Se utilizó en las pruebas el mortero distribuido bajo el nombre Sika-Monotop® - 412 SM, fabricado por la empresa SIKA®, el cual es un material que está basado en cemento hidráulico, áridos seleccionados, aditivos fluidificantes y de control de contracción, reforzado con fibras de polipropileno. El fabricante de este material establece que el mismo posee una resistencia a la compresión de 550 kg/cm², una resistencia a la tracción de 82 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 305,800 kg/cm². El material adhesivo, cuya función es la de asegurar la

adherencia efectiva entre el mortero de reparación y la mampostería existente, es Sikadur®- 32, fabricado por la empresa SIKA®. Así mismo el fabricante establece que el material posee una resistencia a la compresión de 740 kg/cm² y una adherencia a la tracción mayor a 30 kg/cm².

C. *Metodología de ensayo y reparación.*

La efectividad del método de reparación se valoró a través de la comparación de las propiedades mecánicas de prismas antes y después de aplicar el método de reparación. Los prismas de mampostería son probetas de dimensiones nominales de 60 x 60 cm, siendo ensayados a compresión diagonal de acuerdo a la normativa NMX-C-416-2002 “Norma técnica para la determinación de la resistencia a compresión diagonal y de la rigidez a cortante de prismas de mampostería de barro y de concreto”. Esta norma permite conocer la resistencia a compresión diagonal y rigidez a cortante de prismas de mampostería.

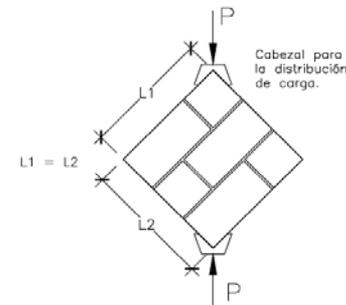


Fig. 2 Esquematación del ensayo de compresión diagonal en prismas de 60 x 60 cm.

La prueba consiste en someter al menos 6 prismas a una carga de compresión aplicada a lo largo de una de sus diagonales. Esta carga de compresión genera esfuerzos de tensión orientados perpendicularmente a la carga de compresión. Estos esfuerzos son los responsables de causar la falla del prisma; la falla se produce aproximadamente a lo largo de la diagonal donde se aplica la carga de compresión. En la Fig. 2 se muestra la forma de aplicación de la carga sobre el prisma [3].

Para evaluar el módulo de cortante, antes del ensayo de los prismas se miden las longitudes de calibración del espécimen. Estas longitudes coinciden con la medida de la separación entre los apoyos del dispositivo utilizado para medir el acortamiento y alargamiento de las diagonales. Para medir las deformaciones, se usaron transductores de desplazamiento que se colocaron sobre las diagonales.

Durante el ensayo se debe asegurar que la aplicación de carga sea uniforme sobre los puntos de contacto, por lo que se refrenan las esquinas que fueron comprimidas con una capa de azufre de espesor máximo de 5 mm.

Una vez ensayados los prismas, estos fueron reparados avivando las grietas generadas en las fisuras, de tal forma de generar un corte en forma de "V" en la mampostería. En los casos en que los prismas sufrieron desprendimientos notables se buscó la manera de reconstruirlos.

Las grietas avivadas fueron limpiadas y saturadas con agua. Luego se aplicó el material adhesivo, como se muestra en la Fig.

3, para cumplir la función de puente de adherencia. Se aplicó posteriormente el mortero de reparación hasta cubrir y llenar las grietas existentes, como se muestra en la Fig.4.



Fig. 3 Fotografía de aplicación de puente de adherencia.



Fig. 4 Fotografía de aplicación de mortero de reparación.



Fig. 5 Prisma de compresión diagonal reparado.

Luego de transcurridas 4 horas de haber reparado las grietas se realizó el curado del mortero de reparación. El curado se realizó rociando agua sobre todas las superficies de mortero de reparación y rodeando las zonas de avivado.

Para ensayar el prisma reparado se acordó que el material de reparación debía desarrollar al menos el 90% de su resistencia máxima, a fin de obtener resultados representativos de la interacción que existe entre la mampostería y el material de reparación. Por lo tanto se esperó durante un periodo de 14 días para poder garantizar la condición del 90% de la resistencia máxima. Una fotografía del prisma completamente reparado se muestra en la Fig. 5.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

De los 8 prismas ensayados únicamente fue posible reparar 5 debido a fallas con una distribución de agrietamiento que cubría de forma generalizada casi toda el área frontal del

prisma. En la Tabla I se muestran los resultados de la resistencia a la compresión diagonal y el porcentaje de recuperación de la misma. Se puede apreciar que el rango de recuperación de resistencia a compresión diagonal varió desde el 72%, hasta el 104% de la resistencia máxima registrada.

TABLA I
RESULTADOS OBTENIDOS DE LA REPARACIONES DE PRISMAS.

Prisma	Resistencia original a la compresión diagonal (kg/cm ²)	Resistencia reparada a la compresión diagonal (kg/cm ²)	% De recuperación
A2	5.89	-	-
A3	7.19	5.75	79.98%
B1	8.46	6.13	72.44%
B2	6.43	-	-
B3	7.46	6.91	92.63%
C1	6.81	-	-
C2	6.24	6.49	104.01%
C3	8.58	6.36	74.17%
PROMEDIO	7.13	6.33	84.65%

Fuente: Elaboración Propia

En la Fig. 6 se presentan los esquemas de falla de los prismas, comparados con su falla original antes de la reparación. Se procede a realizar una comparación cualitativa de las fallas que presentaron los prismas originales, y las fallas que presentaron después de ser reparados.



En los prismas originales A3 y C2, se presentó una falla de adherencia en las sisas horizontales, llegando a incluso a desprenderse totalmente las unidades de mampostería. A estos prismas se les realizó una reconstrucción de la sisa, aplicando el puente de adherencia y el material de reparación seleccionado. Posterior al ensayo se observó que estas sisas no volvieron a presentar problemas de adherencia. Cabe destacar que los prismas que originalmente no presentaron problemas en sus sisas, posterior a la reparación, presentaron fallas por adherencia en las sisas originales, como en los prismas B1 y B3.

Además de las fallas por adherencia que presentaron los prismas, todos los prismas sufrieron de fallas por corte en la diagonal. Antes de la reparación, las fallas generaron una sola grieta de gran tamaño, acompañados de alguna grieta de menor tamaño. Posterior a la reparación los prismas presentaron una grieta diagonal principal, acompañados de varias grietas menores, llegando incluso a triturar la parte central del prisma, donde fueron reparados. Esto se observa por ejemplo en el prisma B1.

Se observó en la mayoría de los prismas que, a pesar que las nuevas fallas aparentemente aparecían por la falla ya existente, en realidad estas aparecieron en planos paralelos a la falla original. Esto se observó porque cuando la falla apareció cerca del material de reparación, lo que se cortó fue el bloque y no una falla por atribuida a la adherencia entre materiales. En algunos casos en cambio, aunque tampoco hubo falla por

adherencia del material de reparación, fue el mismo mortero de reparación el que sufrió el agrietamiento por corte.

En cuanto al cambio del peso de la mampostería debido al nuevo material de reparación, en la Tabla II podemos observar el peso original de los prismas, y el peso de los prismas reparados, además se determinó el aumento de peso que sufrieron los prismas en porcentaje. En el peor de los casos se obtuvo un aumento del peso no mayor al 4.00%, y en promedio se observó se tiene un aumento no mayor al 2.00%, por lo se puede inferir que el método de reparación tiene poca influencia sobre el peso final de una estructura.

TABLA II
RESULTADOS DE COMPARACIÓN DE PESOS.

Identificación	A3	B1	B3	C2	C3
Peso original (kg)	58.90	59.90	58.80	58.80	60.40
Peso reparado (kg)	60.00	61.00	59.40	61.10	60.90
Incremento de peso	1.87%	1.84%	1.02%	3.91%	0.83%
Incremento promedio	1.89%				

Fuente: Elaboración Propia

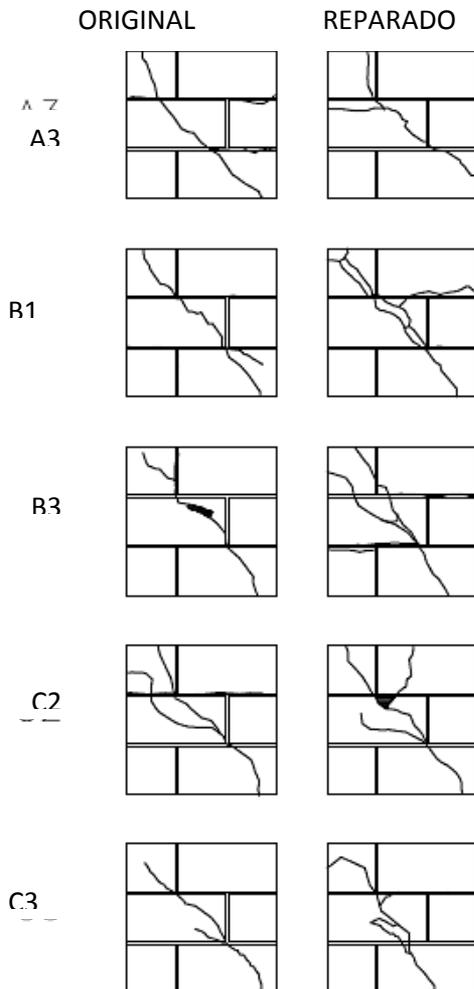


Fig. 6 Esquemas de falla de prismas de compresión diagonal.

IV. CONCLUSIONES.

Se observó durante los ensayos que las fallas en los prismas de compresión diagonal probados por primera vez fueron en su mayoría de manera explosiva, mientras que dichos prismas, luego de ser reparados, fallaron según una secuencia de daño diferente, apareciendo pequeñas grietas y posteriormente ensanchándose las mismas hasta deteriorar totalmente la resistencia a compresión diagonal del prisma. Adicionalmente pudo apreciarse en las gráficas de esfuerzo cortante vs distorsión que la distorsión de falla de los prismas reparados es mayor en comparación a los prismas originales, aproximadamente del doble. Por lo tanto, se concluye que el método de reparación logra mejorar en ciertos aspectos el modo de falla de la mampostería, aunque para asegurar que la funcionalidad del método es adecuada será necesario un estudio más riguroso de las nuevas propiedades de la mampostería reparada.

Se observó que las reparaciones hechas a fallas relacionadas a deslizamiento en la sisa fueron satisfactorias, dado que en el ensayo de los prismas reparados no se volvió a presentar este tipo de falla, y aunque siempre hubo fallas por deslizamiento, estas ocurrieron en las sisas que no habían sido reparadas

Se observó durante las pruebas que el material de reparación empleado junto con el adhesivo epóxico logró acoplarse adecuadamente, permitiendo generar nuevas fallas en los prismas.



En cuanto a las propiedades físicas de la mampostería, se observó que los prismas reparados tuvieron un leve aumento de su peso, en el peor de los casos no más de 4.00%, y un aumento en promedio no mayor del 2.00%. Según lo mencionado, es posible concluir que el peso de una estructura reparada con el método de parcheo estructural prácticamente se mantiene constante, por lo que el método de reparación no debería modificar significativamente el peso sísmico de una estructura. Esto es importante si se toma en consideración que otros métodos (como el encamisado metálico) pueden modificar considerablemente el peso de una estructura.

Una de las desventajas observadas durante la reparación de los prismas es la facilidad de agrietamiento que puede presentar las mezclas cementicias utilizadas para las reparaciones, y lo complicado que se vuelve disminuir este efecto cuando se utilizan bloques con absorción no controlada. Por lo tanto se concluye que uno de los puntos negativos del método es el poco control que puede darse al agrietamiento del material de reparación. Se ha observado que el método sería mucho más efectivo si se decide utilizar materiales que tengan mejor control de la contracción.

V. REFERENCIAS.

- [1] R. Merlos, E. Ventura, P. de Hasbún, M. Gutiérrez, C. Escobar, A. Ortiz, y otros. "Bloque de concreto con refuerzo integral", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Antiguo Cuscatlán, SS, 2008.
- [2] S. M. Alcocer, *Rehabilitación de estructuras de Mampostería*. 2007.

A. Alfaro, *Diseño de estructuras de mampostería*. 3^{re} ed., UCA Editores