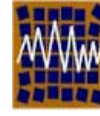




Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

N°A16-03 REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MUROS DE ALBAÑILERÍA DE BLOQUES ARTESANALES DE CONCRETO

Daniel QUIUN¹, Karhell ALFEREZ², Diana QUINTO²

*1.- Profesor Departamento de Ingeniería – Pontificia Universidad Católica del Perú
Av. Universitaria Cdra. 18 s/n, San Miguel Lima 32 - Perú
e-mail: dquiun@pucp.edu.pe*

*2.- Egresada Maestría en Ingeniería Civil – Pontificia Universidad Católica del Perú
Av. Universitaria Cdra. 18 s/n, San Miguel Lima 32 - Perú
e – mail: alferez.kdb@pucp.edu.pe, quinto.de@pucp.edu.pe*

RESUMEN

La investigación trata el problema de la seguridad sísmica de viviendas populares estructuradas en base a muros de albañilería portantes hechos con unidades artesanales de concreto. Este tipo de edificaciones son típicas en la ciudad de Tacna, al sur del Perú, donde el sismo del 23 junio del 2001 (M=8.4) provocó el colapso y deterioro de varias viviendas.

Se evalúa la efectividad de la técnica de refuerzo consistente en encamisar con malla electrosoldada muros de albañilería hechos con estas unidades, mediante ensayos de laboratorio. Con tal propósito, se construyeron dos muros a escala natural que se sometieron a carga lateral cíclica controlada. Uno de los muros fue ensayado hasta provocar su agrietamiento diagonal. Al segundo muro se le adicionó la malla electrosoldada antes del ensayo. Los resultados de las pruebas realizadas fueron bastante satisfactorios.

Finalmente, se hace un estudio preliminar de los costos de este sistema de reparación y reforzamiento y se emiten sugerencias.

Palabras Clave: Muros, Albañilería confinada, Bloques de concreto, Reforzamiento, malla electrosoldada

1 INTRODUCCION

El sismo ocurrido el 23 de Junio del 2001 ($M=8.4$) afectó muchas poblaciones del sur del Perú y norte de Chile. En particular, dejó evidencias de la vulnerabilidad de las edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Tacna, ya que presentaron un gran número de fallas en muros portantes e incluso no portantes (INDECI 2001). Un gran porcentaje de las construcciones de viviendas de albañilería confinada de bloques artesanales de concreto se vio afectado. A pesar del mal comportamiento observado, este material sigue siendo usado en nuevas construcciones.

La ciudad de Tacna está en una zona de alta sismicidad histórica, por la influencia del fenómeno de subducción de la placa de Nazca. Entre los terremotos fuertes de los siglos XIX y XX destacan los de 1831, 1868, 1877, 1906 y 1948 (Silgado 1978). Con el propósito de investigar formas de atenuar los efectos de un nuevo evento sísmico en las viviendas populares, se evaluó el comportamiento sísmico de un muro de albañilería confinada sin reforzamiento adicional (M1), frente al de un muro de albañilería confinada reforzado con malla electrosoldada (M2). El empleo de mallas electrosoldadas para muros de albañilería de arcilla industrial ha sido investigado por San Bartolomé y Castro (2003) con cierto éxito.

Ambos muros (M1 y M2), se construyeron simultáneamente y a escala natural. El muro M2 fue encamisado con malla electrosoldada interconectada entre sí y tarrajada con un mortero cemento:arena 1:5. Posteriormente, los dos muros fueron sometidos a ensayos de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados.

2 MATERIALES

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron estudios de clasificación de las unidades de albañilería, ensayos de compresión del mortero y del concreto empleado en la construcción de los muros. Asimismo, se realizó ensayos de tracción del acero de refuerzo y de la malla electrosoldada. Además, se construyeron y ensayaron 5 pilas y 5 muretes con el fin de determinar las propiedades mecánicas de la albañilería de estos bloques artesanales.

Para la construcción de los muros, pilas y muretes se utilizó las unidades de concreto artesanal de la zona, siendo éstas transportadas desde la ciudad de Tacna al Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en Lima .

2.1 *Bloques de Concreto*

En la investigación se utilizó bloques de concreto fabricados artesanalmente con dimensiones nominales de 40x20x15cm y 3 huecos circulares de diámetro aprox. a 12cm perpendiculares a la cara del asiento (Ver figura 1). De los estudios de clasificación se obtuvieron los resultados indicados en la Tabla 1. Según los resultados obtenidos, estas unidades no cumplen con los requisitos especificados en la Norma

Técnica Peruana (INDECOPI 2002), para unidades de albañilería de uso estructural, pero son muy empleadas por sectores populares.

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UNIDADES

Propiedad	Estudio	Norma
Alabeo (mm)	2.73	3
Variación dimensional (%)	0.43	3
% de perforaciones	37.4	25
Succión (%)	33	10-20



Figura 1. Bloques de concreto artesanal

2.2 Concreto y Mortero

El mortero utilizado en las juntas de la albañilería tuvo una proporción volumétrica cemento – arena gruesa 1:5, típico de las viviendas en estudio. Los ensayos de compresión hechos en probetas cúbicas de 5 cm de lado a 28 días de edad, dio como resultado una resistencia promedio de 84 kg/cm². Asimismo, los ensayos en probetas cilíndricas de concreto arrojaron una resistencia promedio $f'c = 227$ kg/cm².

2.3 Acero de refuerzo

Las varillas de acero corrugado fueron de grado 60 y de diámetros nominales de: 5/8", 3/8" y 1/2". Los estribos de columnas y vigas fueron de 1/4" diámetro.

2.4 Malla Electrosoldada

La malla electrosoldada consiste en varillas de acero liso trefilado de 3.2 mm de diámetro, con cocadas cuadradas de 100 mm de lado (ver Figura 2). Las características del producto cumplen con la Norma

ASTM A-82-94, teniendo esfuerzo de fluencia $f_y = 5600 \text{ kg/cm}^2$, y esfuerzo máximo $f_u = 5600 \text{ kg/cm}^2$; las dimensiones disponibles comercialmente son de $2.02 \times 25 \text{ m}$.



Figura 2. Malla electrosoldada empleada

3 PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE

Para determinar las propiedades de la albañilería simple, se realizó ensayos de compresión axial en 5 pilas de 3 hiladas cada una y de compresión diagonal en 5 muretes de 4 hiladas, como se muestra en la figura 3. Los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad E_m , la resistencia a la compresión f'_m , el módulo de corte G_m y la resistencia al corte v'_m , se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE

Compresión axial en pilas	E_m	36700 kg/cm^2
	f'_m	16.8 kg/cm^2
Compresión diagonal en muretes	G_m	1590 kg/cm^2
	v'_m	2.59 kg/cm^2



(a)



(b)

Figura 3. Ensayos en pilas (a) y muretes (b)

4 MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Ambos muros tuvieron características similares en dimensiones y elementos de confinamiento (figura 4). En la figura 5 se aprecian ambos muros durante la etapa de construcción, la cual se hizo en paralelo.

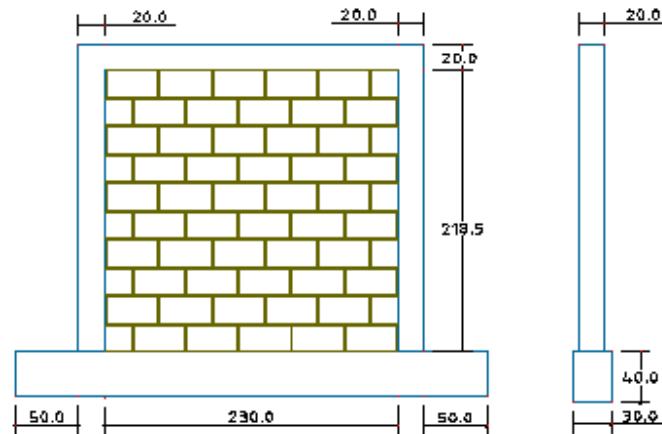


Figura 4. Dimensiones de los muros M1 y M2

Los elementos de confinamiento fueron de concreto armado, con las características siguientes:

- Viga de cimentación: 30 x 35 cm, 4 ϕ 5/8", estribos de 3/8" @ 10cm.
- Columnas: 20 x 20 cm, 4 ϕ 1/2", estribos de 1/4" 1 @ 5, 4 @ 10, R @ 20cm.
- Viga solera: 20 x 20 cm, 4 ϕ 1/2", estribos de 1/4" 1 @ 5, 4 @ 10, R @ 20cm.

La cantidad y distribución de los refuerzos cumplen con los requisitos mínimos especificados en las Norma Técnica Peruana de Edificación E.070 Albañilería (ININVI 1982).

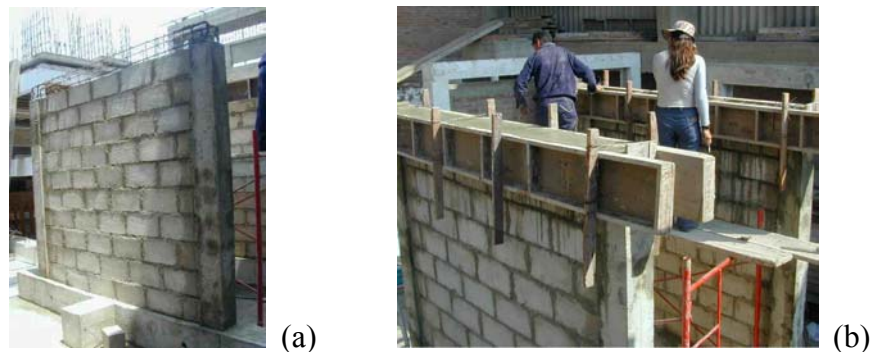


Figura 5. Construcción simultánea de los muros M1 y M2

5 REFORZAMIENTO DEL MURO M2

El muro reforzado M2, fue escogido al azar, ya que ambos muros contaban con características similares.

La malla electrosoldada fue cortada en paneles que se ajustaban a las dimensiones interiores del pórtico de concreto. Los paneles se instalaron en ambas caras del muro y se interconectaron entre sí con ganchos fabricados con alambre #10. Los ganchos se colocaron a un espaciamiento de 45 cm en sentido horizontal y en las juntas cada 2 hiladas. La malla se ancló a las columnas con ayuda de un taladro una longitud de 1.5 cm. El proceso de corte e instalación de la malla se puede apreciar en las figuras 6a, 6b y 6c.

Realizada la colocación de la malla, se procedió al pañeteo del muro con mortero grueso de 1:4. El tarrajeo se realizó con mortero fino 1:5 (ver figuras 7a y 7b). El aspecto de los muros terminados listos para su transporte a la losa de ensayos se observa en la figura 8.



Figura 6. Colocación de la malla en el muro M2

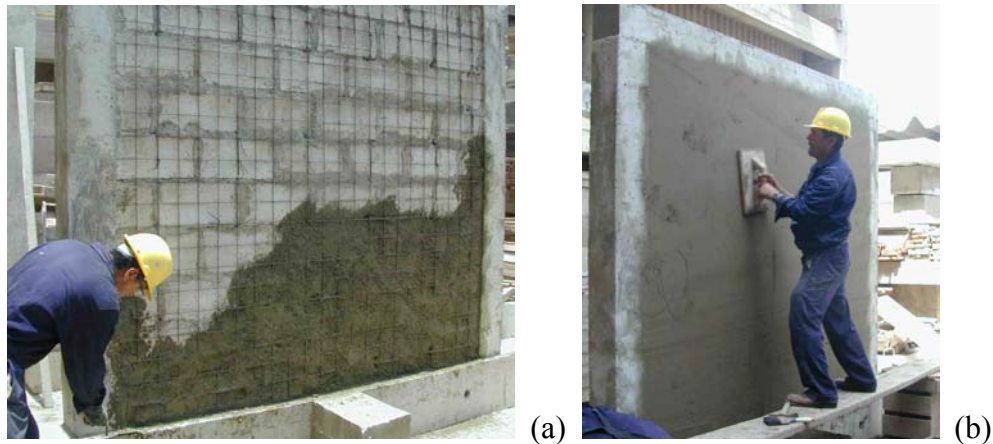


Figura 7. Pañeteo y tarrajeo del muro M2



Figura 8. Muros M1(derecha) y M2 (izquierda) culminados antes del ensayo

6 ENSAYO DE CARGA CÍCLICA

Los ensayos de carga lateral cíclica se realizaron a una edad de 28 días. El registro de datos se obtuvo a través de sensores de desplazamiento LVDT's colocados en el muro como se muestra en la figura 9.

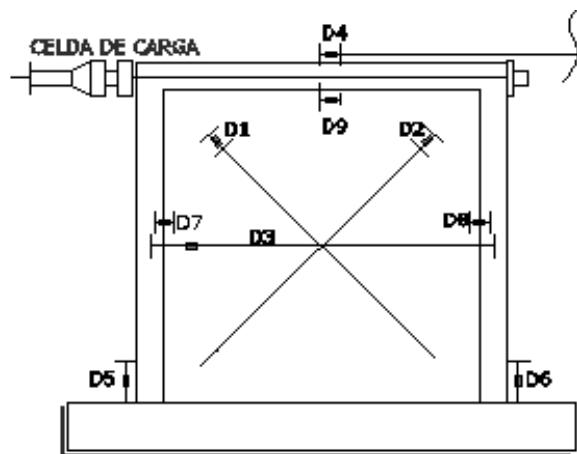


Figura 9. Disposición de sensores en los muros

6.1 Ensayo del Muro M1

El muro M1 (sin reforzamiento), fue sometido a 8 fases de carga (ver figura 10). El ensayo se realizó buscando dejar el muro en condiciones reparables, sin considerar el límite establecido por la Norma Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente (SENCICO 2003). Según ésta, la distorsión máxima de reparabilidad de la albañilería es de 0.5% (1/200). Este valor está sustentado en numerosos ensayos realizados en muros de albañilería de distinto tipo a lo largo de más de 25 años en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP (San Bartolomé 1998).



Figura 10. Ensayo del muro 1 a carga lateral cíclica.

6.2 Ensayo del Muro M2

El ensayo del muro M2 (reforzado) tuvo 13 fases de carga. En este ensayo se buscó someter al muro M2 a la mayor carga posible mientras éste sea estable.

7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

7.1 Fases de carga

En la Tabla 3 se indican las fases de carga de cada muro, junto con los ciclos de carga y descarga y una medida de la distorsión asociada. Las 8 primeras fueron idénticas en ambos muros.

TABLA 3. CARACTERISTICAS DEL ENSAYO

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
# ciclos	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1/distorsión	4800	1600	1200	800	600	480	320	240	200	160	120	100	80

7.2 Carga máxima y desplazamiento horizontal asociado

En la Tabla 4 se indica la carga máxima (en ton) medida en cada fase de carga de ambos muros, junto con los desplazamientos laterales máximos registrados (en mm).

TABLA 4. CARGA MÁXIMA VS. DESPLAZAMIENTO DE AMBOS MUROS

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Δ máx.(mm)	0.5	1.5	2	3	4	5	7.5	10	12	15	20	25	30
Carga en M1 (ton)	6.75	8.89	9.20	10.07	10.68	10.84	11.14	11.11	-	-	-	-	-
Carga en M2 (ton)	8.43	14.19	15.74	18.17	19.93	20.97	22.01	22.68	22.38	22.05	21.24	19.40	17.97

7.3 Rigidez lateral

La rigidez lateral inicial teórica (K_0) de los dos muros se calculó suponiendo que los muros se encuentran en voladizo, ya que no existen vigas de acoplamiento. Los valores determinados se muestran en la tabla 5.

Para el caso del muro M1, la rigidez teórica fue 47 % menor al valor experimental. En cambio, el muro M2 alcanzó una rigidez inicial mayor a la teórica en un 33%.

TABLA 5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Muro	K teórico (Kg/cm)	K_0 (Kg/cm)	K final (Kg/cm)
M1	7719	111157	6879
M2	-	147405	10388

7.4 Módulo de corte G_m

El módulo de corte se incrementa apreciablemente, el valor de G_m para M1 fue de 11825 kg/cm² y de 30531 kg/cm² para el muro M2; siendo el valor para M2 2.5 veces mayor que el de M1.

7.5 Primera Fisura por Flexión

La fisura por flexión nos indica el término de la etapa elástica. Este punto se puede obtener observando la curva histerética de Carga vs. Desplazamiento laterales. Esta falla fue registrada con los sensores D5 y D6 colocados en los talones de las columnas. La primera fisura por flexión ocurrió en la fase 3 para el muro M1 y en la fase 2 para el muro M2.

Se observa que los valores correspondientes al esfuerzo de rotura por tracción f_r (Tabla 6) de los dos muros son menores que la resistencia teórica a tracción por flexión del concreto: $2 \sqrt{f'c} = 29 \text{ kg/cm}^2$.

TABLA 6. ESFUERZO DE TRACCION POR FLEXION

Muro	Fase	V (kg)	D (mm)	fr kg/cm ²
M1	3	9300	1.77	0.97
M2	2	8900	0.22	0.82

7.6 Resistencia a carga lateral y capacidad de deformación

De acuerdo a los datos obtenidos, la carga máxima para el muro M1 fue de 11114 kg, asociado a un desplazamiento de 10mm, en la fase 8. Para el muro M2, este valor fue 22680 kg, bajando a 17967 kg, asociado a un desplazamiento de 30mm. El incremento de capacidad de carga es del 62% demostrándose la efectividad del reforzamiento. En cuanto a la capacidad de deformación, el muro M2 pudo desplazarse tres veces más que el muro M1, sin una pérdida excesiva de capacidad de carga, como se puede observar en las curvas envolventes de carga vs. desplazamiento lateral (fig 11). Estos resultados ilustran la efectividad del refuerzo incorporado en aumentar la resistencia y la ductilidad de los muros ensayados.

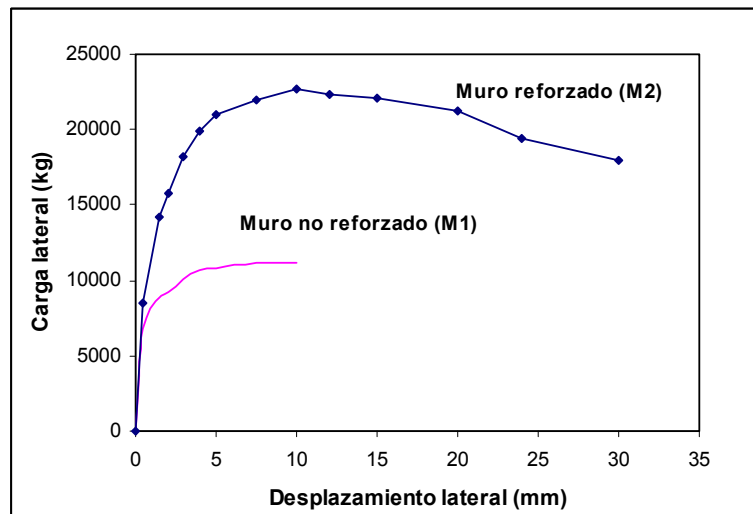


Figura 11. Envoltente Carga lateral máxima vs. Desplazamiento lateral

7.7 Agrietamiento Diagonal

La primera fisura por agrietamiento diagonal ocurrió en la fase 2 del muro M1 con fisuras finas, llegando a presentar grietas de 7cm de ancho en la fase final (Figuras 12a y 12b). El muro M2 sólo presentó fisuras diagonales finas, pero la unión pórtico - muro sufrió falla de adherencia. La figura 13 presenta el estado de las grietas más importantes del muro M1 al final del ensayo en la fase 8 (distorsión de 1/240), mientras que la figura 14 presenta la secuencia de agrietamiento en los dos muros.

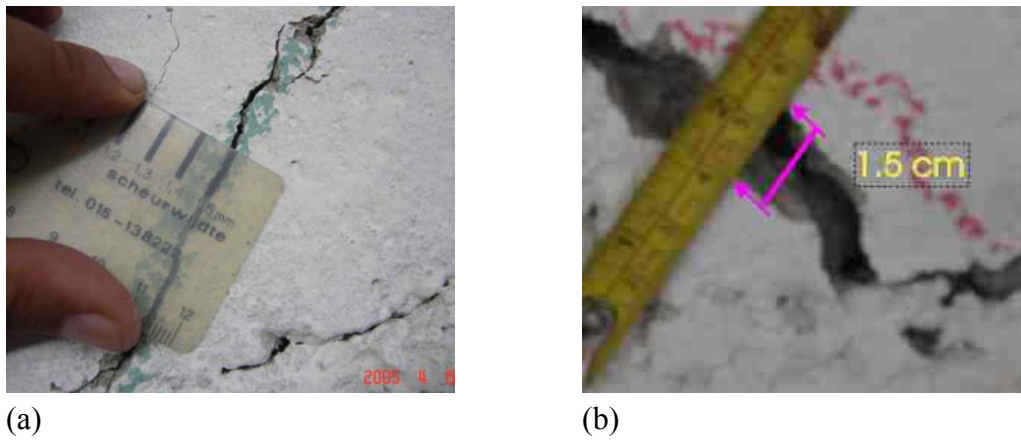


Figura 12. Medida de grietas durante los ensayos



Figura 13. Detalles del estado de fisuración del muro M1 al final del ensayo.

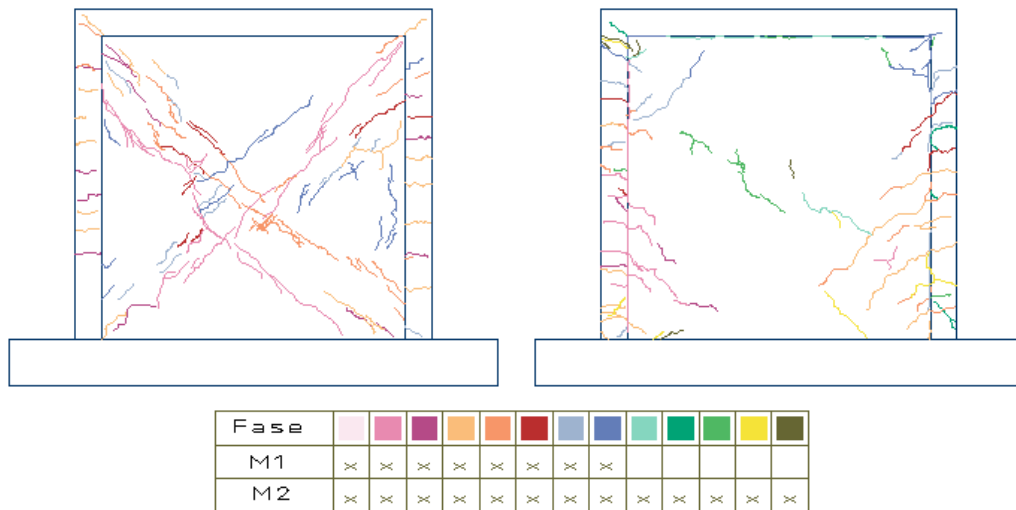


Figura 14. Secuencia de grietas, muros M1 y M2

8 COSTOS Y APLICACIÓN

8.1 Antecedentes

Este proyecto fue basado en la evaluación de viviendas dañadas por el sismo de junio 2001 en Tacna, tras 4 años de este evento. Un gran número de estas viviendas son de albañilería confinada de bloques artesanales de concreto (figura 15). En la evaluación se observó que muchas viviendas dañadas aún no han sido reparadas y aún presentan daños visibles. En otros casos, se observó que las grietas sólo fueron resanadas. Además, se realizó una evaluación de las nuevas construcciones hechas con estos bloques. Esta evaluación confirma que existen muchos casos de muros existentes dañados similares al M1 ensayado, y que existe la posibilidad de incorporar reforzamiento a otros muros “nuevos” de viviendas existentes, con malla electrosoldada, (similar al M2 ensayado). Los resultados experimentales presentados en el acápite 7 demuestran que se puede lograr aumentar la rigidez, la resistencia sísmica y la ductilidad.

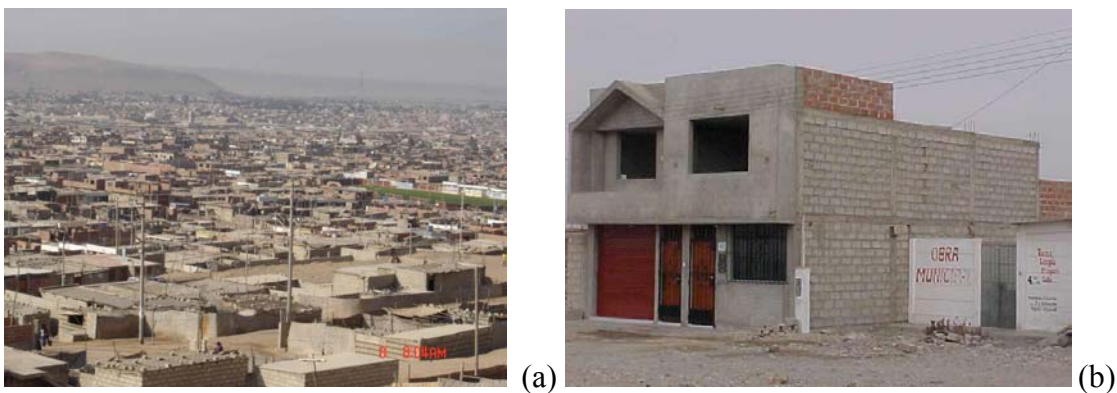


Figura 15. (a) Viviendas de la ciudad de Tacna. (b) Nueva edificación construida luego del sismo.

8.2 Comparación de costos

Se presenta en la Tabla 7 la comparación de costos, a fin de ver las ventajas económicas que representaría el reforzamiento de un muro sin daños, en relación a la reparación y reforzamiento de un muro dañado, teniendo en cuenta sólo los elementos en común de ambos muros.

Debe considerarse que la aplicación del reforzamiento a una situación real, dependerá de un análisis integral de la edificación, y que no todos los muros necesitarán reforzamiento.

TABLA 7 .COMPARACION DE COSTOS

Actividad	Recurso	Costo en US \$
Reforzamiento por m2	Malla	4.3
	Recubrimiento	3.2
	Mano de obra	4.3
Total		11.8
Reparación por m2	Reemplazo de unidades	2.8
	Recubrimiento	3.2
	Mano de obra	4.3
Total		10.4
Reparación y reforzamiento (Costo total)		22.2

9 CONCLUSIONES

El muro M1 falló por corte, las primeras fisuras diagonales aparecieron en la fase 2 (distorsión de 1/1600) y se hicieron visibles poco después, debiendo culminar el ensayo en la fase 8, con una distorsión de 1/240, menor a la aceptada como límite de reparabilidad ($0.005 = 1/200$). Por contraste, el muro M2 falló por flexión en la fase 2, las primeras fisuras diagonales aparecieron recién en la fase 13, con una distorsión de 0.0125 (1/80). Es decir, la incorporación del refuerzo de las mallas modificó el comportamiento sísmico.

En el ensayo del muro M1, las unidades de albañilería presentaron grietas visibles a distorsiones menores de 1/200. De haberse tenido en cuenta la carga axial por cargas de gravedad, estos efectos habrían empeorado. Se puede concluir que debe descartarse esta unidad para albañilería portante en zonas de alta sismicidad como es el caso de la ciudad de Tacna.

Con respecto al reforzamiento del muro M2, la técnica usada no tuvo mayores inconvenientes de aplicación. Sólo en el anclaje muro - columna se requirió el uso de un taladro, pero la elaboración de ganchos para unir las mallas resulta simple. Puede decirse que la técnica en su conjunto no es complicada y es factible de llevarse a cabo con personal instruido adecuadamente.

En relación a los resultados obtenidos, se pudo apreciar que el muro M2, reforzado antes del ensayo, tiene una resistencia y rigidez inicial visiblemente superior al muro M1, lo que demuestra la efectividad estructural del reforzamiento. Esto permitiría a muros similares soportar sismos moderados en el rango elástico y sismos severos con un comportamiento dúctil.

Las fallas observadas en los talones de las columnas del muro M2 podrían reducirse, si se realizara el encamisado de la columna con la malla.

En la evaluación de costos, se observa la importancia que tiene realizar el reforzamiento antes de que ocurra la falla, o de preverlo durante la construcción. Los costos de reforzamiento, aunque son

aparentemente elevados, disminuirían considerablemente el riesgo y daño que estas viviendas sufrirían de darse el caso de un nuevo sismo, de igual o mayor intensidad al del 2001.

En la actualidad se viene realizando una investigación empleando la misma técnica de reforzamiento considerando el encamisado de los talones, pero aplicado al muro M1 reparado.

REFERENCIAS

INDECI. (2001). Evaluación de daños sismo 2001. Lima, Perú.

ININVI. (1982). Norma Técnica Peruana E.070. Albañilería. Lima, Perú.

INDECOPI. (2002). Unidades de albañilería. Ladrillos de Concreto. Norma técnica Peruana NPT 399.601 Lima, Perú.

San Bartolomé A y Castro A. (2003). Reparación de un muro de Albañilería confinada XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ponencia EM-70, Colegio de Ingenieros del Perú. Iquitos, Perú.

San Bartolomé A. (1998). Construcciones de albañilería, Segunda Edición, Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

SENCICO. (2003). Norma Técnica Peruana E030. Diseño Sismorresistente. Lima, Perú.

Silgado E. (1978). Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974), Boletín No.3 Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, Instituto de Geología y Minería, Lima.