

>>5 Tipología de daños en viviendas de albañilería identificadas en la zona afectada por el terremoto del 15 de agosto de 2007

Por las investigaciones de los daños en las edificaciones, realizadas durante el proceso de validación de los estudios de mapas de peligros para correlacionar este tipo de daños con las características físicas del lugar, efectuadas entre setiembre de 2007 y mayo de 2008, con el apoyo del Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (DFID, U.K.), se sabía, en general, que los tipos de daños ocurridos en la región macrosísmica del terremoto de la Región Ica, en 2007, eran similares a los causados por los sismos de Áncash en 1970, de Lima, en 1966 y 1974 y de Arequipa en 1979 y 2001.

Por lo anterior, se decidió efectuar, en las cuatro provincias, estudios de campo focalizados en daños de viviendas de albañilería. Los resultados fueron fructíferos, no solamente por la posibilidad de utilizar ejemplos ilustrativos de los daños ocurridos en dichas ciudades, a fin de que los métodos de reparación y reforzamiento fueran específicos para los casos típicos de daños allí encontrados,

sino también para que los damnificados supieran que los estudios se habían hecho de manera especial para ellos, a fin de que se involucraran más en el proceso de implementar las obras de reparación y reforzamiento, a la vez que puedan tomar como ejemplo para situaciones similares los casos dentro de su propia ciudad o barrio. Además, durante el proceso de reparación y reforzamiento era factible utilizar estas experiencias como casos prácticos para capacitar a maestros de obra y albañiles acerca de cómo efectuar trabajos en obra, como un complemento aplicativo después de su participación en cursillos teóricos de capacitación.

Mientras que en los sismos ocurridos entre 1966 y 1970 la causa principal de los daños ocurridos en viviendas de albañilería fue la carencia de columnas de refuerzo de concreto armado, en el caso del terremoto de la Región Ica fueron escasos los daños causados por la falta de columnas de refuerzo. Más bien, estos se relacionan con las viviendas que tenían muros sin vigas de amarre; la

mayoría con columnas de concreto armado, con techos livianos y flexibles, fabricados con vigas de bambú y cobertura de caña chancada y con cercos o viviendas a medio construir, que fallaron por flexión debido a las cargas sísmicas perpendiculares a las caras de los muros, las que produjeron grietas cerca de las esquinas, que se propagaron de arriba hacia abajo, cuando las columnas de refuerzo o muros perpendiculares a los muros que fallaron estaban a unos 5 m de distancia. Cuando la separación entre columnas o muros perpendiculares estaba a más de 6 m, las fallas ocurrieron en la parte central y superior, por momento positivo o por volteo de muro, en forma de “U” (ver falla tipo 3).

Numerosos muros de ladrillo de las viviendas ubicadas en Ica, Pisco, Chincha y Cañete se desplomaron porque se comportaron como un cerco. El techo de bambú o madera liviana y flexible no fija al muro en su borde superior como lo hace un techo de concreto armado. En este último caso, la falla se produce por tracción

diagonal. El muro confinado en su parte inferior por la cimentación y en la parte superior por la losa del techo, es casi siempre un rectángulo, pero, al ser sometido a la carga sísmica horizontal, se convierte en un paralelogramo.

En este paralelogramo, la diagonal que se alarga hace fallar al muro por tracción diagonal, y la diagonal que se acorta, en la esquina superior del muro, choca contra el ángulo, unión columna-viga, ocasionando que se dañen mutuamente por compresión diagonal.

En los ejemplos que siguen, tomados en el sur medio, se expondrán, con fotos y gráficos ilustrativos, dichos casos y se proporcionarán las soluciones de reparación y reforzamiento. Se ha organizado esta presentación de modo de mostrar tanto los casos de daños más graves y amenazantes para la vida, la salud y el valor de las pérdidas materiales, como aquellos casos menos trascendentes.

>> FALLA TIPO 1 > TECHO RÍGIDO Y CARENCIA DE ELEMENTOS DE REFUERZO: COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO ARMADO

1.1. Subtipo de falla: Tracción diagonal



>>F-5.1

Mapa de peligros y de ubicación de casos estudiados en Ica. La localidad Comatrana está marcada con un círculo.



>>Fig 1.1a

Falla por tracción diagonal de la fachada por carecer de columna de amarre. Esta situación provocó severas grietas y un desplazamiento importante de las piezas rotas de dicho muro. Lugar: Comatrana, Ica. Sismo 15/08/2007. Ubicación en **F-5.1**.



>>Fig 1.1b

Detalle de la falla del pilar derecho.



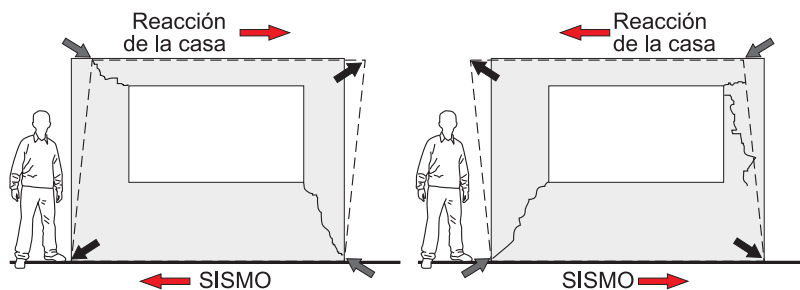
>>Fig 1.1c

Falla por tracción diagonal en la fachada posterior. La vivienda, ubicada en la calle Barrio Nuevo 173, Pisco, carece de columnas. Se recomienda: Colocar columnas de refuerzo y viga de amarre de concreto reforzado. Edificación dañada por el terremoto del 15 de agosto de 2007. Ubicación en **F-5.2**.



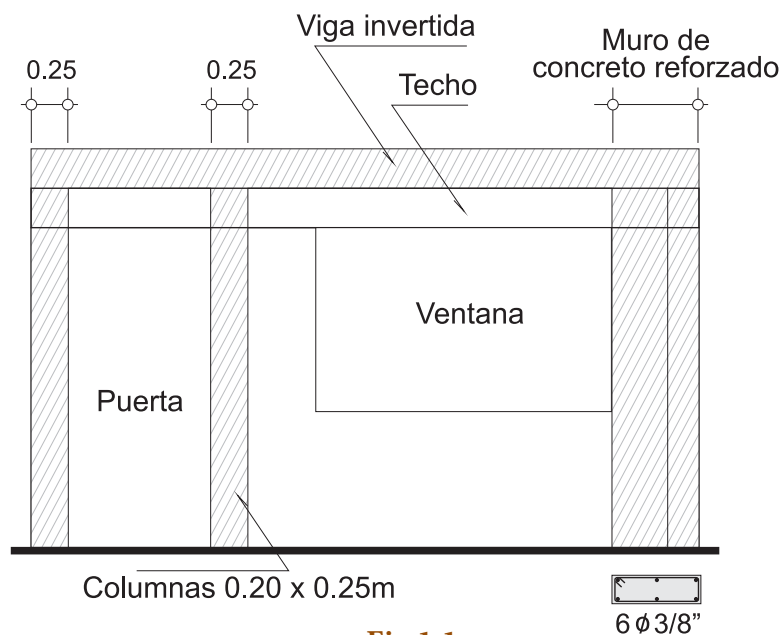
>>Fig 1.1d

Falla por tracción diagonal causada por falta de columna confinante en la esquina de los muros. Sunampe, Chíncha, 15/08/07. Solución: Demoler y reemplazar con columna de concreto armado. Ubicación en **F-5.3**.



>>Fig 1.1e

>>Fig 1.1f



>>Fig 1.1g

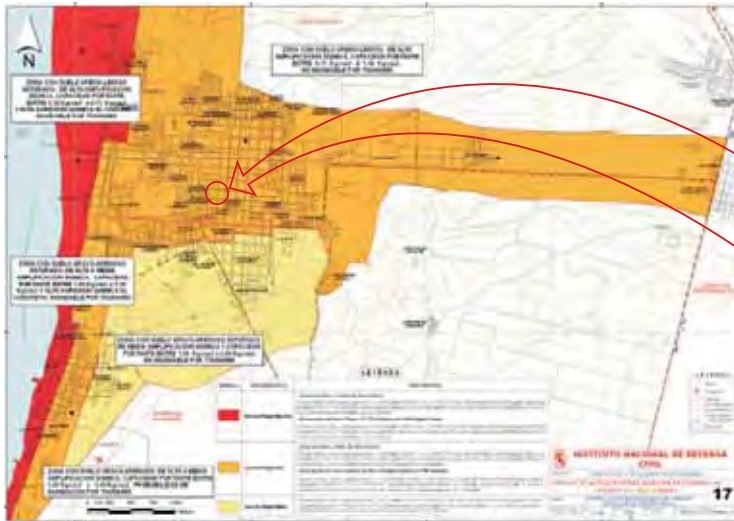
PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

Solución general de reforzamiento de la fachada principal dañada.

1. Apuntalar firmemente el techo con vigas y pies derechos.
2. Demoler los muros agrietados y desplazados.
3. Colocar armadura de columna de refuerzo, picando y colocando varillas de acero de acuerdo con los detalles dados en Fig. 1.2c, pág. 40 de este manual. En la fachada, agregar columnas de 0.20 m x 0.25 m, con dimensión 0.25 m en la dirección paralela a la fachada, con 4 Ø 3/8" y estribos de 1/4" @ 0.15 a todo lo alto de la abertura de las ventanas, y reemplazar la mocheta de la derecha por un pequeño muro de concreto armado con 6 Ø 3/8" o, en general, por una columna de 0.20 m x 0.25 m.
4. Conectar firmemente las varillas de las columnas con vigas de amarre del techo. Si no existieran, colocar vigas invertidas en el techo.
5. Reconstruir los muros demolidos.
6. Llenar con concreto las columnas, placas y vigas.
7. Reponer la misma ventana.

>> FALLA TIPO 1 > CARENCIA DE ELEMENTOS DE REFUERZO: COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO ARMADO

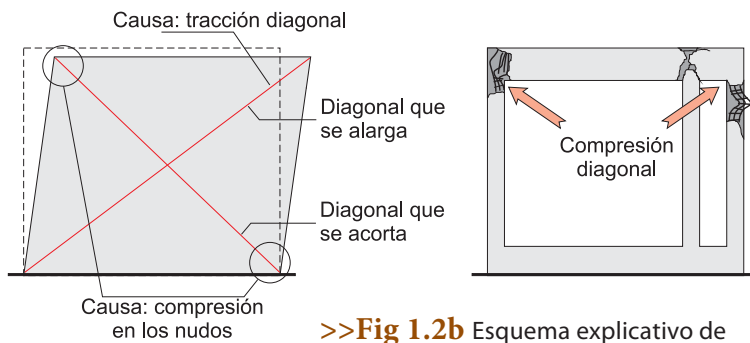
1.2. Subtipo de falla: Compresión diagonal



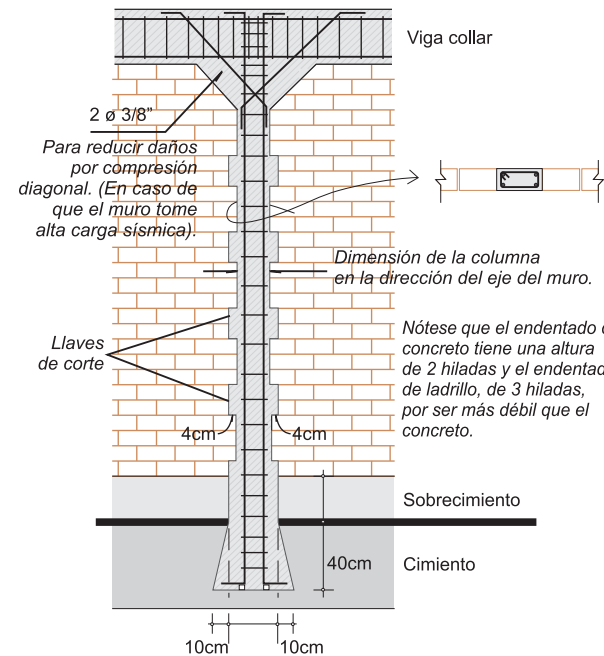
>>F-5.2a Mapa de Peligros de Pisco y San Andrés. PCS-1E INDECI/PNUD 2001-2002. Los señalamientos de este mapa hacen recomendable expandir la ciudad hacia el sureste.



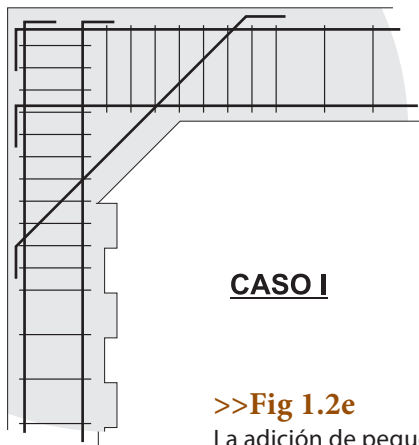
>>Fig 1.2a La foto muestra un muro confinado. Sus ángulos superiores se han estrellado contra la unión viga-columna, y la han hecho fallar; asimismo, se han deteriorado. Hotel ubicado en Pisco. Dañado el 15 de agosto de 2007.



>>Fig 1.2b Esquema explicativo de la compresión diagonal.



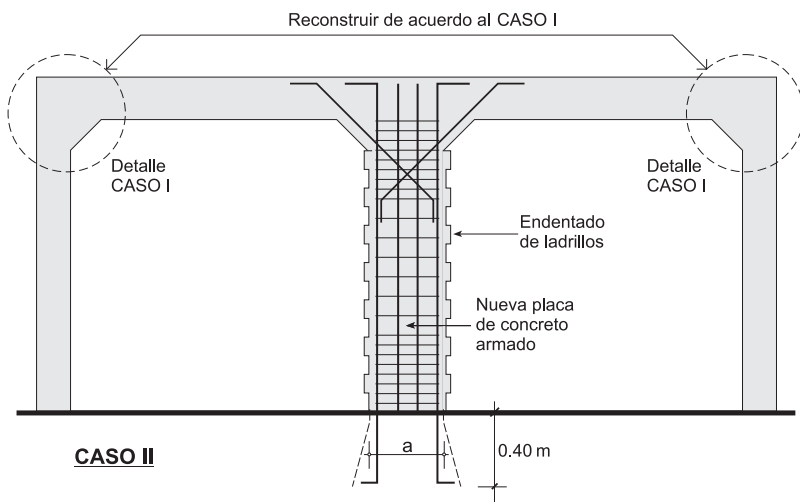
>>Fig 1.2c Detalle del picado para la inserción de una nueva columna y viga. Nótese que el entendado de concreto tiene una altura de 2 hiladas y el entendado de ladrillo, de 3 hiladas, por ser más débil que el concreto.



>>Fig 1.2d
Al colocar un ochavo reforzado en la esquina, se evitan los daños en el nodo y en el muro por efecto puntal.

CASO I

>>Fig 1.2e
La adición de pequeños muros de concreto armado de ancho "a", entre 0.30 y 0.50 m, incrementa sustancialmente la resistencia al corte sin provocar mayores cambios en la cimentación.



PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

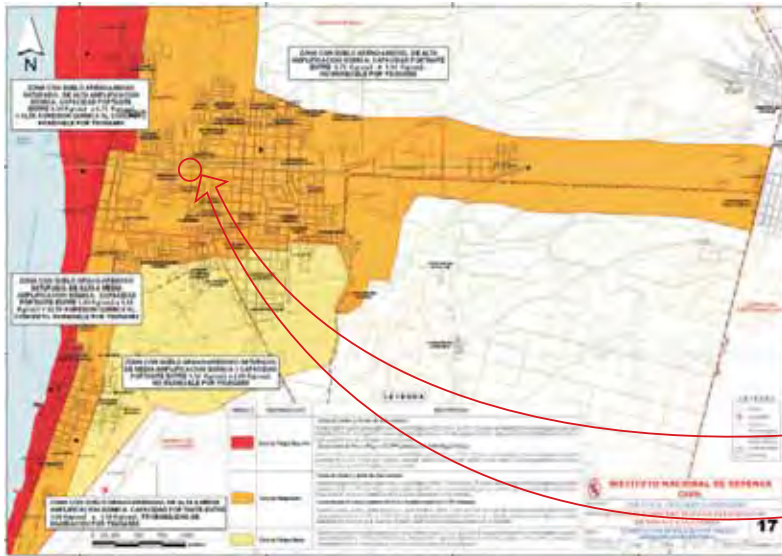
CASO I:

1. Demoler el concreto de la parte superior de las columnas y extremos de las vigas dañadas.
2. Colocar una nueva armadura en reemplazo de las varillas deformadas, soldando las varillas nuevas con las existentes. Colocar 2 Ø ½" en diagonal.
3. Demoler la esquina superior del muro y dejar un ochavo.
4. Llenar con concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

CASO II:

1. Si el muro de ladrillo tomara mucha cortante sísmica, porque la densidad de muro en la dirección de su eje es baja, agregar, en el centro del muro, una placa de ancho "a" de concreto según la exigencia de la sollicitación sísmica.
2. Al picar el muro para encajar la nueva placa, hacerlo en forma endentada para formar llaves de corte y evitar que el muro "resbale" al lado de la placa, reduciéndose el efecto puntal en las esquinas superiores.

>> FALLA TIPO 2 > VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA SIN COLUMNAS Y VIGAS DE AMARRE CON TECHO LIVIANO Y FLEXIBLE



>>F-5.2b Mapa de Peligros validado de Pisco y San Andrés.

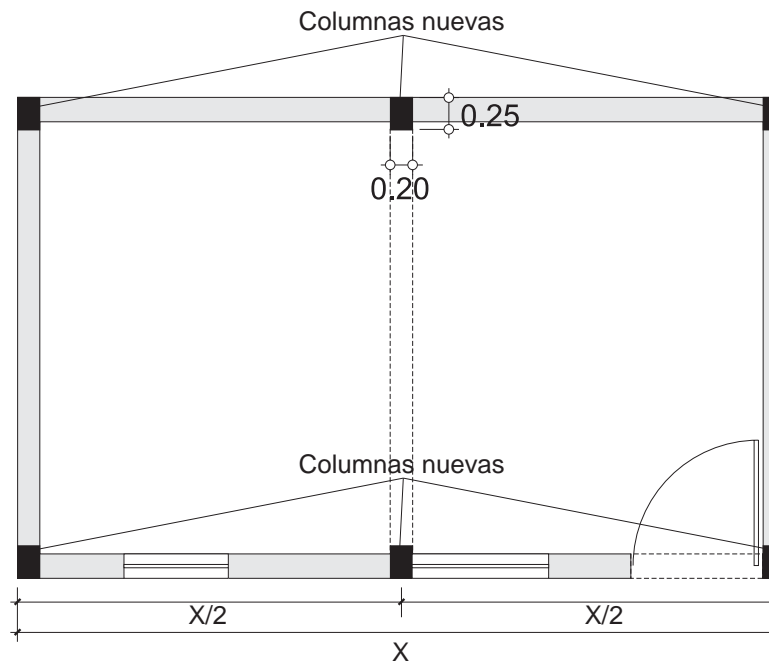
Los mapas F-5.2a y F-5.2b tienen más del 90% de coincidencia, lo que demuestra que son de suma utilidad para la densificación urbana y la expansión de la ciudad.

En la validación del Mapa de Peligros se confirmó que la mejor opción de desarrollo urbano para Pisco es expandirse hacia el sureste, es decir, hacia áreas del fundo San Antonio.

El Perú cuenta con los mapas de peligros PCS-1E INDECI/PNUD de más de 130 ciudades y poblados. Se ha propuesto que el Programa de Ciudades Sostenibles sea Hoja de Ruta para los municipios peruanos durante el período 2008-2021. Las autoridades locales tienen la enorme responsabilidad de proteger a las comunidades que las eligieron y asentarlas en sectores de peligro bajo y medio.



>>Fig 2a Construcciones de albañilería no confinada, sin columnas ni vigas de amarre y techo ligero. La parte superior de los muros colapsó en esta edificación, ubicada en Pisco, el 15 de agosto de 2007. Se puede notar que en la solución recomendada se trata de aprovechar al máximo los elementos que no han sufrido daños: cimentación, pisos y muros. El objetivo es reducir los costos de rehabilitación, pero proporcionando seguridad física.



PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

1. Si el techo continúa siendo liviano y flexible, el proyecto de reforzamiento debe ser similar al que se utiliza en los cercos.
2. Se agregan cuatro columnas en las esquinas de 0.20 m x 0.20 m con 4 Ø 3/8", y estribos de Ø 1/4".
3. Como los muros del frente y del fondo son muy largos, se les agrega una columna de 0.20 m x 0.25 m en sus puntos medios.
4. Se coloca, sobre todo en el perímetro de los muros, una viga collar de 0.17 m de espesor por 0.25 m de ancho con 4 Ø 3/8", con estribos de 1/4" @ 0.20

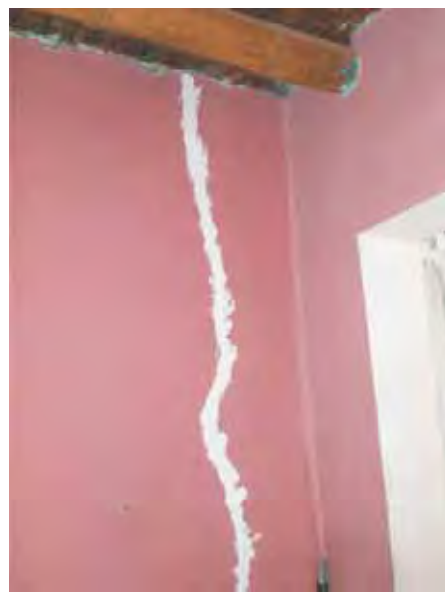
>> FALLA TIPO 3 > CARENCIA DE VIGAS DE AMARRE, PERO CON COLUMNAS DE REFUERZO, EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CON TECHOS LIVIANOS Y EN MUROS SIN TECHAR

Este caso fue uno de los más comunes encontrados en las periferias de las ciudades inspeccionadas.

Las fotos de **Fig 3.1** y **Fig 3.2** muestran grietas en los muros cerca de las esquinas. Las razones estructurales se explican en **Fig 3.3**.



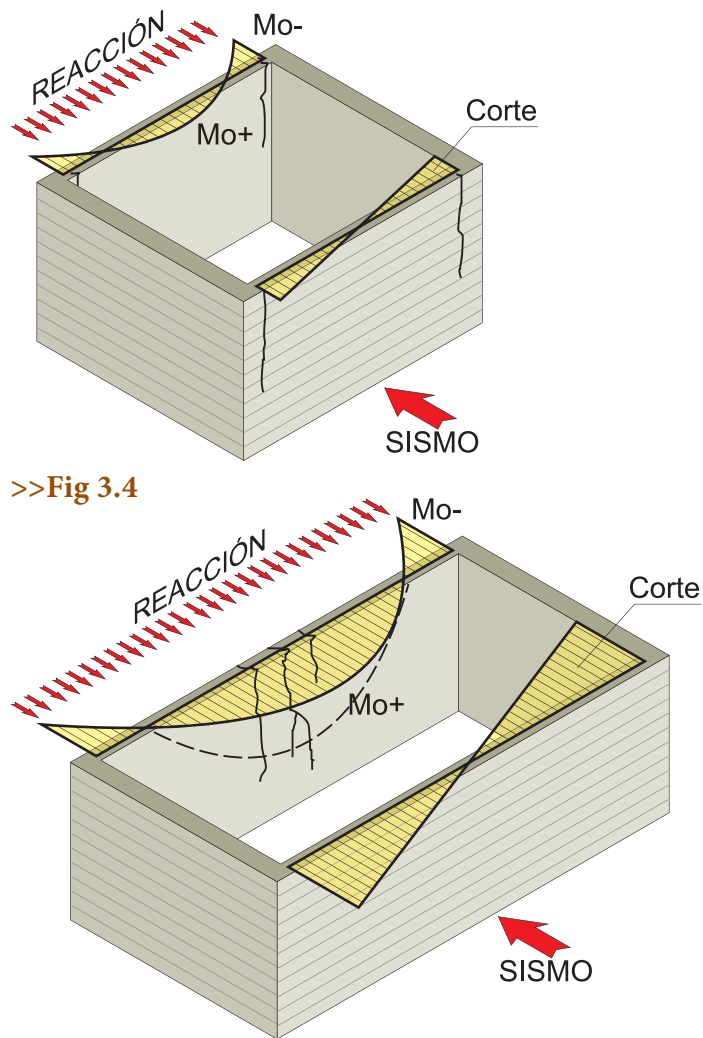
>>**Fig 3.1** Grieta por flexión negativa cercana a la esquina, que se propagó de arriba hacia abajo.
Lugar: Comatrana, Ica.



>>**Fig 3.2** En el mismo lugar, se observa grieta por flexión negativa "reparada cosméticamente".
Ubicación en **F-5.1**.



>>**Fig 3.3** Cuando las columnas están separadas más de 5.5 m, la falla, se produce generalmente, en la parte superior media del muro, por momento positivo. Explicación en **F-3.4**. Lugar: Pisco. Ubicación en **F-5.2b**.

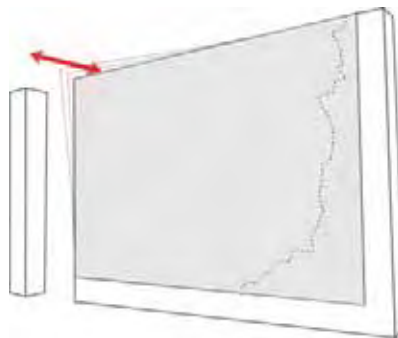


>>Fig 3.4

PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

1. Desmontar el techo ligero (cobertura y vigas de bambú) o levantar todo el techo utilizable, mediante gatas hidráulicas o postes de encofrados tipo Acrow. Levantar a una altura suficiente, por encima de los muros, para trabajar cómodamente.
2. Construir la viga collar encima de todos los muros, teniendo cuidado de que las varillas de acero queden firmemente interconectadas con las otras vigas, así como entre sí y con la armadura de las columnas que suben.
3. Llenar las vigas collar conforme al ancho del muro o de las columnas, con una altura de 0.17 m, con 4 \varnothing 3/8" y estribos de 1/4" @ 0.20 m.
4. Volver a techar si ha sido retirado el techado o regresar suavemente el techo completo a su posición original, encima de la nueva viga collar, fijando las vigas de bambú en sus extremos con la viga collar, con abrazaderas o mecanismos similares.
5. Si las columnas están muy separadas, el momento positivo (M_{o+}) será mucho mayor que el momento negativo (M_{o-}) y la falla se producirá en el punto medio superior del muro. Solución: Colocar la viga collar si el techo es liviano y flexible; si es de tipo aligerado, incluir una viga chata de confinamiento uniendo las columnas con vigas. Si la separación entre columnas es mayor de 7.5 m, colocar una columna de concreto armado en el punto medio del muro.

>> FALLA TIPO 3 > CARENCIA DE VIGAS DE AMARRE, PERO EXISTENCIA DE COLUMNAS DE REFUERZO, EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CON TECHOS LIVIANOS, Y EN EL CASO DE MUROS SIN TECHAR (SUB-CASOS)



>>Fig 3.5 Falla de un muro por la flexión ocasionada por la falta de confinamiento superior con viga collar. El mayor desplazamiento ocurrió en el vértice del triángulo superior izquierdo y se produjo el colapso del muro. Comatrana, lca. 15/08/2007. Ubicación en **F-5.1**.

PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO:



1. Retirar los ladrillos sueltos de la parte del muro no colapsado y volver a levantar el muro.
2. Colocar vigas collar en todo el perímetro sobre los muros, con una altura de 0.17 m y ancho igual que la columna con 4 Ø 3/8" y estribos de 1/4" a cada 0.20 m.

>>Fig 3.6

Falla por flexión del triángulo superior derecho del muro, por no tener columna ni viga de amarre. Ubicación: Pisco, **F-5.2b**.



PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO:

1. Construir la parte caída del muro.
2. Colocar la armadura de la columna del lado derecho, con un buen empalme con las varillas de acero existentes.
3. Colocar las armaduras de la viga de amarre, encofrar y vaciar concreto de columna hasta unos 0.20 m del borde superior.
4. Colocar la armadura del techo, encofrar el costado de las vigas y vaciar el concreto.

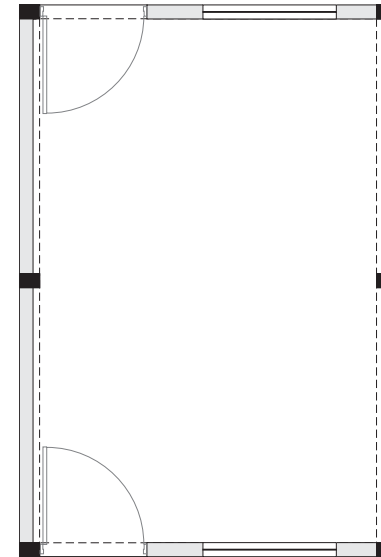
>> FALLA TIPO 4 > VIVIENDA EN CONSTRUCCIÓN, EN LA QUE SE ESTÁ COMETIENDO EL MISMO ERROR GENERALIZADO DE NO UTILIZAR VIGAS COLLAR



>>Fig 4.1 Vivienda de albañilería en la que se está iniciando el techado con elementos livianos de vigas de bambú y caña, pero sin viga collar. Lugar: Comatrana, Ica, fecha: 11 de diciembre de 2008. Ubicación en **F-5.1**.



>>Fig 4.2 Otro ángulo de la misma vivienda. En esta imagen se observa cómo se le está explicando al propietario - constructor la necesidad de colocar primero la viga collar en todo el perímetro de la vivienda y sólo después instalar el techo ligero de bambú y caña chancada.



>>Fig 4.3 Planta de la vivienda.

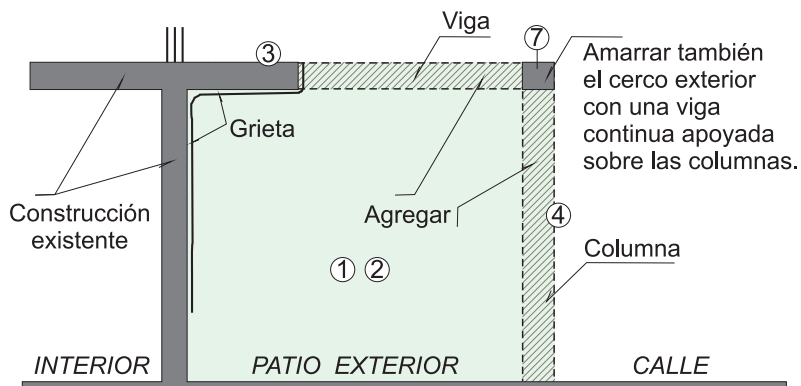
PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

Se recomienda colocar la viga de amarre de concreto reforzado encima de los muros, con un ancho similar al de las columnas y 0.17 m de altura con 4 Ø 3/8" y estribos de 1/4" a cada 20 cm, con la armadura anclada en sus extremos a la armadura de las columnas.

>> FALLA TIPO 5 > FALLA DE AMPLIACIÓN DE UNA CASA POR CARECER DE ELEMENTOS DE REFORZAMIENTO



>>Fig 5.1 Se observa que, en el techo, el voladizo no continúa y no tiene columna de amarre. Se trata de una ampliación efectuada en el patio exterior de una casa ubicada en Comatrana, Ica, que fue dañada por el sismo del 15/08/2007. Ver ubicación en F-5.1.



>>Fig 5.2

PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

1. Demoler el muro dañado y desplazado.
2. Levantar el muro hasta la altura de fondo del techo, dejando endentado el lado derecho para poder insertar la columna.
3. Picar el voladizo para insertar la viga de amarre, conectando firmemente las armaduras de la viga a las armaduras de la columna existente. Usar fierro de 3/8" y estribos de 1/4".
4. Colocar las armaduras de columna de fachada. En la parte superior, colocar las armaduras de la viga de fachada con fierro de 3/8" y estribos de 1/4".
5. Efectuar también los pasos 1, 2, 3 y 4 en el otro lado de la ampliación.
6. Llenar con concreto las dos columnas y las vigas de amarre.
7. Colocar una columna intermedia en la fachada y construir la viga de amarre de concreto armado.

>> FALLA TIPO 6 > FALLA DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA POR IMPACTO O EMPUJE, OCASIONADO POR LA DEFLEXIÓN LATERAL DEL EDIFICIO VECINO ALTO



>>Fig 6.1 El edificio alto de la derecha, de cuatro pisos, hizo que fallara el segundo piso de la vivienda de la izquierda. Al ser empujada hacia la izquierda, la casa falló por corte en la unión del segundo piso con el techo del primer piso. Lugar: Pisco, ubicación F-5.2.

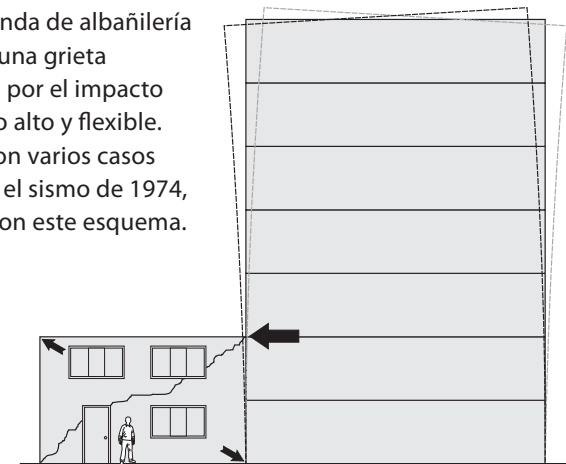


>>Fig 6.2 Detalle de la zona de impacto entre las edificaciones de la F-6.1.

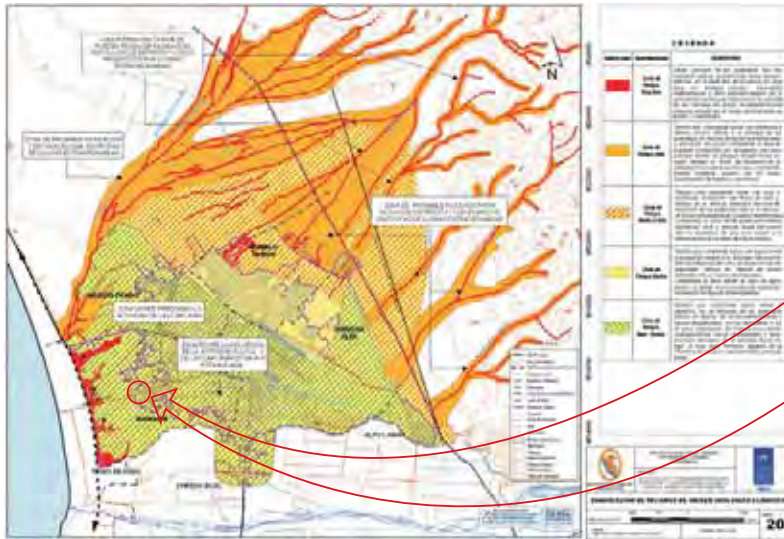
RECOMENDACIONES SUGERIDAS:

1. Limpiar, hasta donde sea posible, la junta que separa el edificio alto y flexible de la casa.
2. Si el edificio alto se reparara y reforzara, será necesario colocarse muros de corte de concreto armado para reducir la deflexión lateral y el impacto sobre la casa vecina.
3. Es necesario acatar la Norma Sismorresistente NTE 030 – 2003. Cada propietario debe retirarse del límite de propiedad, conforme a lo especificado por dicha norma, de acuerdo con la altura que tendrá la construcción.

>>Fig 6.3 Vivienda de albañilería de dos pisos con una grieta diagonal causada por el impacto del edificio vecino alto y flexible. En Lima, ocurrieron varios casos similares durante el sismo de 1974, lo que se ilustra con este esquema.



>> FALLA TIPO 7a > FALLAS DE CERCOS Y SU REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO



>>F-5.3 Mapa de Peligros de Chíncha y Tambo de Mora.

Los cercos son algunos de los elementos más vulnerables de las construcciones con albañilería, debido a la poca atención que, por lo general, les prestan los diseñadores, constructores y maestros de obra. Pero este descuido puede ser fatal, pues los cercos se ubican en la parte exterior de las construcciones. Es necesario prestarles la debida atención y considerar que son elementos de alto riesgo, sobre todo si colapsan sobre rutas de escape y en centros educativos.

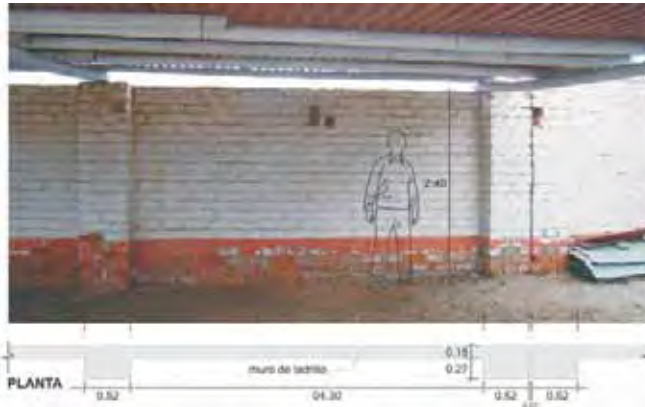


>>Fig 7.1 “Cercos mentirosos” de un colegio de Sunampe, Chíncha. Falló el 15/08/2007. Tiene la apariencia de un cerco recomendado en el libro *Reducción de Desastres F-3AL22*, página 153, pero, en lugar de una columna de concreto armado, tiene una mocheta de un ladrillo en aparejo de soga. Es necesario investigar qué pasó: ¿falló el diseño?, ¿el contratista se ahorró la columna de concreto?. Evidentemente, falló la supervisión en la obra y no se detectó el defecto de diseño y el hecho de que la construcción era insegura. Ubicación en F-5.3.



>>Fig 7.2 Falla en un cerco de albañilería, similar al de la de F-7.1, Melipilla, Chile, sismo de 1985. Obsérvese, al fondo, un cerco prefabricado con columnas de concreto, con secciones en forma de H, sobre las que se han insertado tableros de concreto armado. Este cerco no falló. La intensidad estimada allí fue de VIII MMI.

>>**Fig 7.3** Colapso, desde su base, de un cerco de ladrillos con mochetas del mismo material, orientado paralelamente a la línea costera. San Andrés, Pisco, 15.08.2007. Ubicación en **F-5.2**.



>>**Fig 7.4** Muro con diseño similar al de la **F-7.3**, perpendicular a la línea costera. No sufrió daños. ¿Fue la componente este-oeste del sismo más intensa que la de la dirección norte-sur? Si fue así, el muro que colapsó recibió la mayor fuerza sísmica perpendicularmente a su cara y el muro que no colapsó -que se muestra en la foto- recibió la mayor fuerza sísmica en forma paralela a su eje, que era muy resistente al corte sísmico.



>>**Fig 7.5** Si los muros perpendiculares, como se aprecia en este caso, o las columnas están demasiado separadas, los daños se producirán por la inestabilidad de su parte central. Foto: Sunampe, Chincha, 15/08/07.



>>**Fig 7.6** Solución estructural aplicada al caso de la **F-7.5**.

PROCESO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

Si las columnas o muros perpendiculares estuvieran muy separados:

1. Colocar columnas en los extremos si estas no existieran.
2. Demoler el muro inestable (rayado) y retirar las piezas sueltas de ladrillo. Reconstruir el muro dejando espacio en su punto medio para colocar una nueva columna.
3. Agregar una columna en su punto medio si la separación entre los refuerzos existente fuera de más de 6 m.
4. Construir una viga collar en los bordes superiores de los muros. La solución sugerida para este caso u otros similares ya ha sido indicada.
5. La creación artística de cómo quedaría el muro de la Fig 7.5, después de ser reforzado, se muestra en la **F-7.6**.

>> FALLA TIPO 7b > FALLAS DE CERCOS Y SU REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO

Continuación

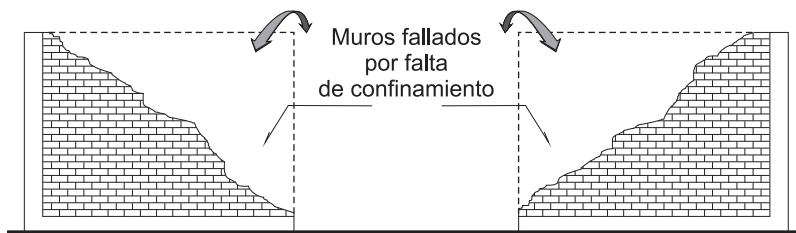


>>Fig 7.7 Columna de confinamiento de cerco con defectos constructivos comunes:

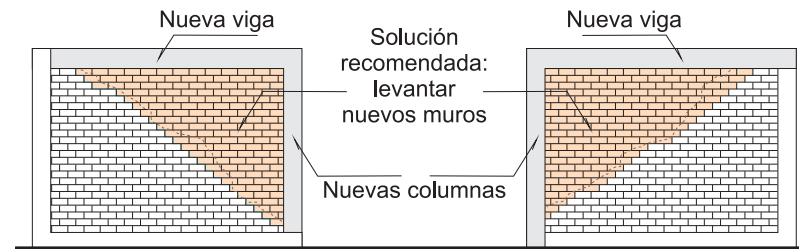
1. Longitud de anclajes de fierro muy corta en su parte superior para conectar con una viga collar. Inexistencia de viga collar.
2. Endentado de una sola hilera: ladrillo muy débil y que se rompe fácilmente.
3. Endentado innecesariamente profundo. Si no se vibra bien el concreto en el llenado, quedarán espacios vacíos o "cangrejas". Las llaves de corte no tienen que ser profundas; bastan unos 4 cm.



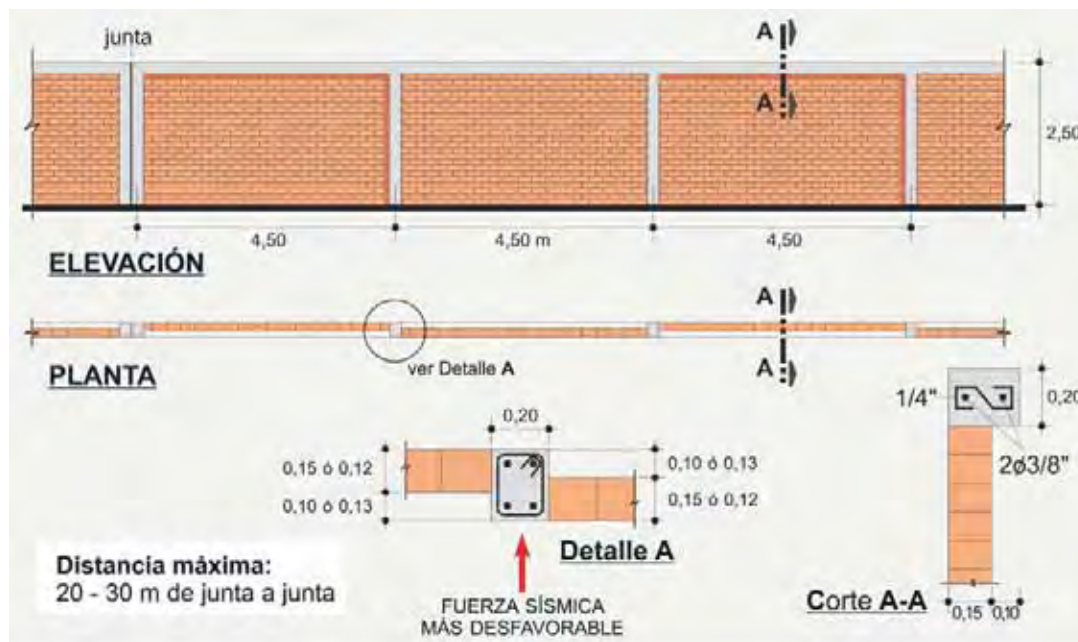
>>Fig 7.8 Cerco de un colegio con armadura de viga collar muy angosta. Solución: Desatar los fierros de la viga de amarre y colocar nuevos estribos para que el ancho de la viga collar sea el mismo que el ancho de la columna. Encofrar el fondo de la viga collar y los costados con el mismo ancho que la columna y, luego, llenar con concreto.



>>Fig 7.9a Falla típica en las puertas de garajes y su reforzamiento. Nótese que la falla es similar a las presentadas en la F-3.6 y F-3.7.



>>Fig 7.9b Las nuevas columnas deben quedar bien empotradas en la cimentación y, en la parte superior, las varillas de acero bien conectadas con las varillas de la viga. Los muros y vigas deben conectarse adecuadamente con las varillas de la columna existente.



>>Fig. 7.10 El gráfico muestra la recomendación técnica para el reforzamiento de los cercos. Constituye una buena alternativa para construir un cerco seguro y económico. Gráfico tomado de la F-4.53 (página 95 del *Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes*, PNUD, Mayo 2007. Fuente original: F-3AL22, pag 153, del libro *Reducción de Desastres*. Autor: Julio Kuroiwa, 440p, 2002).