

Manual para la Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería Confinada Dañadas por Sismos

TIPOLOGÍA DE DAÑOS

Publicación financiada por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD



>> Créditos

MANUAL PARA LA REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA DAÑADAS POR SISMOS

© Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, 2009. Editor.
Calle Los Cedros 269, Lima 27
www.pnud.org.pe

>> **MINISTERIO DE VIVIENDA,
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento
Ing. Juan Sarmiento Soto

Viceministro de Construcción y Saneamiento
Ing. Guillermo León Suematsu

Viceministro de Vivienda y Urbanismo
Arq. David Alfonso Ramos López

>> **AUTORIDADES PNUD**
Coordinador Residente del Sistema de las NNUU y
Representante Residente del PNUD en el Perú
Dr. Jorge Chediek

Oficial de Programa
Raúl Salazar Salazar

Arq. Sandra Buitrago
Geogr. Luis Gamarra
Arq. Rocío Cuadros

>> **AUTORES**
Consultores PNUD/Perú
Julio Kuroiwa Horiuchi
Joel Salas Peña

>> **CORRECCIÓN**
Com. Edgardo Pando Merino

>> **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
María Elena Velarde Kú

>> **IMPRESIÓN**
GMC Digital S.A.C.

Reimpresión: 500 ejemplares
Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional de Perú N° 2009-11539

El contenido de este documento es exclusiva
responsabilidad de los autores y consultores.

>> Contenido

PRESENTACIÓN	>> 4	3.2 Desarrollo de la albañilería confinada a nivel internacional.	>> 26
RECONOCIMIENTOS	>> 5		
1 OBJETIVOS DEL MANUAL	>> 6	4 EL TERREMOTO DE LA REGIÓN ICA DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 Y LAS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	>> 28
2 LA ALBAÑILERÍA CONFINADA	>> 7		
2.1 Definición y método constructivo	>> 7	5 TIPOLOGÍA DE DAÑOS EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA IDENTIFICADAS EN LA ZONA AFECTADA POR EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007	>> 36
2.2 Materiales utilizados	>> 9		
3 DESARROLLO DE LA ALBAÑILERÍA CONFINADA	>> 11	6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	>> 59
3.1 Desarrollo en el Perú. Efectos del terremoto de Áncash del 31 de mayo de 1970 en viviendas de albañilería.	>> 11		

>> Presentación

El presente manual ha sido elaborado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en forma conjunta con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, a través de asesoría y recursos de donación de su Buró para la Prevención de Crisis y Recuperación, así como SENCICO y está dirigido a profesionales, técnicos, capacitadores, gobiernos regionales y locales.

Incluye definiciones técnicas utilizadas en la albañilería confinada, las afectaciones en la zona de la región Ica post sismo, así como la presentación de tipos de daños con una sencilla explicación sobre su reparación y reforzamiento.

Como es público, el sector VIVIENDA, en el marco de sus funciones, ha venido apoyando decididamente el proceso de reconstrucción de la zona afectada por el sismo del 15 de agosto del 2007.

Resulta importante promover las buenas prácticas constructivas, así como dar uso y aplicación a la normativa incluida en el Reglamento Nacional de Edificaciones, y en el caso de los gobiernos locales, proponer un adecuado seguimiento a los procesos constructivos que se proyectan en sus respectivas municipalidades.

Desde el primer momento de la emergencia, el Gobierno Nacional estableció una serie de políticas excepcionales orientadas a

facilitar las acciones de los diferentes actores involucrados en el proceso de Reconstrucción.

Durante el año 2007 y 2008, los esfuerzos del Ministerio se vieron encaminados al diseño conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD de políticas que promuevan la recuperación y reconstrucción de las zonas afectadas, teniendo como objetivo principal establecer las estrategias para la atención integral de la población afectada por el sismo, enmarcadas en procesos planificados, evitando la generación de nuevos riesgos y de manera complementaria, reducir la marginalidad urbana y la precariedad de los asentamientos.

En el marco de la cooperación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD durante el año 2008 se elaboraron diferentes instrumentos técnicos orientados a la ocupación y construcción segura, gestión del suelo, vivienda, ordenamiento territorial y construcción sismorresistente.

En forma complementaria, durante el año 2009 se ejecuta la revisión y actualización de las normas relacionadas con la construcción segura y la planificación urbana, y se ha formulado una propuesta técnica que permitirá orientar las inadecuadas prácticas constructivas y de reparación que se vienen dando en la zona afectada.

Ing. Juan Sarmiento Soto
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

>> Reconocimientos

Dentro del marco del apoyo al proceso de recuperación y reconstrucción de la zona afectada por el sismo del 15 de agosto de 2007, el PNUD y su Buró para la Prevención de Crisis y Recuperación-BCPR, han venido trabajando de la mano del Gobierno Nacional y los gobiernos regionales y locales, con el fin de fortalecer sus capacidades para asumir la difícil tarea de reconstrucción.

Este proceso se ha destacado por la promoción de alternativas para la localización y construcción seguras, así como por el fortalecimiento de los instrumentos técnicos y normativos que permitirán reducir los riesgos existentes y prevenir la generación de nuevas condiciones de riesgo.

Bajo esta iniciativa, se ha continuado con el apoyo al INDECI con el Programa de Ciudades Sostenibles, el cual permite a los gobiernos locales obtener información técnica adecuada para la toma de decisiones. Adicionalmente, durante el año 2008, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, con el apoyo del PNUD y UN HABITAT, elaboró algunos manuales en temas relacionados con la construcción de viviendas sismorresistentes, el programa de ciudades sostenibles y la gestión del suelo, tenencia y ordenamiento territorial.

Estos manuales vienen siendo difundidos a nivel nacional e

internacional y son empleados en procesos de capacitación, lo cual ha contribuido al fortalecimiento de las capacidades técnicas e institucionales de diversas entidades y actores de la reconstrucción.

Complementando lo anterior, dentro del marco de la política de recuperación y reconstrucción, el sector Vivienda identificó la necesidad de asistir técnicamente a aquellas familias afectadas por el sismo, cuyas viviendas no colapsaron, pero presentan daños que deben ser reparados con adecuado asesoramiento técnico.

Por esta razón, se consideró prioritaria la financiación de un manual que oriente la reparación de viviendas de albañilería y su implementación, y diseño y ejecución de un programa de capacitación realizado por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción-SENCICO.

Este manual se ha elaborado gracias a la contribución y asesoría técnica especializada del PNUD y su Buró para la Prevención de Crisis y Recuperación - BCPR, y el trabajo conjunto con la Dirección Nacional de Construcciones del MVCS y la Dirección de Capacitación del SENCICO.

Es importante, a la vez, reconocer y agradecer nuevamente al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, por la confianza y apoyo demostrados al PNUD.

Jorge Chediek

Coordinador Residente del Sistema de las Naciones Unidas
y Representante Residente del PNUD en el Perú

>>1 Objetivos del Manual

- El presente Manual está destinado a servir como guía para reparar y reforzar las viviendas de albañilería dañadas por el sismo ocurrido del 15 de agosto de 2007 en la Región Ica.
- Adicionalmente, se busca, a través del Manual, proporcionar pautas para reforzar aquellas viviendas de albañilería que, actualmente, son riesgosas por no estar reforzadas o por haber sido reparadas, para que, de esta manera, se pueda reducir su vulnerabilidad y sean más seguras.
- El Manual es útil también para concebir, diseñar, construir y supervisar viviendas sismorresistentes nuevas de albañilería confinada.
- El Manual tiene también como objetivo difundir las buenas prácticas sobre la construcción de viviendas de albañilería confinada, las que, según experiencias peruanas e internacio-

nales, han tenido un comportamiento satisfactorio durante sismos intensos, y constituyen, por ello, la solución más económica y eficiente para la albañilería destinada a resistir eventos de este tipo.

Este Manual complementa el *Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes*¹, Capítulo IV: Viviendas de Albañilería Confinada, editado y publicado por el PNUD en mayo de 2008.

Público objetivo: El manual está dirigido en su utilización práctica, a profesionales ingenieros y arquitectos, capacitadores, docentes universitarios y de carreras técnicas de la construcción, así como a las autoridades que requieran de orientación para tomar decisiones sobre acciones de reconstrucción.

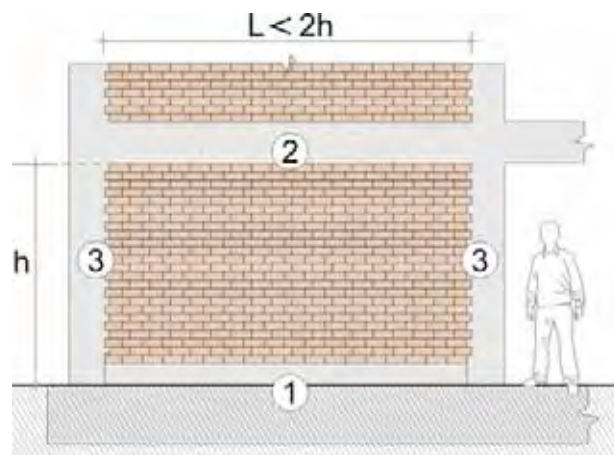
>>1 Kuroiwa J, D. Torrealva, A. San Bartolomé y C. Zavala. Autores.

>>2 La Albañilería Confinada

2.1. DEFINICIÓN Y MÉTODO CONSTRUCTIVO

La albañilería confinada es aquel tipo de sistema constructivo en el que se utilizan piezas de ladrillo rojo de arcilla horneada o bloques de concreto, de modo que los muros quedan bordeados en sus cuatro lados, por elementos de concreto armado.

Por ejemplo, si se trata de un muro en el primer piso, los elementos confinantes horizontales son la cimentación (1) y la viga de amarre (2), y los elementos confinantes verticales son las dos columnas de sus extremos (3). **F-2.1a**. Nótese que la separación máxima entre columnas debe ser menor que dos veces la altura del entrepiso.



>> **F-2.1a**
Albañilería Confinada.

Para lograr una buena integración entre los muros de albañilería y los refuerzos de concreto armado, se recomienda el siguiente proceso: (i) se prepara y construye la cimentación; (ii) luego, se levantan los muros; (iii) se coloca la armadura de refuerzo de las columnas; y (iv) se encofra y se llena con concreto. En **F-2.1b** se puede observar que todos los muros del primer y segundo piso ya



>> **F-2.1b**
Albañilería confinada en proceso constructivo.

tienen vaciadas sus columnas de refuerzo y que las vigas de amarre están incorporadas dentro del espesor de los techos del primer y segundo nivel, respectivamente. Nótese que, en el tercer piso, los muros de ladrillo están contruidos, se han colocado varillas de acero de refuerzo y se están instalando los encofrados de las columnas para, luego, ser llenados de concreto.

En la **F-2.1c** se muestra una edificación de albañilería confinada, ubicada en Pisco, que resistió, sin daños, el terremoto del 15 de agosto de 2007. Nótese que todos los muros están confinados en sus cuatro bordes por elementos de concreto armado. El proyecto,



>>F-2.1c

Vista frontal y lateral de una edificación de albañilería sismorresistente en Pisco. Obsérvese que todos los muros laterales están debidamente confinados con columnas y vigas de concreto armado.

que fue desarrollado en un lote angosto y largo -terrenos que predominan en el área urbana de las ciudades del sur medio- forma un corredor con el que se logra una alta densidad de muros en la dirección del “túnel”, y una baja densidad de muros y flexibilidad en la dirección perpendicular. Este es el caso del edificio del hostel Evert, en el cual las habitaciones son relativamente pequeñas y hay numerosos muros paralelos a la fachada. En la construcción se dispusieron pórticos paralelos a la fachada, con la mayor dimensión en la sección de las columnas, en dicha dirección, lo que aumenta la rigidez y la resistencia sísmica en la dirección flexible del edificio.

>> F-2.1d

Los pórticos con las columnas y los muros de las habitaciones transversales a la mayor dimensión del lote de terreno dan rigidez y resistencia en la dirección flexible del edificio.



Es importante mencionar que el Mapa de Peligros original de Pisco, correspondiente a los años 2001-2002, y el Mapa de Peligros validado entre setiembre y diciembre de 2007, sirven para determinar que el edificio anteriormente mostrado ha sido construido en un sector con peligro alto. Esto demuestra que, con un buen diseño arquitectónico y estructural y una construcción supervisada, se reduce el riesgo y se obtienen edificios más resistentes, a pesar de la forma alargada del lote y de las altas aceleraciones sísmicas.

2.2. MATERIALES UTILIZADOS

LADRILLOS Y BLOQUES DE CONCRETO

Los **ladrillos** son piezas horneadas y fabricadas con arcilla, generalmente de color rojizo cuya resistencia a la compresión debe ser superior a 50 kg/cm².

Los **bloques de concreto** son elementos fabricados con cemento, arena gruesa, piedrecillas chancadas y agua, que han sido sometidos a vibración y compresión para ser moldeados, y que presentan resistencia a una compresión de 50 kg/cm². Las unidades de albañilería pueden ser sólidas o huecas, y no deben ser fabricadas artesanalmente, sobre todo en las zonas sísmicas.

Para muros que son resistentes al corte sísmico, sólo deben utilizarse piezas sólidas.



>>F-2.2

Muestra de un ladrillo y un bloque de concreto sólido utilizados en la Región Ica.

CONCRETO

El **concreto simple** es una mezcla de cemento, arena, piedra y agua. Dependiendo de la dosificación, sea por su volumen o por el peso de cada uno de sus componentes, se obtiene la capacidad resistente deseada según la compresión.

En la cimentación se utiliza “concreto pobre”, con resistencia mínima a la compresión de unos 100 kg/cm²; y en las columnas, vigas y losas de techo de concreto, con una resistencia a la compresión de 175 kg/cm² o más.

Se denomina **concreto armado** cuando se utilizan, como refuerzos, varillas de acero longitudinales -casi siempre se emplea un mínimo de cuatro varillas de 1/2” ó 3/8”, formando una canastilla- unidas por varillas transversales de menor diámetro, llamadas estribos, de 3/8” ó 1/4”, amarradas o “atortoladas” con

alambre N° 16. Así, se conforman elementos sólidamente unidos. Es importante que las varillas de acero queden firmemente unidas entre sí, con la necesaria longitud de anclaje y que los extremos de los estribos queden embebidos en el núcleo de concreto del elemento estructural.

Se recomienda aplicar las Normas Técnicas Peruanas de Concreto Armado y emplear el material didáctico distribuido por SENCICO.

MADERA, BAMBÚ Y CAÑA

En la región macrosísmica afectada por el terremoto de la Región Ica, ocurrido el 15 de agosto de 2007, está muy difundido, en diversos sectores, el uso de techos livianos y flexibles, que se colocan sobre los muros de albañilería.

Por razones de costo, las vigas de bambú y la cobertura de caña chancada son los materiales que más se utilizan en el techado de las viviendas, e incluso en los establecimientos que brindan atención al público, como hoteles y oficinas.

También se utilizan viguetas de madera cubiertas con tablas del mismo material o con caña chancada; sin embargo, su uso se está reduciendo debido al encarecimiento de la madera en la costa.

>>3 Desarrollo de la albañilería confinada

3.1 DESARROLLO EN EL PERÚ. EFECTOS DEL TERREMOTO DE ÁNCASH DEL 31 DE MAYO DE 1970 EN LAS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA

El 31 de mayo de 1970 ocurrió el terremoto de Áncash, de magnitud Richter 7.8, con epicentro en el mar, frente a Casma. El área macrosísmica abarcó más de 50,000 km², afectando, principalmente, el departamento de Áncash, el sur del departamento de La Libertad y el norte del departamento de Lima. La intensidad máxima, en general, fue de VIII MMI, sobre una superficie que se extendió entre Virú, en La Libertad, y el sur de Huarmey, en Áncash, con un ancho de oeste a este, desde la costa, de unos 60 km; y, al otro lado de la Cordillera Negra, una angosta franja localizada en el fondo del Callejón de Huaylas².

En Villa María Baja, Chimbote, F-3.1a, zona donde ocurrió licuación de suelos y hundimiento de viviendas, los daños en las



>>F-3.1a Villa María Baja, Chimbote, inundada por el desborde del río Lacramarca. Amplios sectores se mantienen fangosos por largo tiempo.

viviendas de albañilería fueron del 90%. Se estima que en esta zona la intensidad llegó hasta IX MMI. La calidad de los bloques de concreto en este lugar era baja y la zona estaba constantemente amenazada por las inundaciones del río Lacramarca. El peligro allí es muy alto (como es el caso también de Tambo de Mora, en la Región Ica). Durante El Niño 1982 – 83, el río Lacramarca sepultó con barro esta localidad. Actualmente, Villa María Baja es un pueblo deshabitado.

Precieron en la Región Áncash -según cifras oficiales- 67 mil personas; unas 27 mil quedaron sepultadas bajo el alud causado por el desprendimiento de bloques de nieve y rocas del pico norte del nevado Huascarán, ocasionado por las vibraciones del sismo,

>>2 Mapa de Intensidades Sísmicas del Sismo del 31 de mayo de 1970, por Ernesto Deza. Prof. de la UNMSN y miembro de la ST/CRYRZA.

que arrasó el poblado de Ranrahirca y enterró la ciudad de Yungay. El alud, de unos 60 millones de metros cúbicos, siguió aguas abajo por el río Santa, donde, a lo largo de su recorrido, de sur a norte, continuó causando víctimas, enterrando poblados y arrastrando a los vehículos que se desplazaban por la carretera, paralela al río. Miles perecieron en diferentes lugares de la zona macrosísmica, por los deslizamientos y por el colapso tanto de las viviendas de albañilería no reforzada, como de los edificios de concreto armado que tenían serias deficiencias estructurales.

Unas 40 mil personas perecieron bajo los escombros de sus propias viviendas de adobe, construidas sobre suelos blandos y húmedos, como ocurrió en Huaraz; sobre arena eólica (transportada por el viento), en el caso de San Pedro, Chimbote, o sobre pendientes inestables.



>>F-3.1.b Distribución de daños en las viviendas de albañilería de la ciudad de Chimbote, tras el terremoto de 1970. En la localidad de San Pedro, los daños en las viviendas de adobe llegaron al 100%.

Las viviendas de albañilería, construidas con piezas de ladrillo o bloques de concreto, sufrieron daños de diverso grado en toda la región macrosísmica afectada por el terremoto de 1970. Sin embargo, la gran mayoría de daños se concentró, principalmente, en la ciudad de Chimbote, por lo que los trabajos del Proyecto de Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería (PRRVA) se focalizaron en dicha ciudad. La distribución de daños en las viviendas de albañilería, en porcentaje, se presenta en **F-3.1b**. Los daños en las viviendas de adobe llegaron al 100% en San Pedro. Allí perecieron, aproximadamente, unas mil personas. Era el único lugar de Chimbote en donde había un agrupamiento de viviendas construidas únicamente de adobe.

A diferencia de la mayoría de las ciudades medianas e importantes de la costa peruana, donde predominan las viviendas de adobe, en Chimbote era relevante la albañilería de ladrillos o de bloques de concreto. Esta situación estaba asociada a que sus habitantes contaban con ingresos relativamente altos, por encima del promedio del resto del país, debido a la abundante pesca de anchoveta industrial.

Hacia el noreste y sur de la ciudad, se habían asentado nuevos agrupamientos de viviendas de albañilería con diseños típicos de arquitectura, muchos de ellos con modelos repetidos, lo que permitió avanzar rápidamente en el desarrollo del Proyecto de Repa-

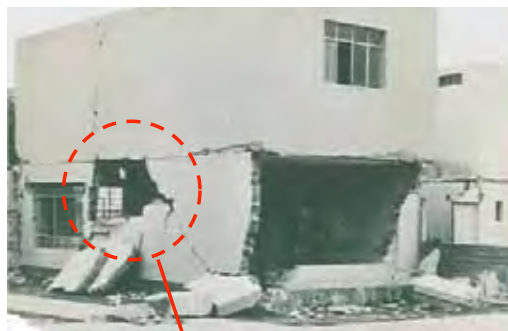
ración y Reforzamiento, asistiendo a grupos de 40 a 60 viviendas dañadas. Muchas de ellas carecían de columnas de refuerzo, como las correspondientes al conjunto de viviendas de los empleados del Banco de la Nación. En estos sectores, el costo de los daños en viviendas estuvo entre el 15 y 30%. Muchas de ellas fallaron, principalmente, por carecer de columnas de refuerzo.

El alto costo de reforzar las viviendas severamente dañadas (más del 30%), lo laborioso del proceso y la carencia de mano de obra -debido a que el proceso de reconstrucción de la zona afectada mantenía ocupados a técnicos y obreros- hizo que estas viviendas fueran demolidas, perdiéndose así el 100% del valor de la construcción.

En las imágenes de **F-3.2a, b y c** se muestran casos típicos de viviendas severamente dañadas por carecer de columnas y vigas de amarre de concreto armado.

Después del sismo, se inició el Proyecto de Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería (PRRVA) impulsado por la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la zona afectada (CRYRZA). En ese tiempo, predominaba la albañilería no reforzada, pero ya se comenzaba a utilizar el refuerzo de columnas de concreto armado y las vigas chatas de confinamiento incluidas dentro del espesor del techo de tipo aligerado. Cuando estos elementos conforman un sistema espacial continuo e integrado, se incrementa notablemente la resistencia sísmica de las viviendas.

FALLAS POR CARENCIA DE COLUMNAS DE REFUERZO. GRUPO DE VIVIENDAS DEL BANCO DE LA NACIÓN, URBANIZACIÓN BUENOS AIRES, CHIMBOTE SUR, SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970



>>F-3.2a Vivienda de albañilería sin columnas y con baja densidad de muros en la dirección paralela a una fachada muy flexible. Nótese el colapso de la fachada posterior y la perforación del muro lateral causados por la escalera rígida que aparece en la foto F-3.2b



>>F-3.2b Vista interior de la misma vivienda. Obsérvese el impacto del descanso de la escalera, que ha perforado el muro lateral.

>>F-3.2c Falla por tracción diagonal de los muros de la fachada del primer y segundo piso por carecer de columnas y vigas de concreto armado que los confinen. Los daños llegan a niveles de 3 ó 4, habiéndose producido grietas y desplazamientos o colapso parcial, respectivamente. Desde el año 1971, la FIC/UNI, se encargó de difundir la eficiencia de las columnas al confinar los muros. En la zona macrosísmica del sismo ocurrido en la Región Ica el 15 de agosto de 2007, no fue fácil, por ello, encontrar casas sin columnas que hubieran sido construidas en las tres últimas décadas.



3.1.1 PROYECTO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA (PRRVA) DAÑADAS POR EL TERREMOTO DE 1970

Las primeras inspecciones de daños fueron efectuadas durante diez días, dentro de las dos semanas inmediatamente después de ocurrido

el sismo del 31 de mayo de 1970, con el objetivo de evaluar, preliminarmente, la magnitud del desastre y estimar las necesidades prioritarias de ayuda humanitaria, así como para obtener una primera aproximación de la inmensa tarea de reconstrucción de la zona macrosísmica. Se identificó que, en Chimbote, había miles de viviendas de albañilería dañadas que necesitaban ser reparadas y reforzadas.

Se conformó una Subcomisión Técnica del Comité de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada por el sismo (ST/CRYRZA), para prestar asesoramiento en los temas de sismología, geología e ingeniería sísmica, respectivamente.*

Las dos primeras recomendaciones presentadas fueron:

- Reconstruir Chimbote basándose en los estudios de microzonificación de suelos de la ciudad, que se sintetizaban en el mapa de peligros múltiples, en donde estaba incluida la amenaza sísmica.
- Desarrollar, el Proyecto de Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería (PRRVA) contando con los servicios de una treintena de bachilleres de Ingeniería Civil.

La más importante conclusión resultante de los estudios de microzonificación fue la recomendación de orientar la expansión de Chimbote hacia el sur, en terrenos que, con el actual método del Programa de Ciudades Sostenibles INDECI/PNUD, habrían sido calificados con el grado de peligro bajo/medio. En cambio, en Villa María Baja, sector donde ocurrió licuación de suelos y que es

* Los integrantes de la Misión Científica Japonesa, presidida por el Dr. R. Morimoto, para entonces director del Instituto Sismológico de la Universidad de Tokio, e integrada por los expertos profesores M. Hakuno, T. Matsuda y Y. Koizumi, todos ellos reconocidos investigadores científicos, trabajaron incansablemente durante cinco meses para desarrollar el Mapa de Microzonificación Sísmica de Chimbote, estudio básico para la elaboración del respectivo mapa de peligros. La contraparte peruana de la Misión Científica Japonesa fue la ST/CRYRZA.

inundable por los desbordes del río Lacramarca, los daños en albañilería llegaron al 90%, porque allí el peligro natural es muy alto. Debemos recalcar que los sectores con esta calificación no deben ser utilizados para fines urbanos.*

El “Plan Chimbote”, que se desarrolló con el aporte del PNUD, siguió los lineamientos del mapa de peligros producido por la Misión Japonesa / ST-CRYRZA. En general, Chimbote se ha expandido de acuerdo con el “Plan Chimbote”, y se ha desarrollado hacia Chimbote Sur.

La prohibición de utilizar para fines urbanos Villa María Baja fue acatada parcialmente por la población, pues este sector fue reocupado en algunos lugares. En el verano de 1983, durante el fenómeno de El Niño, este sector fue inundado por los desbordes del río Lacramarca y quedó enterrado debajo de un estrato de barro de 0.50 m a 0.80 m de espesor. Las nuevas viviendas, construidas después de 1970, se perdieron en un 100%. Muchos exclamaron entonces: “A la naturaleza se le debe respetar”. Hoy, el sector de peligro muy alto de Villa María Baja es un pueblo fantasma con la napa freática aflorando en diversos lugares, lo que convierte a esta zona en inhabitable. Ver **F-3.1a**, pág. 10.

Durante el desarrollo del PRRVA 1970-74, se estudiaron en detalle unas 3,500 viviendas de albañilería con refuerzos de elementos de concreto armado y sin ellos. A partir de estos estudios se desarrollaron los proyectos completos y detallados de reparación

* Programa de Ciudades Sostenibles – Primera Etapa INDECI/PNUD.

y reforzamiento (RR) de 2,500 viviendas, beneficiándose de esta manera a igual número de familias, las cuales recibieron, sin costo alguno, su correspondiente proyecto de reparación y reforzamiento, así como asistencia técnica, asesoría y supervisión durante el proceso constructivo. Además, se les consiguió préstamos muy accesibles del sector vivienda. Asimismo, CRYRZA cubrió los gastos básicos de los voluntarios, como pasajes, estadía, costos operativos y materiales de oficina.

Se estima que numerosos egresados y algunos profesores de la UNI dedicaron unos 750 meses/hombre, entre 1970 y 1974, como aporte voluntario en beneficio de las familias damnificadas por el terremoto del 31 de mayo de 1970.

I. Metodología Empleada para el Desarrollo del PRRVA

El análisis y proceso de desarrollo de los proyectos de reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería se ejecutó cumpliendo los siguientes pasos:

1. En principio, se realizó un rápido análisis de costo-beneficio para determinar si la vivienda era técnica y económicamente factible de ser reparada. Se decidió que aquellas viviendas cuyo costo de reparación y reforzamiento pasara del 30% de su valor no fueran consideradas en el proyecto, por presentar daños en los sistemas eléctricos y de agua y desagüe debido a la fractura de sus muros y techos y a que su reparación estructural no aseguraba el buen funcionamiento de estos servicios.
2. Seleccionada la vivienda, se realizó un registro completo y

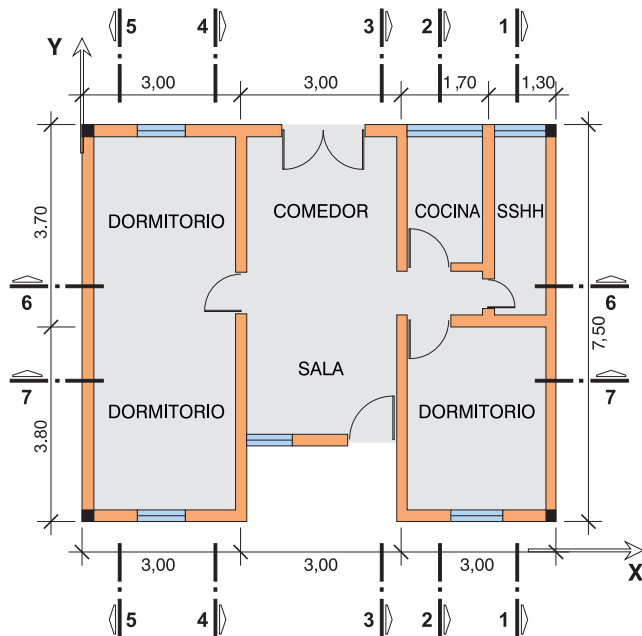
detallado de los deterioros de todos los muros que se habían agrietado (más de 2 mm de espesor) y que tenían fisuras (menos de 2 mm). Acopiando los daños identificados y dibujados, más los resultados de los cálculos de la densidad de muros y la comprobación de la presencia o no de columnas y vigas de refuerzo, se pudieron conocer las causas de los daños, es decir, se tuvo el diagnóstico. En F-3.3 se muestra un grupo de tres viviendas, de las cuales, dos de ellas (la verde y la rosada) sólo tienen columnas en las esquinas, por lo que varios muros de la fachada quedaron sin confinar. Por esta razón, fallaron por



>>F-3.3 Fachadas de tres viviendas de la urbanización Laderas del Norte, Chimbote, que fueron estudiadas en detalle y cuyos PRRVA fueron desarrollados.

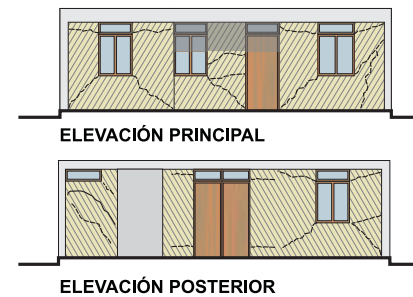
tracción diagonal. En la última vivienda de la derecha (la amarilla), el muro de la fachada tiene confinamiento en sus cuatro bordes y no falló.

En F-3.4a, se presenta la planta original y en F-3.4b, las elevaciones de las dos fachadas, la principal y la posterior, y siete cortes de las viviendas, verde o rosada, de la F-3.3. Como se puede observar, se presentan todas las paredes y sus daños, porque, además de agregarles columnas de refuerzo y vigas de amarre, se dieron detalles de reparaciones típicas de muros. Fue neces-

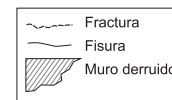


>>F-3.4a

Planta original de las dos viviendas de la izquierda de F-3.3. Nótese que sólo presenta columnas en las cuatro esquinas de la casa, y que las esquinas exteriores del *hall* de entrada no están confinadas. Esta fue la causa principal de que las fachadas fallaran.



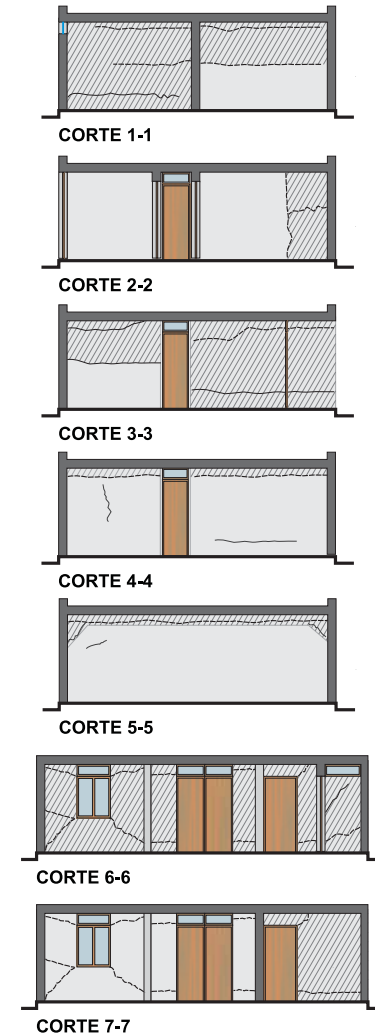
LEYENDA



>>F-3.4b Fachadas principal y posterior, con los daños dibujados en todos los muros.

Nótese que los daños son mucho más severos en las fachadas que en los muros perpendiculares a ellas.

En los cortes 1-1 a 5-5 las fracturas se presentan en la parte superior de los muros, y son la continuación de las fracturas de los ángulos superiores de las fachadas. Se puede interpretar que el techo sufrió muy pequeños desplazamientos laterales.



rio llegar hasta estos detalles, pues se requería tener precios unitarios de cada tipo de reparación, volumen de concreto, cuantía del acero de refuerzo, etc., es decir, los metrados y costos unitarios. Con todos estos datos, se preparó el respectivo presupuesto, como parte integrante del expediente técnico necesario para conseguir los préstamos de la Empresa de Administración de Inmuebles del Perú, EMADI. Dichos préstamos fueron asumidos por las propias familias beneficiadas por el PRRVA.

3. Se decidió, luego, qué nivel de reforzamiento era necesario proporcionarle a cada vivienda afectada para situarla en una condición aceptable de resistencia sísmica, mediante la adición de columnas y vigas collar y de pequeños muros de concreto armado en la dirección débil o donde lo requirieran. La decisión se tomó después del respectivo cálculo de la densidad de muros y de determinar la presencia o no de columnas y vigas de concreto armado.

Después de desarrollar los proyectos de las cien primeras viviendas, quedó claro que los daños ocurrieron, principalmente, por una baja densidad de muros en la dirección paralela a la fachada y por la carencia de columnas de refuerzo. Estos dos parámetros fueron fáciles de determinar, tanto por la lectura de los planos existentes, como por el levantamiento directo de planos de la casa o porque las caras exteriores de los muros laterales no estaban tarrajeadas y las columnas eran visibles, así como picando el tarrajéo para observar si existían o no columnas. En 1971, se comenzaron a difundir estos resultados a nivel local y nacional.

Se desarrollaron así proyectos de reparación y reforzamiento de 2,500 viviendas. Se estudiaron, además, unas 500 o más casas que no habían sufrido daños y otras 500 que colapsaron o sufrieron averías más allá de la factibilidad de su rehabilitación. Los datos de esos 1,000 casos se agregaron a los 2,500 anteriores y sirvieron para incrementar los conocimientos y la experiencia en sismo-resistencia al conocerse las razones por las que algunas viviendas no fallaron y otras, en cambio, colapsaron. De esta manera, el gráfico: *Densidad de Muros versus Grado de Daños* -que tiene como tercer parámetro la presencia o no de columnas de concreto armado- constituye la información estadística completa de los 3,500 casos tomados del campo, como en un gran laboratorio a escala natural, e incluye todos los elementos reales: características de suelo, intensidad sísmica, calidad del diseño y construcción.* Estos datos están recogidos en el gráfico F-3.6. (Pág. 24).

En general, las viviendas sufrieron daños leves o no fueron afectadas cuando tenían una densidad de muros mayor a 12 o 15 cm/m² y contaban con columnas de refuerzo y vigas de amarre.

En cambio, los daños en las viviendas fueron severos cuando la densidad de muros era menor a 10 ó 12 cm/m² y no tenían columnas de refuerzo. Estos resultados son los que figuran en el gráfico F-3.6. (Pág. 24)

Resumen de la Metodología

1. Análisis costo-beneficio para determinar la factibilidad de la reparación.
2. Diagnóstico de la vivienda: levantamiento del deterioro de la vivienda, cálculo de la densidad de muros y comprobación de columnas y vigas de refuerzo.
3. Estimación de metrados, volúmenes de concreto, cantidad de acero de refuerzo.
4. Estimación de costos unitarios y elaboración del presupuesto.
5. Recomendaciones técnicas para reparación y/o reforzamiento, según el diagnóstico de la vivienda.

Para el diagnóstico estructural de la vivienda se recomienda el siguiente formato:

* El Método Chimbote 70 cobró vigencia en 2009, a raíz de la reevaluación de la albañilería confinada durante la 14a Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, Beijing, China, octubre, 2008.

**FORMULARIO PARA LEVANTAMIENTO DE VIVIENDAS
DE ALBAÑILERÍA CONFINADA POR REPARAR Y/O REFORZAR**

1. Propietario u ocupante de la casa: _____

2. Dirección: _____

Uso: _____

3. Dimensiones del terreno: _____

Área techada por piso: 1º: _____ 2º: _____ 3º: _____ Área total: _____

4. Breve descripción (llene si o no, donde sea pertinente):

Nº de pisos: _____ Muro ladrillos: _____ Muro bloquetas: _____

Tiene columnas: _____ Techo aligerado: _____ Vigas de amarre: _____

5. Breve descripción de daños: _____

6. Lugar: _____ Fecha: _____

7. Encuestador: _____

8. Revisión y VºBº: _____

9. Comentarios: _____

10. Esquema en planta, fachadas y muros dañados:

(Las F-3.4a y F-3.4b de la página 17 pueden servir como guías para desarrollar estos esquemas, si es necesario utilice papel adicional)

II. Cálculo de densidad de muros de la vivienda estudiada

Este valor se obtiene operando una fórmula basada en la relación entre el área resistente de los muros y el área techada:

$$\alpha = \frac{\sum L \text{ (cm)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

donde:

α : es la densidad de muros

$\sum L$: es la sumatoria de las longitudes de los muros portantes expresados en cm

Área : es el área techada expresada en m²

Dirección "Y"

Aplicando la fórmula, tenemos:

$$\frac{3100\text{cm} \times 0.6^{(2)}}{7.5\text{m} \times 9\text{m}} = \frac{1860\text{cm}}{67.5\text{m}^2} = 27.55 \frac{\text{cm}}{\text{m}^2}$$

⁽²⁾ Espesor estándar de muro 25 cm = 1, muro de soga 15 cm.

Relación de espesores: 15/25 = 0.6

Nivel de daños: 1 = Fisuras: Aceptable, después de reforzarlo con columnas.

En la dirección "Y", columnas de 0.15 x 0.15

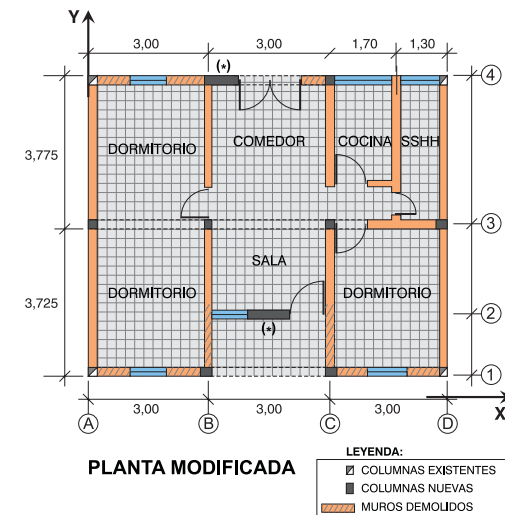
Dirección "X"

$$\frac{2 \times 3\text{m} + 1.30 + 1\text{m} + 2\text{m}}{67.5\text{m}^2} = \frac{1030 \times 0.6\text{cm}}{67.5\text{m}^2} = \frac{618}{67.5} = 9.15 \frac{\text{cm}}{\text{m}^2}$$

El resultado, 9.15 cm/m² (sin columnas), indica un nivel de daños entre 3 y 4, es decir, aparición de grietas, desplazamientos y colapso parcial. Los daños observados corresponden justamente a grietas y desplazamientos en la fachada principal y en la fachada posterior, debido a que los muros de las fachadas no estaban confinados por uno de sus bordes. Después de que estos se dislocan, el daño corresponde a grietas y desplazamientos.

III. Proyecto de reforzamiento:

Los gráficos F-3.5a, b, c y d muestran la planta modificada con los refuerzos adicionales del proyecto de reparación y reforzamiento de la vivienda mostrada en F-3.3 y F-3.4.



>>F-3.5a
Planta modificada.

(*) Los cálculos indicaban muros de concreto de menores dimensiones y completados con mochetas de ladrillos, pero no valía la pena por el proceso constructivo. Además, el techo, que se desplazó ligeramente durante el sismo, quedó firmemente fijado.

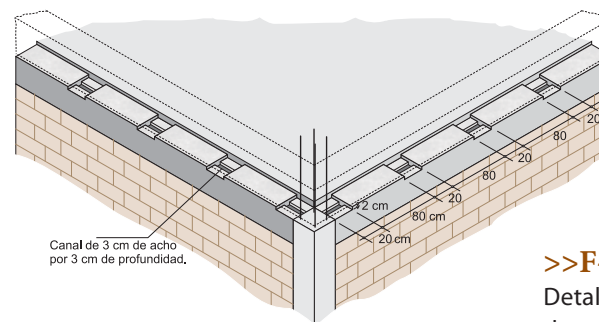
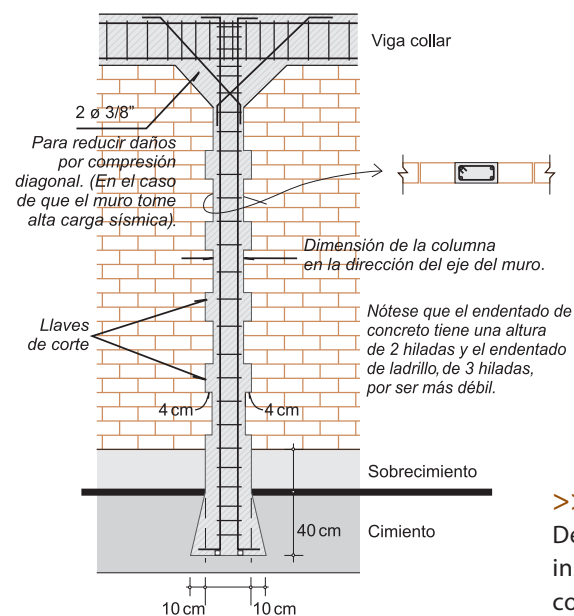
Se han efectuado algunas mejoras respecto del Proyecto de Reparación y Reforzamiento que se aplicó a partir de 1970. Se indican detalles del picado de muros para la colocación de las columnas, **F-3.5b**, y picado en el techo para la colocación de las vigas de amarre, **F-3.5c**. Nótese las cajuelas de corte que se han dejado, tanto en el picado de las columnas como para las vigas; así, el techo quedará fijo. Obsérvese también la forma de pirámide truncada del picado de la cimentación para insertar acero en las columnas. En **F-3.5d** se muestran vistas tridimensionales de los muros con sus nuevas columnas y placas de concreto armado, así como las vigas invertidas colocadas en el techo. Nótese que son continuas y que, al estar firmemente unidas a las cabezas de las columnas y muros de concreto armado, desarrollan un sistema espacial continuo, altamente resistente a las solicitaciones sísmicas.

Las columnas B-1, C-1 y D-3 son de 0.15 m x 0.25 m, con la mayor dimensión orientada en la dirección "X", es decir, en la dirección flexible a la casa.

Los muros de concreto armado tienen, en los ejes 2 y 4, 0.15 m de espesor y la longitud que se indica en el proyecto. No es práctico colocar allí la longitud obtenida de los cálculos y completarla con pequeñas mochetas de ladrillo. Se facilita así el proceso constructivo y se refuerza la resistencia lateral. Recordemos que se estima que el techo tuvo un desplazamiento lateral muy pequeño.

Las nuevas columnas en el eje 3 se alinean con este eje. Para esto, se realiza la única adecuación arquitectónica: la puerta de 0.90 m de ancho, que se mide desde la cara de la columna B-3 hacia el eje 4.

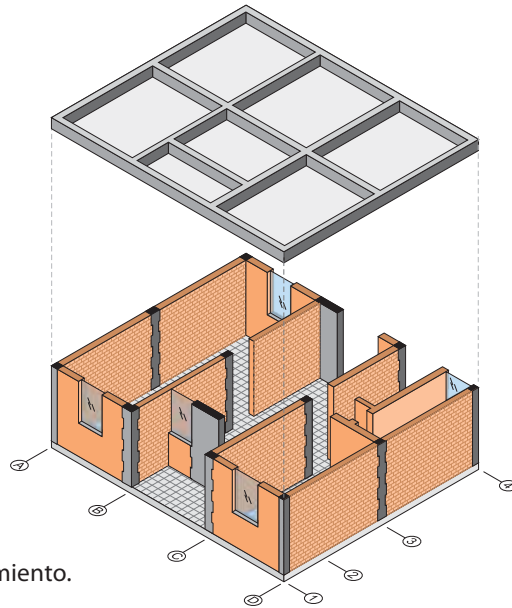
Asimismo, se colocaron vigas de amarre invertidas a todo lo largo de los ejes A, B, C y D y también encima de los ejes 1, 2, 3 y 4,



de 0.17 m x 0.17 m con 4 fierros 3/8" y estribos de Φ 1/4" @ 0.20 m. Con este refuerzo, el nivel de daños resulta entre 1 y 2, cercano a 2, pero, como se están agregando dos muros de concreto armado en esa dirección, el nivel de daños disminuirá a 1, lo que es aceptable. En **F-3.5b** se incluyen detalles de picados para agregar columnas. Nótese que la profundidad de picado en el muro es de sólo 4 cm, hendidura suficiente para servir de llave de corte.

En **F-3.5c** se presentan detalles de llaves de corte para la buena inserción de las vigas de amarre encima del techo existente.

En **F-3.5d** se incluyen proyecciones isométricas de las columnas, placas y vigas invertidas que se agregaron como refuerzos a la casa dañada.



>>F. 3.5d
Volumetría del reforzamiento.

En caso de producirse fisuras en algunos muros, estos no se desplazarán porque están confinados por sus cuatro lados: por la cimentación, las dos columnas de refuerzo y las vigas de amarre.

Dentro de un lapso de 30 a 50 años, si se produjeran sismos intensos, bastaría el repintado de la casa para hacer desaparecer las fisuras, si estas se presentaran. El sistema espacial continuo formado por elementos de concreto armado y una adecuada densidad de muros mantiene a la vivienda estable y sin que sea riesgosa para sus ocupantes.

Es muy importante que el cincel esté muy bien afilado y que se utilice una comba con un peso adecuado para un fácil picado, de tal manera que el concreto y los ladrillos circundantes no queden debilitados y/o removidos.

Este es el método recomendado para el desarrollo de proyectos de reparación y reforzamiento para viviendas que, por carecer de columnas de amarre, han sufrido daños severos por tracción o compresión diagonal.

3.1.2. LECCIONES APRENDIDAS

Se identificaron los parámetros que juegan roles claves en la resistencia sísmica de las viviendas:

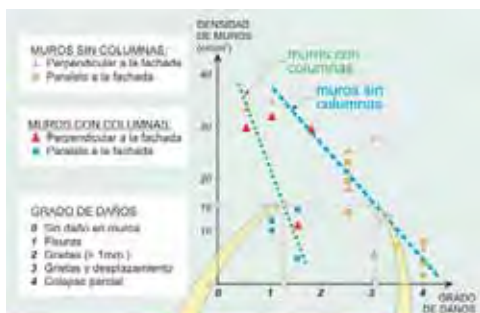
- La densidad de muros, y
- La presencia de columnas de refuerzo y vigas collar de concreto armado, conformando un sistema espacial continuo.

Se han registrado menos daños cuando las construcciones han sido realizadas por profesionales calificados.

DIFUSIÓN

Posteriormente, la difusión se continuó, con la participación de las universidades nacionales y privadas. También se difundió el método en congresos, seminarios, simposios, conferencias y charlas.

3.1.2 PROYECTO DE REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA RESIDENCIA DE LOS PADRES JESUITAS DESPUÉS DEL SISMO DE 1974



>>F. 3.6 Gráfico de densidad de muros versus grado de daños, con columnas y sin ellas, basado en la información estadística obtenida de 3,500 viviendas estudiadas, entre 1970 y 1974, en la región macrosísmica afectada por el terremoto del 31 de mayo de 1970. Es un gráfico muy valioso con plena vigencia en 2009.



El proyecto consistió, esencialmente, en agregarle columnas de refuerzo y vigas de amarre invertidas al techo del segundo piso, tal como se muestra en las fotos. Nótese que, cuando los edificios carecen de elementos de refuerzo para muros con densidad de $15\text{cm}/\text{m}^2$, el daño esperado será de grado 3, produciéndose grietas y desplazamientos. Con los refuerzos agregados, los daños se reducen en 2 grados, acercándose, prácticamente, al grado 1, es decir, ocasionándose únicamente algunas fisuras, lo que es aceptable en muros confinados. Además, la residencia está localizada sobre el conglomerado de la ciudad de Lima, que amplifica poco las ondas sísmicas.

Detalles de picado de concreto y muro para agregar refuerzos de concreto armado (F-3.5b y c)

Cimentación: Picar el cimiento ancho de la columna/muro en la parte superior del cimiento, ampliando 0.10 m por cada lado en el fondo, con una profundidad de 0.40 m, tal como se muestra en los detalles.

>>F-3.7 Proyecto de Reparación y Reforzamiento. (a) Residencia de los Padres Jesuitas, Miraflores, Lima. En proceso de reforzamiento. (b) La residencia fue reparada y reforzada, después de ser dañada por el sismo de Lima de 1974. El Proyecto de Reparación y Reforzamiento estuvo a cargo del autor. Nótese que las columnas y las vigas invertidas en la azotea forman un sistema espacial continuo de concreto armado.

El resultado del picado será un hueco tipo pirámide truncada. Técnicamente, sólo será necesario picar una sección transversal igual a la de la columna. Si es incomodo picar el cimientto, podrá tener una cavidad mayor, pero, al llenar la columna, se deberá encofrar adecuadamente para que todo el conjunto quedé integrado.

Para columnas: Picar los muros para colocar columnas nuevas en la dirección considerada. Deben dejarse llaves de corte que abarquen dos hiladas de ladrillos de 4 cm de profundidad las que, luego, se llenarán de concreto, mientras que tres hiladas de ladrillos deben quedar iguales al ancho de la nueva columna.

Picado para vigas invertidas de amarre: Marcar en el techo la ubicación de todas las vigas invertidas de amarre y picar hasta 1 cm de profundidad, procurando obtener una superficie rugosa.

Picar, cada 0.80 m de longitud de viga, una llave de corte de 20 cm de longitud y 2 cm de profundidad, que sea del ancho de la viga, como se muestra en F-3.5c.

En el centro de este tramo de 0.20 m, picar en el interior una canaleta de 3 cm x 3 cm, que es una llave que toma corte e impide que la viga se deslice transversalmente.

Colocación de la armadura

Sobrecimiento: Si el sobrecimiento es armado, preparar la canastilla de 4 varillas, generalmente de 4Ø3/8", cuidando que sus extremos estén debidamente grifados y anclados a la armadura de la viga transversal y pasando por el lado interior de la armadura de las columnas, que se muestra transversalmente.

Columnas: Se arma el castillo con 4 varillas del diámetro especificado en el diseño, fijándolas con estribos, generalmente de 3/8" o 1/4", que deben rodear los fierros verticales hasta un ángulo de 135° para que sus extremos queden anclados en el núcleo de la columna. En el fondo de la zapata se deben colocar dados de concreto de 4 cm de espesor para darle al acero, doblado a 90° (patita), el recubrimiento de concreto y separarlo del fondo del piso.

Unión de las varillas de acero a columnas con varillas de acero de vigas de amarre: Si se tuviera que construir el segundo piso, se deben pasar varillas de columnas de longitud suficiente por encima de la losa del primer piso (40 cm), para tener suficiente longitud de empalme con el acero de las columnas del segundo piso.

3.2 DESARROLLO DE LA ALBAÑILERÍA CONFINADA A NIVEL INTERNACIONAL

En la 14ª Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica (14ª CMIS), Beijing, China, realizada del 12 al 17 de octubre de 2008, se reconoció, por el consenso de especialistas que habían ejecutado esta verificación en diversas regiones sísmicas del mundo, el buen comportamiento sísmico de las viviendas de albañilería confinada. Hubo, igualmente, consenso en que para casas de uno o dos pisos este tipo de construcción constituye la solución más económica, segura y eficiente. Al respecto, una de las contribuciones más importantes, fue la del Centro Nacional de Información de Ingeniería Sísmica del Instituto Tecnológico de Kanpur, India, que publicó, en setiembre de 2008, el manual “*Construcción Sísmica de Albañilería Confinada*”⁴, que tiene 85 páginas en formato pequeño y que recoge los avances en el desarrollo de esta técnica constructiva, mencionando que el Perú es uno de los países que ha realizado

importantes aportes sobre este método constructivo.

Por su parte, el Comité Ejecutivo de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica, en una de sus reuniones, decidió adherirse a la Red Internacional de Albañilería Confinada, con el objetivo de tener un tratamiento unificado en el diseño, construcción y aplicación global de la construcción de albañilería confinada para edificaciones de baja y media altura.

La propuesta fue presentada por el profesor Sudhir K. Jain, del Departamento de Ingeniería Civil del Instituto de Tecnología de la India. El profesor Jain reportó, como antecedente, que en enero de 2008 se realizó en Kanpur, India, un seminario taller internacional para la promoción de la albañilería confinada, organizado por el NICEE y denominado “Enciclopedia para las Viviendas del Mundo y La Iniciativa Mundial de Seguridad Sísmica”. En esa ocasión,

>>4 Svetlana Brzev (September, 2008). Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction. NICEE – Indian Institute of Technology Kanpur. India.

un grupo de expertos internacionales de la India, EE.UU., Suiza, Perú, México, China y Canadá, crearon la Red Internacional de Albañilería Confinada, con los dos objetivos siguientes:

- Mejorar la calidad del diseño y la construcción de la albañilería confinada, que actualmente se utiliza, y
- Difundir esta técnica en las diversas regiones sísmicas del mundo, como medida importante para la disminución de riesgos.

Estos y otros trabajos presentados en la 14ª CMIS corroboraron que la albañilería confinada ha dado buenos resultados a nivel mundial, porque resiste altas intensidades sísmicas sin mayores daños. Como se ha expresado anteriormente, en el Perú se han desarrollado métodos para la reparación y reforzamiento de este tipo de

viviendas entre 1970 y 1974, cuando se estudiaron los 3,500 casos de viviendas dañadas por el terremoto de Áncash del 31 de mayo de 1970. Dichos resultados constituyen un aporte nuestro país al desarrollo de la albañilería confinada a nivel internacional.

En el seminario internacional sobre Hiperbase de Datos para la Reducción de Desastres (HDR, por su sigla en inglés), realizado en Kobe, Japón, en 2006, el Dr. Charles Scawthorn, profesor e investigador de la Universidad de California, en Berkeley, para entonces en la Universidad de Kyoto, Japón, comentó al autor, en comunicación personal, que el enfoque conceptual y los métodos de reparación y reforzamiento recomendados por un panel internacional de expertos para la reconstrucción de viviendas dañadas por el terremoto de Pakistán de 2005, eran similares a los desarrollados por el Perú en los años setenta.

>>4 El terremoto de la Región Ica del 15 de agosto de 2007 y las viviendas de albañilería confinada

4.1 ASPECTOS SISMOLÓGICOS

El miércoles 15 de agosto, a las 18h. 41m., hora local, un sismo de magnitud Mw 8.0 ocurrió en el mar, frente a la Región Ica, con epicentro en las coordenadas 13.39° S y 76.57° W y con una profundidad focal de 39 km, según el Servicio de Geología de los Estados Unidos (USGS). El Instituto Geofísico del Perú reportó Mw 7.9.

La ciudad afectada más cercana fue Chincha Alta, pues el epicentro se ubicó 50 km al este de dicha localidad. La intensidad máxima se produjo en la parte central de Pisco y en Pisco Playa, donde se registró grado VIII en la escala de Mercalli Modificada, al igual que en las zonas rurales de las provincias de Chincha y Pisco, en particular en el sector comprendido entre la carretera Panamericana y el mar, debido a su menor distancia respecto del foco del sismo, su menor altura geográfica y la presencia de la napa freática cercana a la superficie del suelo.

Fue notoria la larga duración de este sismo, si se le compara con la duración promedio de la fase intensa de sismos de magnitud similar que, en general, suele ser la mitad del tiempo que duró este

terremoto, que fue de, aproximadamente, 210 segundos. Esto evidencia la complejidad del proceso de ruptura⁷. Son de interés para la ingeniería nacional los acelerogramas registrados en Ica y, particularmente, los obtenidos en Lima por el IGP, CISMID, PUCP, CERESIS y SEDAPAL.

Sin embargo, se perdieron valiosos datos debido al escaso número de instrumentos instalados en el Perú -unas pocas decenas- en comparación con los miles de acelerógrafos instalados, por ejemplo, en EE.UU. y Japón. Por esta razón, es urgente incrementar en nuestro país el número de acelerógrafos.

4.2 EFECTOS DE SITIO DEL SISMO

Se han realizado, sistemáticamente, estudios en la zona afectada, para analizar los efectos del terremoto en edificaciones de diverso

⁷>> Aspectos Sismológicos del Sismo del 15.08.2007. Tavera y otros, 2007.

uso y tipo: viviendas, centros educativos, hospitales, oficinas, entre otros, prestando especial atención a los daños en las viviendas de adobe y de albañilería y su relación con las características locales del suelo, geología y topografía.

También se investigaron los efectos en infraestructura: agua, alcantarillado, carreteras y canales de irrigación.

LICUACIÓN DE SUELOS EN TAMBO DE MORA

En la inspección técnica realizada en Tambo de Mora el 18 de agosto de 2007, se verificó que el agua eyectada por la licuación, a través de los conos volcánicos de arena y las grietas, aún estaba presente. El mapa de peligros elaborado por el Programa Ciudades Sostenibles-Primera Etapa (PCS-1E) INDECI/PNUD, desarrollado en 2001-02, indicaba que, en el caso de ocurrir un terremoto en la Región Ica, Tambo de Mora sería el lugar más afectado debido a la amenaza de licuación de suelos y tsunamis.

En esta localidad, ocurrió licuación de suelos de manera extensiva, produciéndose el hundimiento de filas completas de viviendas, conjuntamente con la cárcel de Tambo de Mora. Las edificaciones se asentaron entre 0.50 y 1.00 m. En el caso de la prisión, los cercos de la cárcel colapsaron y algunos internos huyeron.

En esta zona también se registró el desplazamiento lateral de suelo (*lateral spread*, en inglés técnico), que causó desplazamientos y separación de los muros.

En las viviendas, pistas y veredas de Tambo de Mora quedaron visibles huellas de ocurrencia de licuación. Casi todos los postes de electricidad quedaron inclinados.

Al pie de la planicie, área donde se desarrolla parte de la actividad rural de Chinchipe, hacia el N-E de Tambo de Mora, se pudieron notar numerosas grietas y volcanes de arena, como parte de la masiva licuación que ocurrió en Canchamaná, la que fue reportada por Rodríguez Marek A., Alva Hurtado J. y otros⁸. Este es uno de los cinco casos de estudio que presentó el grupo de trabajo de la Misión de Reconocimiento del GEER. Estos cinco casos de estudio son los siguientes: falla de las pendientes en Jahuay, desplazamiento lateral en Canchamaná, fallas de cimentación en Tambo de Mora, caso de Lagunillas, un complejo habitacional de recreo de verano ubicado en el km 71 de la carretera Panamericana Sur, y licuación de suelos en el Puerto San Martín, ubicado en Punta Pejerrey, en Pisco. Las fotos de F-4.1 a F-4.6 muestran los daños ocurridos en Tambo de Mora.

DAÑOS EN INFRAESTRUCTURAS POR TSUNAMI

La Misión de Reconocimiento del GEER, que investigó el aspecto geotécnico del terremoto por más de una semana, informó que, en la zona afectada por el sismo (ZAS), ocurrieron unos mil deslizamientos, entre grandes y pequeños. Uno de los mayores se produjo en la subida de Jahuay hacia Chinchipe, donde el lado no confinado de la carretera Panamericana se deslizó a lo largo de unos pocos cientos de metros y ocasionó un hundimiento de 3 a 4 m, F-4.7. Este deslizamiento inhabilitó la carretera por tres días,

>>8 Report of the National Science Foundation-Sponsored Geotechnical Earthquake Engineering Reconnaissance (GEER) Team.
http://gees.usc.edu/GEER/Peru_2007/Peru_2007_WebPage/index.htm

DAÑOS POR LICUACIÓN EN TAMBO DE MORA Y EN LAS ÁREAS CERCANAS



>>F-4.1 Ayuda humanitaria brindada la mañana del 18 de agosto de 2007. Lugar: zona adyacente al camino rural Sunampe - Tambo de Mora.



>>F-4.2 Licuación generalizada de suelos en Canchamaná, al norte de Tambo de Mora.



>>F-4.3 Hundimiento de varios edificios de la cárcel de Tambo de Mora.



>>F-4.4 Separación de muros por corrimiento horizontal del suelo (*lateral spread*).



>>F-4.5 Hundimiento de numerosas viviendas entre 0.40 y 0.90 m.



>>F-4.6 La licuación en la base de los postes eléctricos causó que estos se inclinaran.

tiempo durante el cual se mantuvo cerrada, mientras se reparaba con urgencia la plataforma.

Entre el km 188 y 190, el agua de los humedales proviene de la infiltración producida por la irrigación de la pampa El Ñoco, que se riega por inundación. La plataforma agrícola se ubica hacia el oeste, a 35 ó 50 m por encima de la carretera Panamericana⁹. La subida de Jahuay a Chincha (en la foto) es afectada por la humedad de la quebrada Chillón. Allí, una alcantarilla de concreto de dos ojos falló por corte y la plataforma de la carretera se deslizó -signo de que, en este lugar, la aceleración sísmica fue alta- por efecto de la humedad del suelo. Durante el terremoto de Arequipa de 2001, la carretera Panamericana sólo sufrió daños en sus cruces con ríos y en los lugares donde de la plataforma del lado no confinado tenía más de 3 ó 4 m de altura.

En el trazo de la nueva carretera Panamericana Sur, los estudios geotécnicos detallados proporcionan la mejor opción técnico económica. En especial, deberá tenerse cuidado en el sector que cruza Canchamaná, donde por la licuación generalizada de suelos se formaron grandes grietas y el suelo se desplazó ostensiblemente de manera lateral. En las fotos F-4.8 a F-4.13 se incluyen fotografías de los daños en las infraestructuras cuasados por el sismo y el tsunami.

DAÑOS EN EL SECTOR VIVIENDA

Los daños en las viviendas, que se incluyen a continuación en la **Tabla 4.1**, tienen como fuente el Instituto Nacional de Estadística

>>9 Informe sobre Estudios de Validación del Mapa de Peligros de Chincha. Coordinación: Arq. Rocío Cuadros. Financiamiento: DFID, del Reino Unido.



>>F-4.7

La carretera Panamericana Sur sufrió severos daños en lugares donde el suelo es húmedo, como ocurrió en la subida de Jahuay hacia Chincha, en el km 200; y al sur del Puente Huamaní, zona que es humedecida por el río Pisco.

e Informática, INEI, de conformidad con el Censo de Damnificados del Sismo del 15 de agosto de 2007.

Del análisis de esta tabla se deduce que los mayores esfuerzos de reconstrucción de viviendas deben darse en las provincias de Ica, Chincha, Pisco, Cañete, Yauyos, Huaytará y Castrovirreyna, en ese orden, de acuerdo con el número de viviendas destruidas, inhabitables y afectadas.

TABLA 4.1

Viviendas por grado de afectación según departamento y provincia. 2007.

DEPARTAMENTO PROVINCIA	TOTAL VIVIENDAS		GRADO DEL DAÑO DE LAS VIVIENDAS			
			VIVIENDAS DESTRUIDAS		VIVIENDAS MUY AFECTADAS	
		(%)		(%)		(%)
TOTAL EN ÁREA AFECTADA	75,786	100	52,154	100	23,632	100
DEPARTAMENTO DE ICA¹	64,868	85.6	46,455	89.0	18,413	78.0
ICA	27,024	35.6	20,013	38.4	7,011	29.7
CHINCHA	24,599	32.5	17,708	34.0	6,891	29.2
PISCO	13,245	17.5	8,734	16.6	4,511	19.1
DEPARTAMENTO DE LIMA²	9,011	12.5	4,906	9.4	4,105	17.4
CAÑETE	7,977	10.5	4,547	8.7	3,430	14.5
YAUYOS	1,034	1.5	359	0.7	675	2.9
DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA³	1,907	2.4	793	1.6	1,114	4.7
CASTROVIRREYNA	890	1.1	370	0.7	520	2.2
HUAYTARÁ	987	1.3	417	0.8	570	2.4
HUANCVELICA *	30	0.0	6	0.0	24	0.1

>>1 En Palpa y Nasca, los daños fueron menores debido a su mayor distancia con respecto del epicentro y a que la mayoría de las viviendas vulnerables había fallado en el sismo de Nasca de 1996.

>>2 También hubo daños en las provincias de Lima y en el Callao.

>>3 Asimismo, se reportaron hubo viviendas destruidas y afectadas en las regiones de Ayacucho y Junín, que completan las diferencias con respecto a los totales.

* Distrito de Acobambilla.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LAS VIVIENDAS AFECTADAS

La mayoría de viviendas que colapsaron, quedaron inhabitables o fueron severamente afectadas, eran de adobe y estaban construidas con técnicas inadecuadas. **F-4.14**

Las construcciones de albañilería y de concreto reforzado que fallaron tenían defectos estructurales y no habían sido diseñadas de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones, del que forma parte la Norma Sismorresistente (NSR). **F-4.15**

La NSR NTE 0.30/97, aprobada por el gobierno nacional en 1997, eliminó el defecto estructural de columna corta de los locales escolares. Ningún centro educativo diseñado con la norma NTE 0.30/97 falló durante el terremoto de Arequipa del año 2001 ni en el terremoto de la Región Ica del 15 de agosto de 2007. **F-4.15**

Las fotos **F-4.16** y **F-4.17** muestran graves defectos constructivos, muy comunes en el Perú, que han causado importantes pérdidas materiales.

En las obras de reparación y reforzamiento de un centro educativo, las juntas deben quedar completamente limpias. Si por razones estéticas no se desea que se vean los espacios libres existentes entre edificios adyacentes, se pueden colocar tapajuntas metálicas, fijas en un lado y deslizantes en el otro. En Imperial, Cañete, en un colegio en reparación se estaba cometiendo este mismo error constructivo (17 de diciembre de 2008).

DAÑOS CAUSADOS POR EL SISMO Y POR EL TSUNAMI



>>F-4.8 Vista área del puente Huamaní, que cruza el río Pisco. Presenta daños severos en su estribo sur y en un apoyo intermedio.



>>F-4.9 Daños en un apoyo intermedio del puente Huamaní.



>>F-4.10 Interrupción de la carretera Panamericana Sur por el deslizamiento de su plataforma.



>>F-4.11 Colapso de una torre de telecomunicaciones, en Pisco.



>>F-4.12 Embarcaciones varadas en San Andrés, Pisco.



>>F-4.13 Daños provocados por el tsunami que afectó la zona de Lagunillas, en Pisco, y destruyó el terminal pesquero.

>>F-4.14 Diferencia de comportamiento de casas de adobe y de ladrillo confinado durante sismos intensos. Adelante: colapso total de una vivienda de adobe. Al fondo: casa de albañilería confinada sin daños. Nótese que el dintel de la ventana de la izquierda está integrado a la viga collar del techo del segundo piso. El lugar está ubicado cerca del límite entre Tambo de Mora y Chincha Baja. 15 de agosto de 2007.



>>F-4.15 Colegio San José de los Molinos, Ica. Pabellón antiguo (izquierda) que falló por columna corta. El pabellón nuevo, al fondo, diseñado con la NSR NTE 0.30/97, no sufrió daños, al igual que numerosos centros educativos en el suroeste del Perú, que tampoco fueron afectados por los terremotos de Arequipa, en 2001, ni de Ica, en 2007.



>>F-4.16 Pabellón del CEOGE, en Pisco, afectado por el sismo del 15 de agosto de 2007. Por las dimensiones de las columnas en la dirección flexible del edificio, se deduce que no fue diseñado con la Norma Sismorresistente NTE 0.30/97, ni con la vigente del año 2003.



>>F-4.17 Nótese las fisuras por tracción diagonal en el tramo corto de la columna. Además, la intención de aislar la columna con junta rellena con planchas de tecnopor no funcionó por su poco espesor, Asimismo, se tarrajó encima, anulando el intencionado efecto separador.

Los daños en viviendas de albañilería en el sismo que afectó la Región Ica en el año 2007 fueron mucho menores que los ocurridos durante el sismo de Áncash de 1970, debido a la paulatina incorporación de columnas de refuerzo en las viviendas de uno o dos pisos. En este sentido, los daños en las viviendas de albañilería no fueron severos en Ica, Pisco, Chincha y Cañete.

En estas ciudades, los daños en las viviendas se debieron, en gran parte de los casos, a que las casas de albañilería, con columnas de refuerzo carecían de vigas de amarre. Fue notoria esta diferencia en el caso de los techos livianos y flexibles, cercos o viviendas a medio construir, tal como se verá en el próximo capítulo: “Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería Dañadas”.

Los estudios¹⁰ realizados por el CISMID FIC/UNI después del sismo ocurrido en la Región Ica de 2007, en Tambo de Mora y Chincha Baja, por encargo del Banco Mundial, indican que en Chincha Baja, como consecuencia del terremoto, colapsó solamente el 2% de las viviendas de albañilería, el 3% resultó con daños severos y el 95% restante tuvo daños leves o no registró daño alguno. Estos datos, que muestran la respuesta de las construcciones de albañilería a las solicitaciones sísmicas, son muy interesantes porque constituyen un claro indicador del avance de la albañilería sismorresistente en el Perú. Chincha Baja está ubicada bastante cerca del epicentro del sismo. En este lugar las aceleraciones fueron altas y se estima que las construcciones fueron realizadas, en su mayoría, por maestros de obra y albañiles;

>>10 Microzonificación Sísmica y Zonificación por Peligro de Tsunami en Chincha Baja y Tambo de Mora.

>>F-4.18 Vivienda en San Luis de Cañete no afectada por el sismo del 15 de agosto de 2007. Nótese que la fachada está debidamente estructurada. Tiene dos columnas en las esquinas y dos columnas que sirven



de marco a la puerta de ingreso y que suben al segundo piso. Los dinteles sobre cada vano, en lugar de tener un empotramiento de 0.30 m en cada lado, como es la práctica común, corren a todo lo largo de la fachada. Las varillas de acero sobresalen por encima del techo con una longitud adecuada para empalmar con las varillas de las columnas del segundo piso.

a pesar de ello, los daños en las viviendas de albañilería fueron bastante bajos.

En San Luis de Cañete, durante el terremoto de 1974, numerosas viviendas de adobe sufrieron daños severos o colapsaron. San Luis y sus anexos tienen una población de unos 13 mil habitantes. Un porcentaje importante de su fuerza laboral se dedica a la construcción y son maestros de obra, albañiles, oficiales y ayudantes. Después del sismo de 1974, a pesar de sus limitados recursos, los habitantes de San Luis decidieron reconstruir sus casas utilizando la albañilería confinada. Tras el terremoto del 15 de agosto de 2007, esas viviendas no sufrieron daños.

Una de las buenas prácticas de construcción aplicadas en San Luis de Cañete se ilustra en la fotografía F-4.18.