

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE GRADUADOS



HERRAMIENTAS PARA LA CAPACITACIÓN EN REFORZAMIENTO CON MALLA DE
CUERDAS DE VIVIENDAS DE ADOBE AUTOCONSTRUIDAS EN ÁREAS SÍSMICAS

Tesis para optar el Grado de **Magíster en Ingeniería Civil**, que presenta la Ingeniera:
Malena Alessandra Serrano Lazo

ASESOR: Marcial Blondet Saavedra Ph.D.

Lima, abril de 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el Dr. Marcial Blondet, quien me encaminó y apoyó constantemente en el desarrollo de este proyecto de tesis. Mi más profundo agradecimiento hacia su persona.

A Gladys Villa García y todo el personal del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas PUCP por su capacidad técnica y apoyo solidario durante el diseño y ensayo de los modelos a escala reducida con la mesa vibratoria portátil.

A Tesania Velásquez, Carla Sagástegui, Juan Miguel Espinoza, Gabriela Gutiérrez, Alicia Noa, y especialmente a María Teresa Rodríguez y Ruth Nevado de la Dirección Académica de Responsabilidad Social, y Juan Quispe de Cáritas Caravelí, quienes hicieron del proyecto en Pullo una experiencia maravillosa e inolvidable.

A Álvaro Rubiños y Elin Mattsson, a quienes considero grandes amigos a la distancia y siempre recuerdo con una sonrisa. Algún día nos volveremos a reunir y continuaremos el trabajo que hemos comenzado en Pullo.

Finalmente, a mis compañeros y compañeras de la maestría, quienes se convirtieron en una segunda familia durante estos dos años y estuvieron ahí para celebrar los buenos momentos y darme ánimos en los malos momentos. Gracias a su apoyo y cariño esta tesis es posible.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se lo dedico a mis padres, ellos son mi gran apoyo e inspiración, todo lo que soy y lo que hago se lo debo a ellos. Mi padre ha sido el mejor consejero y cómplice en todo momento, y mi madre ha sido un abrazo alentador día y noche. Los quiero muchísimo y esta maestría se la dedico a ustedes.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	Página 1
1.2. Antecedentes y justificación	Página 2
1.3. Hipótesis.....	Página 3
1.4. Objetivos.....	Página 3

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

2.1. Introducción.....	Página 5
2.2. Marco teórico	Página 5
2.2.1. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe.....	Página 5
2.2.2. Reforzamiento con mallas de cuerdas.....	Página 6
2.2.3. Herramientas de transferencia tecnológica.....	Página 8
2.3. Metodología y plan de trabajo.....	Página 10

3. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍA DE CAPACITACIÓN

3.1. Introducción.....	Página 13
3.2. Ensayos dinámicos con la mesa vibratoria portátil	Página 13
3.2.1. La mesa vibratoria portátil PUCP	Página 13
3.2.2. Elaboración de unidades de adobe.....	Página 15
3.2.3. Construcción de modelos a escala.....	Página 16
3.2.4. Ensayo dinámico de modelos a escala.....	Página 17
3.3. Manual de construcción ilustrado.....	Página 18
3.3.1. Actualización del manual de construcción con adobe reforzado con geomallas.....	Página 18
3.3.2. Características del manual de construcción actualizado.....	Página 19
3.3.3. Público objetivo	Página 21
3.4. Metodología de capacitación	Página 22
3.4.1. Actividades de diagnóstico.....	Página 22
3.4.2. Actividades de sensibilización.....	Página 23
3.4.3. Actividades de capacitación	Página 25

4. PROYECTO DE CAPACITACIÓN PILOTO

4.1. Introducción.....	Página 28
4.2. Zona de estudio.....	Página 28
4.2.1. Características generales.....	Página 28
4.2.2. Demografía, pobreza y situaciones de vulnerabilidad.....	Página 29
4.2.3. Salud y educación.....	Página 30
4.2.4. Actividades productivas.....	Página 30
4.2.5. Comunicaciones.....	Página 31
4.3. Viaje de diagnóstico y vinculación.....	Página 31
4.3.1. Pedido de ayuda.....	Página 31
4.3.2. Actores institucionales y comunitarios.....	Página 32
4.3.3. Caracterización de viviendas: materiales de construcción y proceso constructivo.....	Página 34
4.3.4. Infraestructura dañada.....	Página 36
4.3.5. Percepciones de la población en torno a la actividad sísmica.....	Página 38
4.4. Primer viaje de trabajo: actividades de sensibilización.....	Página 39
4.4.1. Actividades previas.....	Página 40
4.4.2. Sesión de trabajo.....	Página 40
4.5. Segundo viaje de trabajo: actividades de capacitación.....	Página 44
4.5.1. Actividades previas.....	Página 44
4.5.2. Sesiones de trabajo.....	Página 45

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Introducción.....	Página 52
5.2. La pertinencia de la malla de cuerdas.....	Página 52
5.3. La experiencia de capacitación.....	Página 54
5.3.1. El impacto de la mesa vibratoria portátil.....	Página 54
5.3.2. Las dificultades para la transferencia tecnológica.....	Página 55
5.3.3. La importancia del trabajo interdisciplinario.....	Página 58
5.4. El impacto de las actividades de sensibilización y capacitación.....	Página 59
5.4.1. El incremento en la conciencia sísmica de la población.....	Página 59
5.4.2. La aceptación de la malla de cuerdas.....	Página 60

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	Página 61
6.2. Recomendaciones.....	Página 62

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	Página 64
-------------------------------------	-----------

ANEXOS

Artículo "Capacitación en construcción sismorresistente con adobe de una comunidad andina"	Página 67
Artículo "Sustainable Dissemination of Earthquake Resistant Construction in the Peruvian Andes"	Página 74

RESUMEN

Durante las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas de reforzamiento para mejorar la seguridad estructural de las viviendas de tierra ubicadas en áreas sísmicas. Sin embargo, ninguna de estas técnicas ha sido adoptada masivamente por las personas a quienes van dirigidas, debido principalmente a su alto costo y a la falta de difusión. En consecuencia, resulta necesario desarrollar proyectos de transferencia tecnológica y de capacitación en construcción sismorresistente con tierra para mitigar el inaceptable riesgo sísmico de muchas poblaciones rurales.

Este proyecto de tesis presenta el diseño y la aplicación de herramientas de transferencia tecnológica para la capacitación de una comunidad andina en construcción sismorresistente con adobe. Se eligió para este proyecto el distrito de Pullo (Ayacucho), ubicado en una zona altamente sísmica, donde más del 80% de pobladores reside en casas de adobe y más del 50% vive en condiciones de pobreza o pobreza extrema. El proyecto consistió en trabajar con los pobladores para que tomen conciencia de la vulnerabilidad de sus viviendas de adobe no reforzado y para que aprendan en forma práctica la técnica de refuerzo con mallas de cuerdas de nylon. Se espera que el proyecto pueda ser aplicado con la misma efectividad en otras poblaciones ubicadas en zonas sísmicas donde la construcción en adobe sea predominante.

El documento presenta primero las herramientas y la metodología de capacitación empleados en el proyecto: una mesa vibradora portátil para demostrar la efectividad del refuerzo propuesto y un manual de construcción sismorresistente en adobe. Luego se describe la experiencia de capacitación de la población de Pullo, y finalmente se discuten las conclusiones obtenidas sobre la efectividad del proceso de capacitación y la posibilidad de réplica del proyecto en otras comunidades en riesgo sísmico.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Perú, cerca del 35% de la población utiliza el adobe como material de construcción (INEI, 2007). En efecto, la mayor parte de la población rural continúa construyendo en adobe debido a su bajo costo pese a su alta vulnerabilidad sísmica. La mayor parte de construcciones de adobe se realizan de manera informal, sin supervisión técnica y con materiales de baja calidad. En consecuencia, carecen de refuerzo sísmico adecuado y sus muros son pesados, débiles y frágiles (Blondet et al. 2008).

La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), en conjunto con otras instituciones, ha estudiado y desarrollado diversas tecnologías de bajo costo para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe. Sin embargo, los programas de capacitación y disseminación en construcción sismorresistente para los materiales y procedimientos desarrollados no han tenido éxito en el tiempo (Macabuag y Quiun 2013). La ausencia de refuerzo sísmico en las viviendas de adobe construidas de manera tradicional se ha convertido en un problema de difícil solución, que ocasiona que millones de personas vivan en condiciones de vulnerabilidad sísmica inaceptables.

En este trabajo de tesis se presenta la actualización de dos herramientas de transferencia tecnológica, la "mesa vibratoria portátil" y el manual de construcción ilustrado, que fueron desarrolladas originalmente como parte de un proyecto de investigación posterior al terremoto de Pisco en el año 2007 (Blondet et al. 2008). Luego, se propone una metodología de capacitación en reforzamiento con malla de cuerdas para viviendas de adobe autoconstruidas en comunidades rurales haciendo uso de herramientas de comunicación y educación previamente elaboradas. Finalmente, se presenta como caso de estudio, la validación de la herramienta actualizada y la aplicación de la metodología de capacitación propuesta, entre los pobladores del distrito de Pullo, provincia de Parinacochas, departamento de Ayacucho.

1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos y más utilizados del mundo. En la antigüedad, se convirtió en el principal material constructivo de diversas culturas pues el adobe es adecuado para construir en climas calientes, secos y en tierras desprovistas de vegetación (Tolles et al. 2002). En la actualidad, alrededor de 30% de la población mundial vive en casas de adobe y cerca del 50% de la población de países en vías de desarrollo vive en este tipo de construcciones (Houben y Guillaud 1994).

El adobe posee muy buenas características térmicas y acústicas adicionales a su bajo costo. Sin embargo, su comportamiento sísmico es deficiente, los muros de adobe no son capaces de resistir adecuadamente las fuerzas laterales de sismo, por lo cual sufren grandes daños e incluso colapsan (Blondet y Rubiños 2014). El colapso total o parcial de los muros de adobe compromete la integridad estructural de las viviendas y pone en riesgo la vida de sus habitantes. En promedio, la mayoría de víctimas después de un terremoto son causadas por el colapso de viviendas de tierra no reforzadas (Kuroiwa 2002).

La investigación sobre el reforzamiento de adobe ha sido extensa y se han estudiado diversas técnicas que buscan garantizar su buen comportamiento ante posibles eventos sísmicos durante las últimas cuatro décadas (Iyer 2002; ElGadawy et al. 2004; Blondet et al. 2006; Turer et al. 2007; Smith y Redman 2009). Sin embargo, ninguna ha sido adoptada masivamente por la población debido a falta de difusión, elevados costos, poca accesibilidad a los materiales de refuerzo propuestos y/o baja conciencia sísmica de la población (Blondet y Aguilar 2007). En consecuencia, las poblaciones rurales viven en condiciones de riesgo y vulnerabilidad sísmicas inaceptables.

En 2008, después del terremoto de Pisco (Perú), se desarrollaron diversas herramientas de capacitación (un manual de construcción, un tutorial de construcción, un video técnico, un video motivacional y una mesa vibratoria portátil) como parte del programa de capacitación en el uso de la geomalla como refuerzo sismorresistente (Blondet y Rubiños 2013). Lamentablemente, la poca accesibilidad a este material en comunidades rurales impidió la asimilación masiva de la geomalla como refuerzo sísmico para viviendas de adobe (Blondet y Aguilar 2007). Sin embargo, las herramientas desarrolladas como parte del proyecto de investigación son adaptables a otras técnicas de reforzamiento, por ejemplo, las mallas de cuerdas.

En 2012, se inició la investigación de la malla de cuerdas de nylon como parte de una técnica de reparación y reforzamiento de monumentos históricos de tierra (Blondet et al. 2013). El bajo costo y la facilidad de acceso hacen de la driza un material de refuerzo sísmico idóneo para viviendas de bajo costo y autoconstruidas en áreas rurales. Más aún, las herramientas de capacitación previamente desarrolladas pueden ser adaptadas y utilizadas para difundir la malla de cuerdas como refuerzo sísmico. La inclusión de este refuerzo en las técnicas de construcción tradicionales de las comunidades rurales peruanas, reduciría la vulnerabilidad sísmica de millones de viviendas de adobe y salvaría, potencialmente, millones de vidas.

1.3. HIPÓTESIS

Las hipótesis del presente trabajo de tesis son las siguientes:

- El comportamiento sísmico de las viviendas de adobe reforzado y de adobe no reforzado (tradicional) puede representarse adecuadamente utilizando modelos a escala reducida y una mesa vibratoria portátil.
- Los ensayos dinámicos en campo con la mesa vibratoria portátil permiten incrementar la conciencia sísmica de la población y, junto a otras herramientas de transferencia tecnológica, permiten capacitar en reforzamiento con malla de cuerdas a los pobladores de una comunidad andina.

1.4. OBJETIVOS

El objetivo general de esta investigación es contribuir a reducir la vulnerabilidad de las construcciones de adobe mediante el desarrollo e implementación de herramientas y metodologías de difusión y capacitación en la construcción de viviendas de adobe reforzadas con mallas de cuerdas en áreas sísmicas.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseñar ensayos dinámicos demostrativos con modelos de adobe a escala reducida utilizando la mesa vibratoria portátil de la universidad.
- Colaborar en la elaboración del manual de construcción de casas de adobe sismorresistentes reforzadas con malla de cuerdas.

- Desarrollar una metodología de capacitación dirigida a comunidades rurales en la utilización de cuerdas como refuerzo sísmico para viviendas de adobe autoconstruidas.
- Validar la metodología desarrollada mediante la realización de talleres de capacitación en una comunidad andina.

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el marco teórico de la investigación, que tiene por objetivo presentar las teorías, conceptos e informes relacionados con el problema en estudio (vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe), la solución planteada (la malla de cuerdas), y los medios propuestos para implementarla (herramientas para la transferencia tecnológica). Además, se muestra la metodología de la investigación y se explica cada uno de los pasos realizados.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe

Las construcciones de tierra son muy comunes en países en vías de desarrollo pese a ser las más vulnerables en caso de sismos (Blondet et al. 2008). La vulnerabilidad sísmica de una edificación se refiere al grado de daños ésta puede sufrir durante un sismo y está en función de las características de diseño, la calidad de los materiales y la técnica de construcción utilizada (Kuroiwa 2002). Más aún, las viviendas construidas de manera informal, sin asesoramiento técnico ni profesional, muchas veces presentan serios problemas de ubicación, configuración estructural y proceso constructivo, lo cual las hace aún más vulnerables a los movimientos sísmicos (Mosqueira y Tarque 2005).

La vulnerabilidad sísmica de una edificación puede deducirse de diferentes maneras. La mayoría de los estudios de vulnerabilidad se basan en datos obtenidos a partir de inventarios actualizados de diferentes tipos de edificaciones y del daño que éstas registran ante efectos sísmicos. Las curvas presentadas a continuación (Figura 2.1) corresponden a los resultados de inspecciones de daño sísmico realizadas después de terremotos ocurridos en países americanos en los últimos 35 años (Sauter 2000).

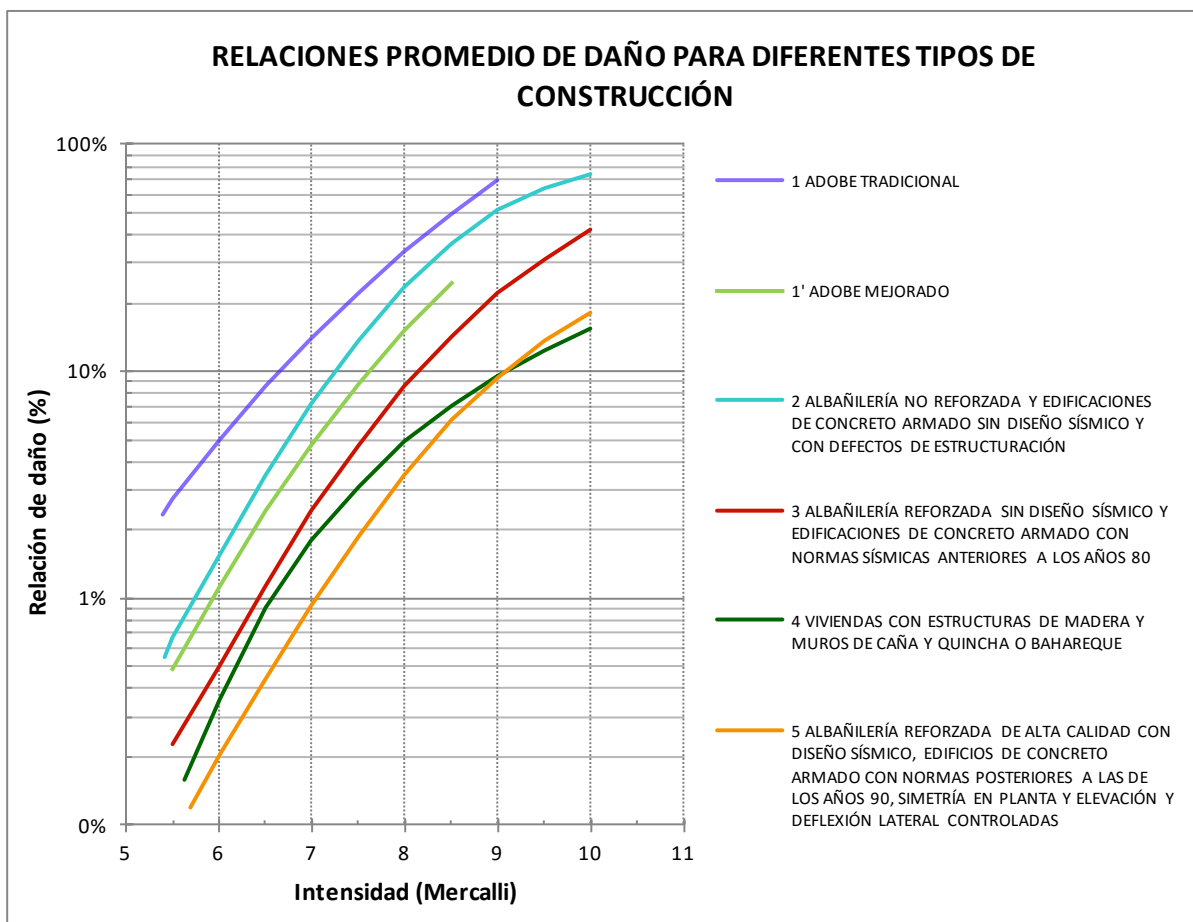


Figura 2.1. Relaciones de daños e intensidades sísmicas para construcciones con diferentes tipos de materiales (Sauter 2000).

En la curva correspondiente al adobe tradicional, se observa una pérdida cercana al 100% para una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificado (MM), es decir, la vulnerabilidad es cercana a 1. En comparación, en la curva correspondiente a la albañilería reforzada, y para una intensidad VI MM, la pérdida es casi nula, es decir, la vulnerabilidad es prácticamente 0 (Kuroiwa 2002).

2.2.2. Reforzamiento con malla de cuerdas

El comportamiento estructural de las construcciones de adobe durante un sismo puede mejorarse mediante el uso de diversas técnicas, entre ellas las mallas de refuerzo. Las mallas de refuerzo no aportan rigidez ni resistencia a la construcción antes de la aparición del agrietamiento. Sin embargo, después de las primeras grietas permiten controlar y uniformizar los desplazamientos, mantener la integridad de la construcción y evitar el colapso de la estructura (Blondet et al. 2013).

En 2012 y 2013, Blondet et al. (2013) construyeron un modelo de adobe a escala natural que fue dañado mediante simulación sísmica y, posteriormente, reparado con inyecciones de barro y reforzado con una malla externa de cuerdas de nylon (Figura 2.2). El comportamiento estructural del modelo reparado durante una secuencia de simulaciones sísmicas unidireccionales de intensidad creciente se consideró muy bueno. La malla de refuerzo externa ayudó a mantener la integridad y estabilidad estructural, además previno el colapso parcial del módulo al mantener unidas las porciones de muro separadas durante el movimiento (Blondet et al. 2014).



Figura 2.2. Modelo reparado con inyecciones de barro y reforzado con malla de cuerdas (Blondet et al. 2013).

El procedimiento para reforzar el módulo de ensayo consistió en recubrir las paredes con una malla de cuerdas horizontales y verticales. Las cuerdas verticales fueron espaciadas a la distancia del ancho de una unidad de adobe. El primer tramo de cuerda, de 1.20m aproximado de largo, se colocó a través del mortero bajo la primera hilada de adobes. El segundo tramo de cuerda se colocó sobre la parte superior del muro, clavado a la viga collar y se unió al primer tramo utilizando templadores de metal. Las cuerdas horizontales fueron espaciadas a la distancia de dos y media hiladas de adobes. En cada esquina vertical, se colocaron las cuerdas dentro de tubos de plástico para proteger los muros de adobe, especialmente cuando las cuerdas coincidían con las juntas horizontales. Finalmente, se colocaron cuerdas más delgadas

(crossties) a través del mortero para unir las mallas a ambos lados de los muros (Blondet et al. 2013).

La malla de cuerdas tiene gran potencial para ser usada como material de refuerzo sísmico para viviendas autoconstruidas ya que es mucho más barata y accesible que los refuerzos previamente estudiados, como por ejemplo, la geomalla (Blondet et al. 2008). Adicionalmente, la construcción de una vivienda reforzada con la malla de cuerdas no necesita herramientas o maquinaria adicional por lo que es una tecnología accesible en áreas rurales. Sin embargo, debido a que los templadores utilizados en el proyecto son relativamente caros, se ha propuesto el uso de un nudo pequeño y fácil de implementar como una alternativa de bajo costo para tensar las cuerdas (Mattsson 2015). El nudo propuesto es una combinación de nudos básicos encontrados en manuales internacionales, por ejemplo MacLachlan (2009), y el proceso de amarre se considera simple: se empieza por amarrar un nudo ocho en el extremo de la cuerda, a través del cual se pasa su otro extremo, se jala hasta obtener la tensión deseada y se amarra dos veces con un nudo de medio enganche (Figura 2.3).

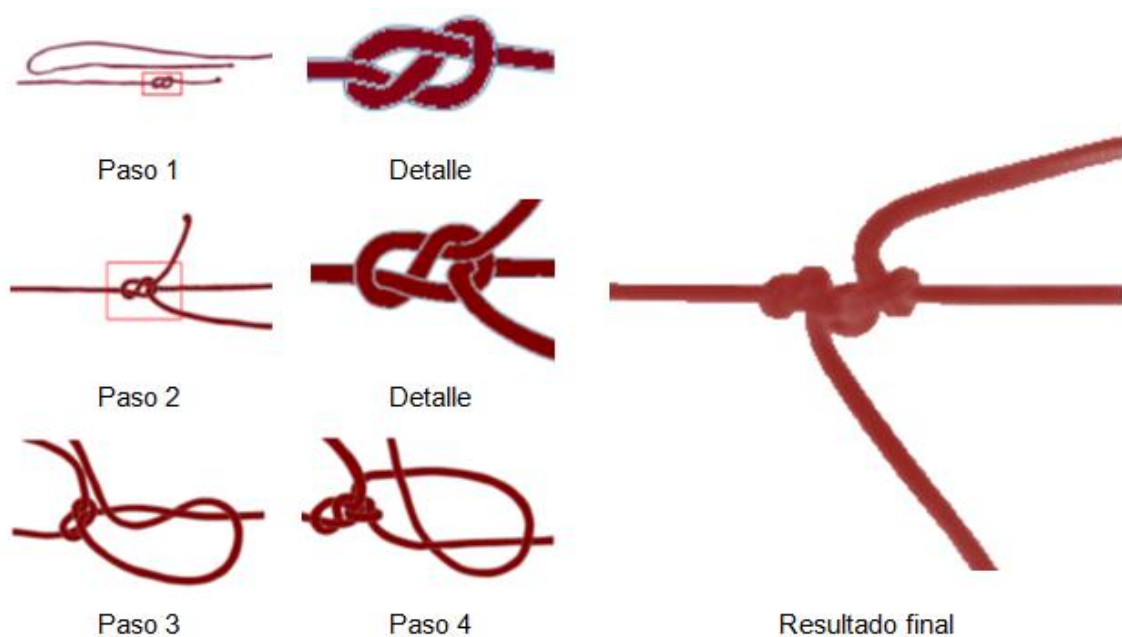


Figura 2.3. Proceso de amarre del nudo propuesto.

2.2.3. Herramientas de transferencia tecnológica

Una población es vulnerable debido a la falta de conocimientos básicos sobre peligro sísmico y las medidas de protección existentes. La falta de organización y escasez de recursos económicos son factores que agravan más aún su vulnerabilidad. Sin embargo, se puede

reducir efectivamente la vulnerabilidad de una población mediante la educación de sus miembros (Kuroiwa 2002).

Un proceso de transferencia tecnológica, precisamente, busca impulsar el desarrollo y el crecimiento de una determinada población mediante la educación de sus miembros. En este proceso, se transfieren habilidades, conocimientos, tecnologías, métodos de fabricación y otros, con la finalidad principal de brindar acceso a los avances científicos y tecnológicos al mayor número posible de usuarios (Grosse 1996). En consecuencia, las herramientas para la transferencia tecnológica pueden ser muy variadas dependiendo del usuario final. Por ejemplo, la estrategia de comunicación y las herramientas de transferencia tecnológica adecuadas para un adolescente urbano serán muy diferentes a las necesarias para tratar con un adulto mayor rural, aún si se busca transmitir la misma tecnología.

Las herramientas de transferencia tecnológica utilizadas como base para esta tesis de maestría fueron originalmente desarrolladas como parte de un proyecto de investigación de la PUCP financiado por el Earthquake Engineering Research Institute (EERI). En 2008, Blondet y Rubiños desarrollaron una propuesta para la diseminación, capacitación y construcción de viviendas de adobe reforzado sismorresistentes y saludables para familias de bajos recursos económicos afectadas por el terremoto de Pisco en el 2007 (blondet y Rubiños 2013). Entre las herramientas desarrolladas existen un tutorial, un manual de construcción ilustrado y un video técnico sobre la construcción con adobe reforzado con geomallas; un video motivacional sobre la importancia y la facilidad de incluir refuerzo sísmico en la construcción con adobe; y, un equipo de simulación sísmica portátil. A continuación, se describen con mayor detalle las herramientas utilizadas durante el desarrollo de esta investigación:

1. Video motivacional:

Este video contiene imágenes del programa de reconstrucción con adobe reforzado realizado en las provincias afectadas de Cañete, Pisco y Chincha. También reúne testimonios personales de participantes que fueron capacitados en la autoconstrucción de viviendas seguras y saludables.

2. Equipo para demostraciones con modelos a escala:

Este equipo consiste en una mesa vibratoria portátil diseñada para realizar ensayos de simulación sísmica en modelos a escala reducida de viviendas de adobe. Los ensayos demostrativos permiten observar la importancia de incorporar el refuerzo sísmico en las viviendas de adobe para así reducir su riesgo sísmico.

3. Manual de construcción sismorresistente con adobe reforzado con geomallas:

Este manual es un documento técnico con ilustraciones paso a paso para la construcción de viviendas con adobe reforzado con geomalla y está destinado a maestros de obra, técnicos de la construcción y público en general. Fue desarrollado por la PUCP y CARE Perú, e incluye toda la información recolectada durante el trabajo de campo realizado como parte del programa de reconstrucción con adobe reforzado realizado en las provincias afectadas por el terremoto de Pisco en el 2007.

Las herramientas mencionadas fueron desarrolladas para presentar la geomalla como refuerzo sísmico entre los pobladores de la costa y sierra peruanas. Sin embargo, estas herramientas son adaptables a diferentes técnicas de reforzamiento que permitan a los pobladores de áreas rurales construir viviendas de adobe seguras y saludables pese a la falta de supervisión técnica (Blondet y Rubiños 2014). De esta manera, se busca contribuir a reducir la brecha de comunicación existente entre las personas que construyen con adobe y el mundo académico; y, consecuentemente, contribuir a reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe autoconstruidas.

2.3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Para el desarrollo de esta tesis de maestría se han realizado investigaciones teóricas y de campo. La investigación teórica involucró la actualización de herramientas y el desarrollo de una metodología para capacitar a poblaciones rurales en el reforzamiento de viviendas de adobe con malla de cuerdas. La investigación de campo consistió en viajes de diagnóstico, encuestas y entrevistas, identificación actores clave y la aplicación de la metodología de capacitación desarrollada.

La metodología para el desarrollo de este trabajo de tesis fue la siguiente:

a) Investigación bibliográfica:

Se buscó información sobre herramientas de capacitación en construcción con adobe mejorado. También se buscó información sobre cartillas, manuales de construcción, tutoriales y videos elaborados con anterioridad.

b) Selección de una comunidad andina:

Se realizó un viaje diagnóstico a una comunidad del país donde la construcción con adobe fuera predominante. Se cuantificó el nivel de daño y la cantidad de viviendas

afectadas por los últimos sismos registrados en la región. Se verificó la necesidad urgente de destinar recursos materiales y humanos en la prevención de futuros desastres debidos a sismos. Adicionalmente, se recolectó información sobre el proceso de construcción tradicional con adobe de la localidad, las características principales de las viviendas, y los materiales de construcción y refuerzo disponibles.

c) Adaptación de herramientas de transferencia tecnológica:

Se actualizó la literatura existente sobre reforzamiento sísmico de viviendas de adobe con mallas externas de diversos materiales. El manual de construcción con adobe reforzado con geomallas fue adaptado a la tecnología de reforzamiento con cuerdas. Se añadieron páginas con la nueva información y se empleó el mismo artista para las ilustraciones, las cuales estuvieron basadas en fotografías tomadas durante el proceso constructivo de módulos ensayados en el laboratorio de estructuras.

Se diseñaron y construyeron módulos de adobe a escala reducida con la finalidad de ensayarlos utilizando la mesa vibratoria portátil de la universidad. Además, se modificó la mesa vibratoria portátil de la universidad para ensayar dos modelos a escala en paralelo durante una demostración en campo y así mostrar la importancia y efectividad del refuerzo sísmico.

d) Elaboración de metodología de transferencia tecnológica:

Se recopiló el material motivacional existente acerca de la importancia del reforzamiento sísmico en construcciones de adobe (videos, testimonios, etc). Se desarrolló una metodología de capacitación (propuesta preliminar) incluyendo las herramientas de transferencia tecnológicas actualizadas y material motivacional recopilado. Se mejoró la propuesta preliminar mediante trabajo interdisciplinario con profesionales de psicología comunitaria y comunicación de la Dirección Académica de Responsabilidad Social de la PUCP (DARS).

e) Trabajo de campo:

Se aplicaron las herramientas y la metodología desarrolladas en una comunidad andina previamente seleccionada, para ello se realizaron dos talleres de capacitación. El primer taller, estuvo dedicado a la asimilación interna de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de adobe no reforzadas; para ello se realizaron demostraciones en campo de modelos a escala reducida con y sin reforzamiento en una mesa vibratoria portátil perteneciente a la PUCP. El segundo taller, estuvo dedicado a afianzar los

conocimientos adquiridos durante el primer taller, y a la enseñanza práctica de la técnica de reforzamiento sísmico con malla de cuerdas para viviendas de adobe autoconstruidas.

f) Análisis de resultados:

Se analizó la información recolectada durante la validación de las herramientas y la metodología desarrolladas (trabajo de campo). Se postularon indicadores cualitativos del grado de sensibilización y aceptación de la técnica de refuerzo propuesta entre los pobladores de una comunidad andina. Se analizó de manera crítica el éxito de la investigación y se propusieron sugerencias y recomendaciones para futuros proyectos de capacitación basados en los resultados de este trabajo de tesis.

3. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍA DE CAPACITACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe las herramientas y la metodología de capacitación desarrolladas para la transferencia tecnológica de la malla de cuerdas. Primero, se presenta la herramienta de comunicación denominada mesa vibratoria portátil y los modelos a escala diseñados para ensayar en esta herramienta; luego, se presenta la herramienta educativa denominada manual de construcción ilustrado; finalmente, se presenta la metodología de capacitación propuesta para este trabajo de tesis.

3.2. ENSAYOS DINÁMICOS CON LA MESA VIBRATORIA PORTÁTIL

3.2.1. La mesa vibratoria portátil PUCP

Una de las razones por las que la gente alrededor del mundo continúa viviendo en alto riesgo sísmico es la falta de "conciencia sísmica" en la construcción de sus hogares (UNCRD, 2003). Las construcciones de adobe son altamente vulnerables a los terremotos y necesitan de refuerzos sísmicos para evitar el colapso. Sin embargo, en la mayoría de países, sólo las personas involucradas con el mundo académico están conscientes de dicha vulnerabilidad (Blondet y Rubiños 2013). Comunidades enteras que viven en construcciones de adobe, ignoran la alta vulnerabilidad de sus viviendas construidas con las técnicas tradicionales, es decir, sin refuerzo sísmico (Blondet y Aguilar 2007).

La mesa vibratoria portátil PUCP (Figura 3.1) ha sido desarrollada para realizar ensayos dinámicos en modelos de adobe a escala reducida. Su propósito es crear "conciencia sísmica" y demostrar la importancia del refuerzo sísmico entre los pobladores de comunidades rurales que construyen con adobe de manera tradicional (sin refuerzo sísmico) (Blondet y Rubiños 2014). Durante las sesiones de demostración, dos modelos de adobe a escala reducida se ensayan de manera secuencial: el modelo no reforzado colapsa de manera similar a las casas de adobe tradicionales en un movimiento sísmico, mientras que el modelo reforzado sufra

daño leve o reparable y no colapsa. De esta manera, se pretende mostrar que el refuerzo sísmico es efectivo en prevenir el colapso y salvar vidas.

Figura 3.1. Especificaciones técnicas de la mesa vibratoria portátil desarrollada en la PUCP (Blondet y Rubiños, 2013).



El impacto de una herramienta como la mesa vibratoria portátil es principalmente visual (UNCRD 2007). Si bien el diseño original permitía el ensayo de modelos a escala reducida reforzados y no reforzados, se pensó que el ensayo simultáneo de ambos modelos incrementaría el impacto visual de la demostración. Por ello, como parte de este trabajo de tesis, se amplió la plataforma de la mesa vibratoria portátil mediante la instalación de una plancha de madera removible de 1300 mm x 600 mm (Figura 3.2). La nueva plataforma se hizo removible para no restar transportabilidad a la herramienta.



Figura 3.2. Plataforma ampliada de la mesa vibratoria portátil.

3.2.2. Elaboración de unidades de adobe

Las unidades de adobe para ensayos de módulos a escala natural en el laboratorio de estructuras se realizan con una proporción 5:1:3/4 (suelo, agua y arena). Sin embargo, las unidades elaboradas para los modelos a escala tuvieron una composición 5:1:1 debido a sus reducidas dimensiones (unidades completas de 40mm x 40mm x 10mm y medias unidades de dimensiones 40mm x 20mm x 10mm). La densidad calculada de las unidades fue 0,1875g/cm³.

En primera instancia se mezcló tierra de chacra limpia y libre de materia orgánica con agua. Una vez obtenido el barro, se realizaron pruebas simples para determinar la calidad del barro (prueba de la bola y del rollo). Se dejó "dormir" el suelo durante dos días para lograr la adecuada integración de las moléculas de agua y las partículas de arcilla; luego, se añadió paja finamente cortada (longitud máxima de 1cm) para prevenir el agrietamiento de las unidades (Blondet et al. 2011).

Para obtener la forma y tamaño de las unidades se utilizó moldes de madera (Figura 3.3 izquierda), éstos se sumergieron en agua y fueron espolvoreados con arena para facilitar el desmolde. Las unidades se dejaron secar sobre una superficie limpia y seca (Figura 3.3 derecha), sin luz directa del sol, corrientes de aire o agua de lluvia. El tiempo de secado de las unidades fue de 3 días debido al tamaño reducido de las mismas.



Figura 3.3. Elaboración de unidades de adobe a escala reducida.

3.2.3. Construcción de modelos a escala

Los modelos a escala tienen una base de 400 mm x 240 mm y una altura de 210 mm con un peso aproximado de 13.5 kg. Durante el diseño, se procuró la representatividad de las viviendas rurales de la sierra peruana: La planta es de forma rectangular, con una puerta centrada en el muro longitudinal y dos ventanas centradas en los muros transversales. Sin embargo, las unidades fueron apiladas unas sobre otras sin mortero de barro (Figura 3.4) para disminuir el tiempo de armado del modelo y favorecer el impacto visual de la demostración, Durante el trabajo de campo posterior, se observó que la falta de mortero en el armado de los modelos no interfería en el impacto visual de la demostración.



Figura 3.4. Unidades apiladas y traslapadas sin mortero de barro.

Para la construcción de cada modelo se emplearon 350 unidades de adobe a escala y 120 medias unidades de adobe a escala. El modelo que representa una vivienda de adobe tradicional (Figura 3.5 derecha) tiene dinteles en la puerta y las ventanas, y no posee elementos de confinamiento estructural o refuerzo sísmico. Por el contrario, el modelo que representa una vivienda de adobe reforzada (Figura 3.5 izquierda) tiene dinteles en la puerta y las ventanas, una viga collar (elemento de confinamiento) y las paredes están envueltas con hilos de lana que representan las mallas de cuerdas (refuerzo sísmico). Los hilos de lana son tensados y amarrados sobre la viga collar en cada columna vertical de unidades e intercalados en cada fila horizontal. Adicionalmente, se utilizaron tiras de papel en las esquinas para evitar el deslizamiento de los hilos horizontales entre las unidades de adobe a escala. En total, la construcción de ambos modelos toma alrededor de 8-10 horas entre dos personas.



Figura 3.5. Modelos terminados listos para ensayo dinámico.

3.2.4. Ensayo dinámico de modelos a escala

Para probar el comportamiento de los modelos a escala de adobe, éstos fueron sometidos a ensayo dinámico en la mesa vibratoria portátil (Figuras 3.6 y 3.7). El ensayo se consideró exitoso, se ejemplificó de manera adecuada el comportamiento de las viviendas de adobe reforzadas y no reforzadas durante un sismo: Los muros del modelo no reforzado intentaron separarse durante el ensayo y el modelo colapsó casi inmediatamente empezando por las esquinas superiores; por otro lado, la viga collar del modelo reforzado y los hilos de lana previnieron el colapso del modelo reforzado a escala reducida al igual que la malla de cuerdas previene el colapso de las viviendas de adobe a escala natural.



Figura 3.6. Ensayo dinámico con dos modelos de adobe a escala reducida.

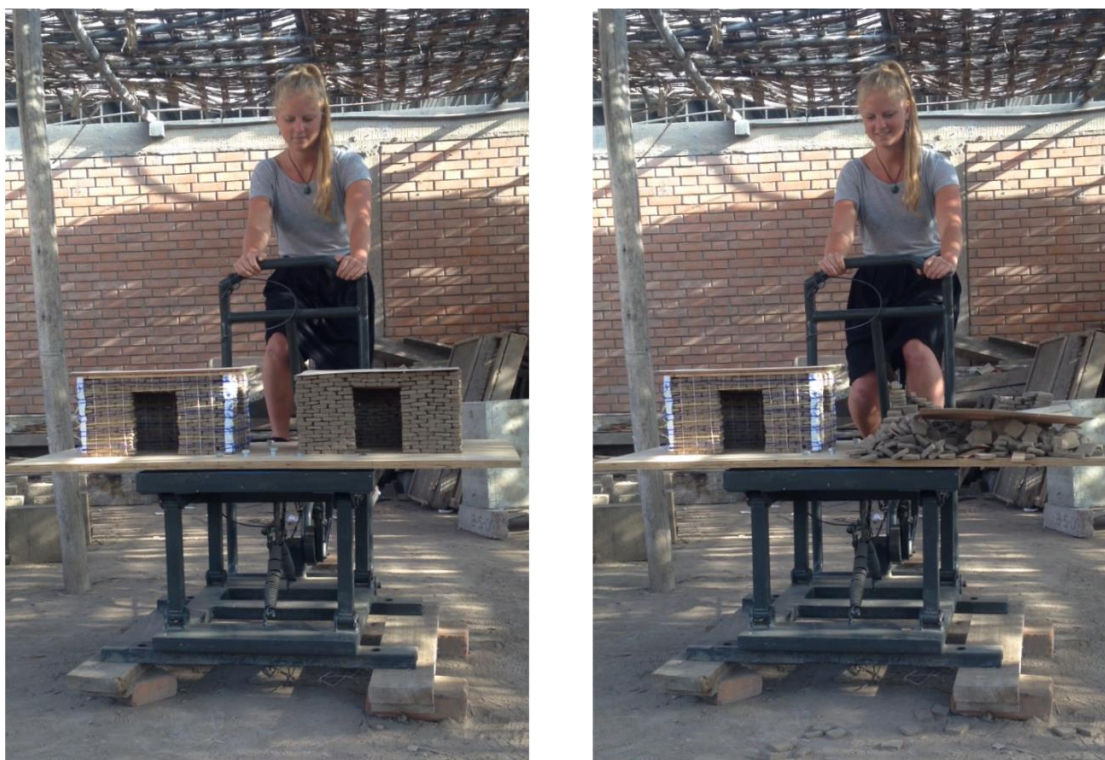


Figura 3.7. Diferencias de desempeño sísmico del modelo reforzado y no reforzado.

3.3. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN ILUSTRADO

Como parte de la investigación teórica de este trabajo de tesis se ha colaborado en la elaboración y edición de un manual de construcción ilustrado a cargo del Ing. Álvaro Rubiños. El manual de construcción desarrollado es un documento técnico que detalla toda la información existente en construcción sismorresistente con adobe, utilizando la malla de cuerdas como refuerzo sísmico.

3.3.1. Actualización del manual de construcción con adobe reforzado con geomallas

El contenido e ilustraciones del manual de construcción están basados en el “Manual de Construcción con Adobe Reforzado con Geomallas”, previamente desarrollado como herramienta de transferencia tecnológica por Blondet et al (2010). En el documento original (Figura 3.8, izquierda), se recopilaba la información existente sobre la experiencia de campo de las múltiples instituciones que trabajaron en el proceso de reconstrucción de las zonas afectadas de Pisco en el 2007. En el documento actualizado (Figura 3.8, derecha), se han añadido páginas con información referente a la técnica de reforzamiento con malla de cuerdas (distancia entre cuerdas, procedimiento de colocación y nudos de amarre). Además, se ha empleado el mismo artista para las ilustraciones, las cuales están basadas en fotografías

tomadas durante el proceso constructivo de los módulos ensayados en el laboratorio de estructuras por Blondet et al (2013).

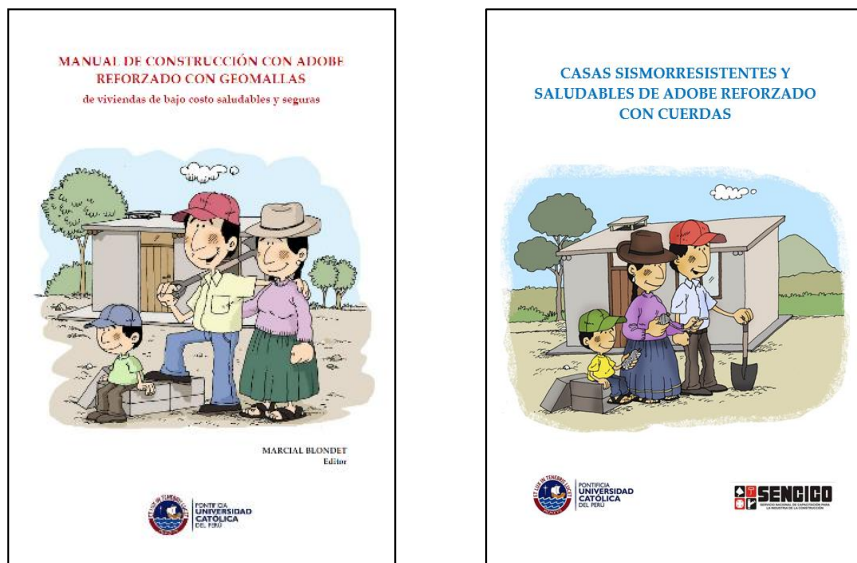
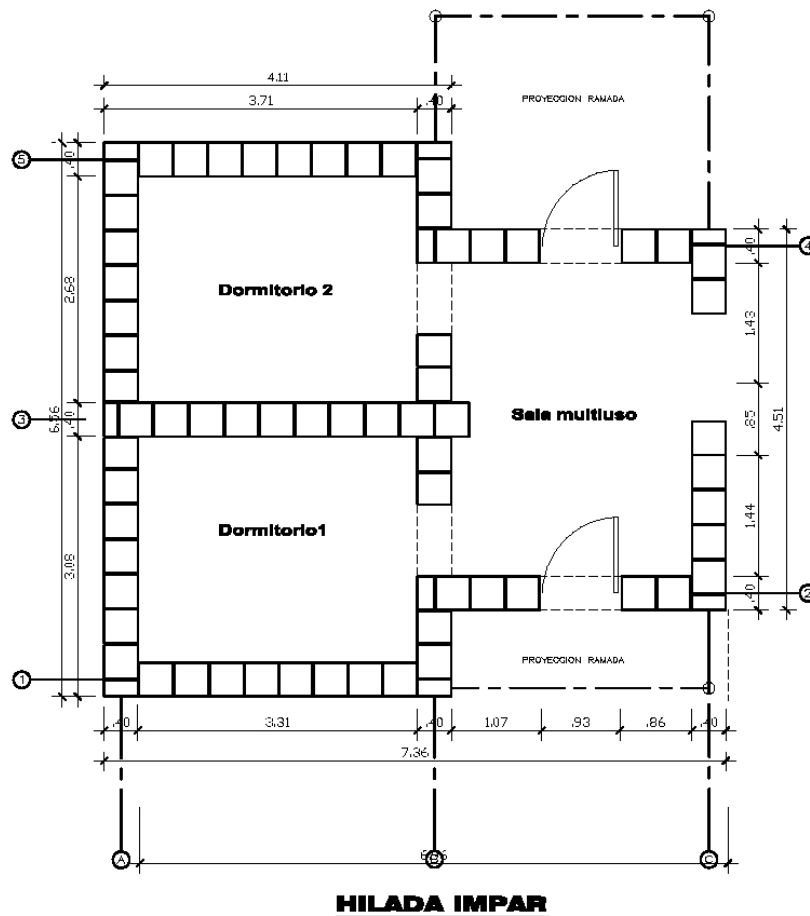


Figura 3.8. Portada del manual de construcción ilustrado, original y actualizado.

3.3.2. Características del manual de construcción actualizado

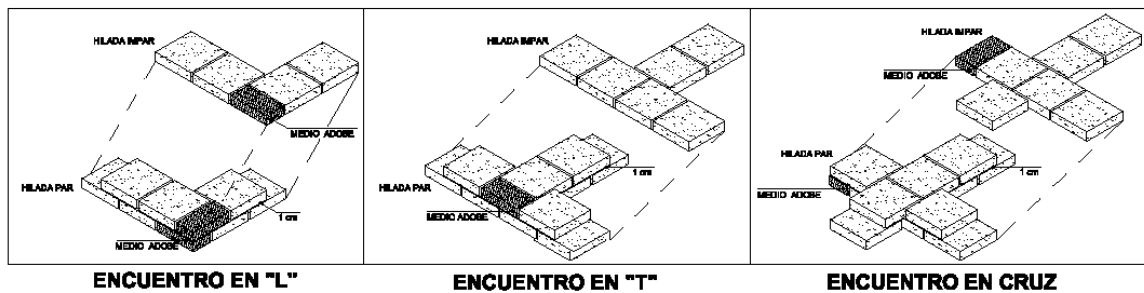
El personaje principal del manual de construcción es "José", un personaje con características que refieren a un habitante de los Andes peruanos, y que además usa el adobe como material de construcción. Este permite una mayor identificación con la población que se desea capacitar, lo cual propicia un mejor entendimiento de la técnica de construcción e incrementa la probabilidad de aceptación (Blondet et al. 2008). Además, se incluye a "María", la esposa del personaje principal, que es una participante activa en el proceso de construcción. Esta inclusión se debe a que las mujeres juegan un papel activo en la construcción de una vivienda de adobe y, además, se desea fomentar la equidad de género en el proceso de aprendizaje de la construcción con adobe sismorresistente.

El manual de construcción incluye planos para tres prototipos de viviendas que pueden ser construidas de acuerdo a las posibilidades económicas de la familia (Figura 3.9). La primera opción es una casa de dos habitaciones con un área total de 29 m², la segunda opción una casa de tres habitaciones con un área total de 42 m², y la última una casa de cuatro habitaciones y un área de 54 m². Los planos de construcción fueron una contribución de Care Perú (Blondet et al. 2008).



Juntas verticales y horizontales de 1 cm de espesor

RECOMENDACIONES:



Vivienda de 3 ambientes	
PLANO:	EMPLANTILLADO DE ADOBES
HILADA:	HILADA IMPAR
ESCALA:	1:75

Figura 3.9. Ejemplo de planos de construcción para una vivienda de tres ambientes.

3.3.3. Público objetivo

El documento final está dirigido a los pobladores de áreas rurales donde la construcción informal con adobe es predominante y la asistencia técnica es poco accesible. El manual describe con detalle la construcción de una casa de adobe reforzada con malla de cuerdas y cada parte del proceso constructivo está explicado con lenguaje simple e ilustraciones paso a paso (Figura 3.10). Se desea que este documento sirva para que las familias peruanas de bajos ingresos puedan mejorar su calidad de vida al construir viviendas sismorresistentes.

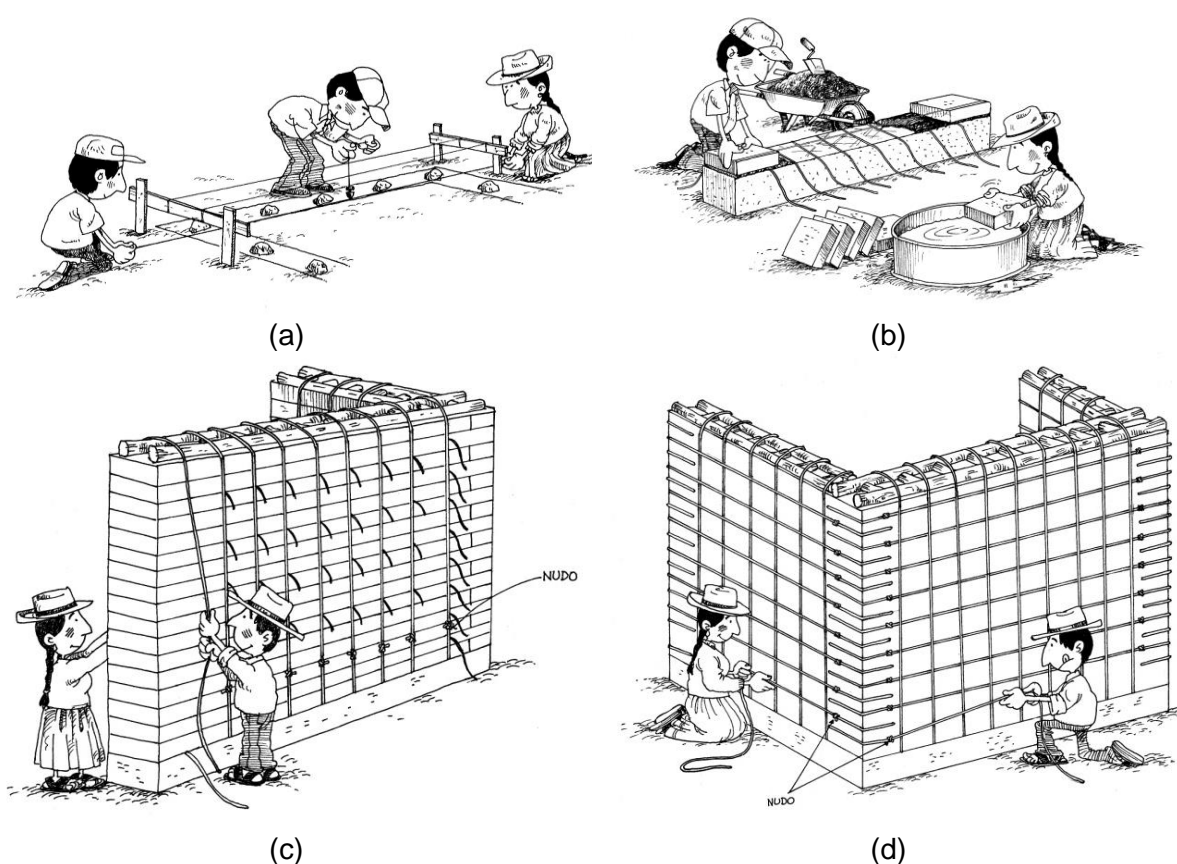


Figura 3.10. Ilustraciones del manual de construcción.

En síntesis, el manual de construcción contiene la información necesaria para construir una vivienda de adobe sismorresistente reforzada con malla de cuerdas: condiciones de riesgo, ubicación de la vivienda, selección de materiales, elaboración de unidades de adobe, cimentación, reforzamiento de muros y techo. Es un documento que sirve de guía tanto para la autoconstrucción como para maestros de obra y técnicos de construcción.

3.4. METODOLOGÍA DE CAPACITACIÓN

El desarrollo de capacidades de autoayuda, cooperación y educación es una manera de contribuir a mitigar un desastre (Narafu 2008). Por ello, las personas que viven en casas de adobe sísmicamente vulnerables no deberían simplemente recibir ayuda externa después de un terremoto; por el contrario, deberían desarrollar las habilidades para construir sus propias viviendas de forma sismorresistente y, así, incrementar su capacidad de agencia (Blondet y Rubiños 2014). En consecuencia, se propone una metodología de capacitación que permita a los pobladores de comunidades rurales adquirir las habilidades necesarias para mitigar, ellos mismos, el inaceptable riesgo sísmico en que actualmente se encuentran y mejorar su calidad de vida de manera sostenible.

La metodología de capacitación propuesta en este trabajo de tesis ha sido subdividida en tres etapas y se detalla a continuación:

3.4.1. Actividades de diagnóstico

En esta primera etapa se recolecta información sobre los materiales y prácticas constructivas tradicionales de la localidad, así como sobre la demografía y características socio-económicas de la población. Para ello, se propone realizar:

- Investigación preliminar de la demografía, las características socio-económicas de la población y los actores clave de la localidad.
- Entrevistas de preguntas abiertas a actores locales, maestros de obra, técnicos de construcción o pobladores con experiencia en autoconstrucción.
 - ¿De qué material son las viviendas en su mayoría?
 - ¿Cómo construyen las viviendas de adobe en la comunidad?
 - ¿Utilizan algún criterio sismorresistente en la construcción?
 - ¿Qué técnicas de reforzamiento conocen en la comunidad?
- Encuestas de preguntas abiertas y cerradas a pobladores en general, sin discriminación o sesgo de ningún tipo.
 - ¿De qué material son los cimientos, sobrecimientos, muros y techo de su vivienda?
 - ¿Qué antigüedad tiene su vivienda?

- ¿Recibió asesoría técnica durante su construcción?
 - ¿Sabe si su vivienda ha resistido algún sismo?
 - ¿Conoce alguna técnica de reforzamiento sísmico?
- Identificación de materiales de construcción y refuerzo accesibles en la zona (canteras, tiendas locales, ferreterías y otros).

La información levantada permitirá determinar la técnica de reforzamiento con mayores posibilidades de aceptación entre los pobladores de la comunidad. Además, las encuestas y entrevistas permitirán entablar un vínculo inicial con los actores clave de la localidad y con los pobladores de la comunidad.

3.4.2. Actividades de sensibilización

En esta segunda etapa, se informa a la población sobre la importancia de la inclusión del refuerzo sísmico en la construcción de las viviendas de adobe. Además, se espera que estas actividades incrementen el interés de los pobladores de la comunidad en las siguientes actividades de capacitación.

Para ello, se propone realizar:

ACTIVIDADES PREVIAS:

- Inclusión de actores clave en el proceso de convocatoria a los pobladores y autoridades de la comunidad.
 - Presentación de los objetivos y actividades del proyecto a los actores claves de la comunidad.
 - Pedido explícito de ayuda y asignación de roles en el proceso de convocatoria a la comunidad.
- Convocatoria abierta a los pobladores de la comunidad con equidad de género y edad.
 - Realización de visitas de casa en casa para invitar a los pobladores de la comunidad a participar en las sesiones de trabajo.
 - Realización de invitaciones grupales e individuales en tiendas de abarrotes, plazas, calles y otros según la localidad.
 - Realización de anuncios con megáfono local y/o radio.
 - Colocación de afiches publicitarios en puntos estratégicos de la localidad.

Es importante resaltar que la organización de cada comunidad es muy particular y, por ello, las formas de convocatoria deberán adecuarse dependiendo de la localidad.

SESIÓN DE TRABAJO:

- Presentación de objetivos a corto y mediano plazo.
 - Explicación con material audiovisual del diagnóstico elaborado.
 - Presentación con material audiovisual de los objetivos y actividades del proyecto.

- Intercalado de videos y preguntas motivacionales.
 - Presentación de video de efectos destructivo de sismos, de preferencia sobre el sismo de Huaraz 1970.
 - Realización de preguntas abiertas ¿Cómo se sintieron viendo el video? ¿Tuvieron miedo? ¿Alguna vez se han sentido así?
 - Presentación de video que muestre el colapso de un módulo de adobe no reforzado durante ensayo sísmico en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP.
 - Realización de preguntas abiertas ¿Sus viviendas se dañaron así después del último sismo? ¿Creen que pueda evitarse? ¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?
 - Presentación de video motivacional con testimonios sobre la reconstrucción de viviendas afectadas por el terremoto de Pisco en 2007, utilizando adobe reforzado con geomallas (p. 9).
 - Presentación de video que muestre la resistencia (sin colapsar) de un módulo de adobe reforzado con la malla de cuerdas durante ensayo sísmico en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP.
 - Realización de preguntas abiertas ¿Ven cómo las cuerdas protegen al módulo? ¿Conocen otras técnicas de reforzamiento?

- Demostración con la mesa vibratoria portátil.
 - Descripción detallada de los modelos reforzado y no reforzado, con énfasis en las diferencias (viga collar y refuerzo de hilos).
 - Realización de preguntas abiertas ¿Con qué modelo identifican sus viviendas?
 - Realización de ensayo dinámico en presencia de los pobladores.

- Evaluación del interés de los pobladores en futuras sesiones de trabajo.
 - Realización de preguntas abiertas ¿Qué opinan ahora, la construcción con adobe puede ser sismorresistente? ¿Deseen aprender cómo reforzar sus viviendas con esta técnica de reforzamiento? ¿Cuántas horas al día, a la semana, al mes podrían dedicar a capacitarse? ¿En qué horario?
 - Registro de nombre, documento de identidad y firma de los pobladores interesados en futuras sesiones de trabajo.

En esta etapa, se plantean dos indicadores para medir el grado de sensibilización o incremento de “conciencia sísmica” obtenido después de la sesión de trabajo: 1) El número de respuestas afirmativas a la pregunta “¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?” 2) El número de inscritos para las siguientes actividades de capacitación.

3.4.3. Actividades de capacitación

En esta tercera etapa se refuerza la conciencia sísmica de la población y se brindan lecciones prácticas en la colocación de la malla de cuerdas como refuerzo sísmico. Además, se espera que estas actividades induzcan a la inclusión de la malla de cuerdas en los procesos de construcción tradicionales de la comunidad.

Para ello, se propone realizar:

ACTIVIDADES PREVIAS:

- Elección de fechas y horarios de sesiones de trabajo tomado en consideración los horarios de trabajo de los pobladores y festividades de toda índole en la localidad.
 - Análisis de la información obtenida durante la evaluación del interés de los pobladores en futuras sesiones de trabajo (p. 24).
 - Elección de horario para las sesiones de trabajo.
 - Validación de horario y selección de fechas para las sesiones de trabajo con los actores clave de la comunidad.
- Convocatoria abierta a los pobladores de la comunidad.
 - Repetición de las actividades previas de la etapa de sensibilización (p. 23).

- Realización de llamadas telefónicas a quienes tienen acceso a teléfonos o celulares y, en lo posible, a los actores clave de la comunidad para hacerles recuerdo de las fechas y horarios de las sesiones de trabajo.

SESIÓN DE TRABAJO 1:

- Repetición abreviada de los objetivos a corto y mediano plazo del proyecto, para conocimiento de los (posibles) nuevos asistentes. En caso no hubiera nuevos asistentes, puede mencionarse muy brevemente u omitirse.
- Repetición del intercalado de imágenes, videos y preguntas motivacionales realizado durante la etapa de sensibilización (p. 24).
 - Realización de preguntas abiertas adicionales ¿Quiénes estuvieron en el anterior taller? ¿Qué recuerdan / aprendieron?
- Repetición de la demostración con la mesa vibratoria portátil realizada durante la etapa de sensibilización (p. 24).
 - Presentación adicional de una gigantografía o afiche que muestre claramente las características de una vivienda sismorresistente.
- Práctica de amarre de nudos.
 - Entrega de dos trozos de cuerda a cada participante.
 - Explicación detallada del proceso de amarre del nudo propuesto.
 - Ejercicios de amarre del nudo propuesto por parte de los participantes.

SESIÓN DE TRABAJO 2:

- Explicación oral de la importancia del refuerzo sísmico.
- Repetición de la práctica de amarre de nudos.
- Práctica de colocación de cuerdas en un muro de cerco.
 - Explicación detallada del proceso de colocación de las cuerdas.
 - Perforación de agujeros a través de juntas de mortero.
 - Tensado de cuerdas y amarre de cuerdas por grupos.

- Repetición del tensado de cuerdas y amarre de nudos hasta que todos los participantes hayan tenido oportunidad de practicar.
- Entrega de material impreso.
 - Entrega de copias de la sección del manual de construcción con indicaciones gráficas de cómo realizar la colocación de las cuerdas y los nudos de amarre.

En esta etapa, se plantea un indicador adicional para medir el grado de sensibilización obtenido después de la sesión de trabajo 1: El número de personas que retornan para la segunda sesión de trabajo. Este indicador no considera los motivos o factores que impiden el retorno de los pobladores a la sesión de trabajo 2, los cuales se sugiere analizar en un trabajo posterior.

4. PROYECTO DE CAPACITACIÓN PILOTO

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el trabajo de campo realizado para validar la metodología de capacitación propuesta para la transferencia tecnológica de la malla de cuerdas. El trabajo de campo se ha realizado con el apoyo de la Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS) y la ONG local Cáritas Caravelí, enmarcado en el proyecto de capacitación DARS-PUCP como parte de las acciones para la gestión de riesgos en la prelatura de Caravelí. A continuación, se describe la zona de estudio y también se describe de manera detallada la experiencia de capacitación con los pobladores de la comunidad.

4.2. ZONA DE ESTUDIO

4.2.1. Características generales

El distrito de Pullo (Figura 4.1a), ubicado en la provincia de Parinacochas en la región Ayacucho, tiene una extensión de 1,572 km², siendo el distrito más amplio de dicha región. Además, la población de Pullo alcanza los 4,848 habitantes al 2013, y la población rural¹ representa el 33.7% de la población total (INEI 2007). Su capital es el centro poblado Pullo y tiene una población aproximada de 400 habitantes. Adicionalmente, alberga a doce anexos: Tarco, Sacsara, Relave, Pueblo Nuevo, Chusi, Chaipi, Antallani, Parani, Chenquene, Occosuyo, Mansa y Malco. La mayoría de la población está concentrada en los anexos de Relave y Pueblo Nuevo, debido a la presencia de actividad minera. Por otro lado, Pullo presenta diferentes pisos altitudinales, los cuales varían entre los 500 m.s.n.m y los 4,000 m.s.n.m. En líneas generales, la realidad del distrito de Pullo es compleja, debido a su amplia extensión geográfica y su diversidad socio-económica (Cribilleros et al. 2014).

¹ Área rural o centro poblado rural, es aquel que no tiene más de 100 viviendas agrupadas contiguamente ni es capital de distrito; o que, teniendo más de 100 viviendas, éstas se encuentran dispersas o diseminadas sin formar bloques o núcleos (INEI 2007).

La capital del distrito (Figura 4.1b) se encuentra a 3,030 m.s.n.m y está ubicada en una zona altoandina con una baja población dedicada a actividades agropecuarias y con intensos procesos de emigración. En contraste, los anexos de Relave y Pueblo Nuevo, cercanos a la provincia de Caravelí y de baja altitud, poseen una alta concentración poblacional y una intensa actividad de extracción minera (Cribilleros et al. 2014).



(a) Ubicación geográfica.



(b) Plaza de armas de la capital.

Figura 4.1. El distrito de Pullo.

4.2.2. Demografía, pobreza y situaciones de vulnerabilidad

De acuerdo con los datos oficiales del INEI (ENAHO, 2013), Ayacucho es uno de los departamentos más pobres de Perú: el 51.9% de la población total es pobre y el 16.1% se encuentra en extrema pobreza, situación que contrasta con el promedio nacional de 23% de pobreza y 4.7% de pobreza extrema. En el distrito de Pullo, sin embargo, no se observa presencia significativa de Programas Sociales del MIDIS o del Programa Nacional de Tambos (Cribilleros et al. 2014). Además, la mayoría de la población no cuenta con servicios de agua, alcantarillado y alumbrado público, y 68% de la población del distrito se abastecen de pozos, ríos, acequias y manantiales (PDC, 2011: 51).

Así mismo, cabe destacar que el departamento de Ayacucho, así como el distrito de Pullo, fueron zonas afectadas por el Conflicto Armado Interno (CAI) en los años ochenta. Si bien los pobladores reconocen que el impacto de la violencia política en las provincias del sur fue mucho menor que en las del norte, también recuerdan la presencia de Sendero Luminoso, la perpetuación del asesinato de dos líderes comunitarios y el escape intempestivo de un párroco polaco, quien había sido amenazado de muerte (Cribilleros et al. 2014). Estos eventos llevaron

a que, en julio del 2010, se realice el “Registro Único de Víctimas en el Distrito de Pullo” con el fin de promover programas de reparación dirigidos a las víctimas del CAI (PDC, 2011: 54).

4.2.3. Salud y educación

Respecto a la situación de salud del distrito, cabe señalar que, aparte del centro de salud del centro poblado Pullo, existen otros cinco puestos de salud en los centros poblados de Chaipi, Chusi, Malco, Tarco y Pueblo Nuevo (PDC, 2011: 37). Las actividades que realiza el personal de salud de los distintos puestos son preventivas (prevención de enfermedades) en niños(as), gestantes, población en general, adulto mayor; y en caso de cirugía, se remite al especialista de Coracora (Cribilleros et al. 2014). Por otro lado, el índice de desnutrición crónica alcanza el 40.8% (INEI, 2009), muy por encima del promedio nacional (17.5%) y de la región Ayacucho 29.5% (ENDES, 2012-2013). Además, de acuerdo con los datos del INEI, 1,342 habitantes están afiliados al SIS, 275 a EsSalud y 2,760, lo que equivale a que cerca de la mitad de la población no están afiliados a ningún tipo de seguro de salud (INEI, 2007).

En cuanto al ámbito educativo, se han identificado 39 instituciones educativas en el distrito de Pullo, tres de ellas ubicadas en el mismo centro poblado de Pullo. Al respecto, el 55% de la población es quechua hablante y, pese a ello, no se ha encontrado información sobre Educación Intercultural Bilingüe (EIB) en la zona (PDC, 2011: 42-49). Además, se reporta que 13.7% de la población a nivel distrital es analfabeta, contando con un mayor porcentaje en el grupo de las mujeres (PDC, 2011: 48). Una vez terminada la secundaria, la aspiración de los jóvenes pullinos es viajar a Ica para cursar estudios universitarios, seguir estudios superiores en un Instituto Pedagógico o Técnico en Cora Cora, o bien migrar a Relave para trabajar en la actividad minera (Cribilleros et al. 2014).

4.2.4. Actividades productivas

El distrito de Pullo es conocido por ser una zona ganadera. El ganado vacuno es el predominante dentro de la economía familiar, mientras que el ovino y caprino son complementarios. No obstante, la ganadería es una actividad complementaria a la agricultura, siendo la principal fuente de ingresos monetarios. La agricultura, por su parte, es bastante extendida y tiene como fin principal el autoconsumo de las familias. Además, es deficiente y marginada de la participación en una economía de mercado (PDC, 2011: 60).

Por otro lado, una actividad económica importante desarrollada en los últimos años es la minería. El 39% de la población total del distrito se dedica a ser obrero u operario en mina (INEI, 2007). Además, de acuerdo con el gerente de Desarrollo Económico del Municipio (Cribilleros et al. 2014), hay una fuerte presencia de minería informal en Pullo que corresponde aproximadamente al 80% de esta actividad productiva. Sin embargo, muchas asociaciones se encuentran en proceso de formalización en el marco de la nueva legislación. Con todo, la minería formal es una minoría.

4.2.5. Comunicaciones

Para llegar a Pullo, es necesario hacer previamente la ruta Lima-Nasca-Caravelí que dura un promedio de 8 horas. Desde Caravelí existen tres rutas posibles. La primera es vía Yauca, haciendo un viaje en carretera asfaltada de 6 horas que implica llegar a Cora Cora. La segunda ruta, nuevamente desde Yauca, es camino de trocha a través del desvío del anexo de Sacsara que dura un promedio de 4 horas de viaje. En la tercera ruta se parte de Chala en una vía directa de trocha que dura 4 horas (Cribilleros et al. 2014).

El centro poblado de Pullo no cuenta con acceso a Internet excepto en el local del Municipio. Llega la señal de telefonía celular de la empresa Movistar, pero no la de Claro. Por otra parte, la Municipalidad cuenta con una radio, pero que actualmente está cerrada.

4.3. VIAJE DE DIAGNÓSTICO Y VINCULACIÓN

4.3.1. Pedido de ayuda

El domingo 24 de agosto de 2014, un movimiento sísmico de 6.6 grados en la escala de Richter tuvo lugar en la región de Ayacucho de los Andes peruanos (Figura 4.2). Los reportes iniciales indicaron 150 heridos, 30 viviendas inhabitables y otras 150 viviendas afectadas en el distrito de Pullo (INDECI 2014). Así mismo, de acuerdo con la evaluación preliminar de daños realizada por Cáritas-Caravelí y los responsables de las Parroquias de la zona, el distrito de Pullo fue uno de los más afectados por el evento sísmico. Sin embargo, no se obtuvo información de ayuda destinada específicamente a este distrito.

A partir de esta situación, en el marco del convenio institucional con la DARS, Cáritas Caravelí solicitó la colaboración de la PUCP para atender la emergencia a través de un proyecto de capacitación de la población en técnicas de construcción y reparación de viviendas con adobe

reforzado (Cribilleros et al. 2014). Por ello, con la finalidad de evaluar la viabilidad del proyecto, un equipo interdisciplinario realizó un viaje de diagnóstico y vinculación al centro poblado de Pullo los días 7, 8 y 9 de noviembre de 2014. El equipo interdisciplinario estuvo conformado por dos ingenieros civiles, un historiador, una psicóloga y una antropóloga, que realizó el viaje de Lima a Pullo en 17 horas. El equipo de trabajo identificó los actores principales dentro de la comunidad y evaluó el daño estructural de las viviendas y la percepción de la población en torno a la actividad sísmica.



Figura 4.2. Artículo periodístico en línea sobre el sismo ocurrido
(Fuente: <http://www.educacionenred.pe/noticia/?portada=59275>)

4.3.2. Actores institucionales y comunitarios

Parroquia San Ildefonso de Pullo:

La parroquia San Ildefonso de Pullo está a cargo de seis religiosas de la congregación Misioneras de Jesús Verbo y Víctima desde fines del año 2012, luego de 20 años de haber estado abandonada por causa del CAI. La madre Ernestina Salazar es la encargada parroquial y superiora, entre sus actividades destaca la administración de sacramentos y la realización de talleres de formación humana y catequesis con niños, jóvenes y mujeres. En líneas generales, hay una relación de confianza entre la población y la parroquia, especialmente por parte de las mujeres que se acercan a las religiosas para manifestar sus preocupaciones, pues les reconocen legitimidad, mientras que los hombres se resisten a reconocer a una mujer en un rol de autoridad (Cribilleros et al. 2014).

Municipio distrital:

El Municipio distrital atiende una jurisdicción extensa y compleja. Tiene presencia en cada anexo a través de un agente municipal, un agente suplente, un secretario y un tesorero. Sin embargo, una gran limitación es que el centro administrativo se encuentra en Pullo, pero la mayoría de la población está concentrada en los anexos de Relave y Pueblo Nuevo, los más distantes de la capital distrital. Esto desencadena grandes problemas para generar consensos políticos, un distanciamiento entre autoridades y población de los anexos, y una débil representación política (Cribilleros et al. 2014).

Juntas Vecinales:

Respecto a la organización social, de acuerdo con el Plan de Desarrollo Concertado 2011 – 2020 (PDC) del distrito de Pullo, en cada anexo y en el centro de Pullo funciona una Junta Vecinal Comunal – JVC, la cual fue promovida en el contexto de la fase del diseño del PDC. Se trata de un órgano de concertación al interior de la comunidad y de representación ante las autoridades locales del municipio. Por ejemplo, el centro poblado Pullo está organizado en tres (03) barrios, (Paccha, Pusas, Casuarinas). Cada uno cuenta con una junta vecinal que canaliza las demandas de los residentes (Cribilleros et al. 2014).

Comunidad campesina:

Existen distintas agrupaciones de población campesina en los doce anexos. Como parte de la visita de diagnóstico, el equipo PUCP pudo reunirse con 21 integrantes de la comunidad campesina del centro poblado Pullo de un total de aproximadamente 60. Sin embargo, cabe destacar que las prácticas comunales están atravesando por un momento de crisis debido a la baja participación de la población en las faenas y que los comuneros se niegan a participar de trabajos colectivos convocados por el Municipio. No se ha definido si esta crisis se debe a la desvaloración de la práctica comunitaria o, más bien, es una manifestación del conflicto latente entre la junta comunal y el municipio (Cribilleros et al. 2014).

Si bien se observó una gran cantidad de tensiones entre el municipio distrital y la comunidad campesina, también se identificó una práctica política muy positiva: el izamiento de la bandera los días domingo, por la mañana, sirve como un espacio de ejercicio ciudadano (Figura 4.3). La ceremonia es utilizada para que el alcalde dé cuenta de acciones desarrolladas por el Municipio, pero también se permite la intervención de cualquier ciudadano para hacer consultas a la

autoridad. Como evidencia de la importancia de esta práctica en la vida de la comunidad, asisten el alcalde, la religiosa encargada de la parroquia, el presidente de la junta campesina, la médica a cargo del centro de salud, además de los vecinos y vecinas (Cribilleros et al. 2014).



Figura 4.3. Izamiento de bandera dominical.

4.3.3. Caracterización de las viviendas: materiales de construcción y proceso constructivo

El adobe es el material de construcción predominante en las viviendas del distrito con muy poca presencia de albañilería confinada (INEI 2007). En promedio, una vivienda de albañilería confinada construida en una zona urbana necesita de asistencia técnica y tiene un costo aproximado de \$200-250/m², mientras una vivienda de adobe no reforzado en una zona rural puede ser autoconstruida y tiene un costo aproximado de \$20-30/m² (Macabuag y Quiun 2013). Además de su bajo costo, las viviendas de adobe brindan gran confort térmico y acústico a sus habitantes, sin embargo, son altamente vulnerables a los sismos, poniendo en peligro innecesario la vida de sus ocupantes (Blondet et al. 2008). Lamentablemente, si bien el distrito de Pullo se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad, la falta de recursos económicos y oportunidades para adquirir materiales de construcción industrializados (Blondet y Rubiños 2014) hacen del adobe el único material de construcción accesible para muchas familias en el distrito.

Alrededor del 80% de las viviendas del distrito de Pullo están hechas de adobe (INEI 2007) y han sido construidas sin ninguna asesoría técnica a través del proceso andino tradicional con barro de la región. En el caso del distrito de Pullo, el barro es traído de una cantera localizada a la entrada del centro poblado y propiedad de la comunidad campesina. La tierra es mezclada con agua hasta formar un barro que “duerme” por un par de días, se añade paja cortada o ichú y se vuelve a mezclar; la mezcla se coloca en moldes de madera cuadrados o rectangulares

que pueden ser de diverso tamaño; se desmolda el ladrillo de barro y se lo seca a la intemperie (Figura 4.4); más adelante se utiliza el mismo barro como mortero para unir los adobes y como recubrimiento de las paredes.



Figura 4.4. Secado de adobes a la intemperie.

La mayoría de las viviendas del centro poblado de Pullo tienen más de 50 años de antigüedad y se caracterizan por tener de uno a dos pisos construidos en adobe. Los bloques utilizados para la construcción tienen dimensiones, en promedio, de 400x200x100 mm. Los cimientos de las viviendas están conformados, en su mayoría, por una pirca de barro y piedras. Los muros están contruidos con un "amarre americano" que permite tener muros de 400 mm de espesor. Los techos están hechos de madera, con troncos que se apoyan directamente en los muros de adobe sin presencia de viga collar o elemento de amarre (Figura 4.5). La cobertura es de paja o calaminas y presenta caídas a "dos aguas" para evacuar el agua de lluvias. Por último, las viviendas presentan un enlucido (tarrajeo) de barro de 20-30 mm de espesor, con mucha paja.



Figura 4.5. Viviendas típicas de adobe en el distrito de Pullo.

Se realizó una entrevista informal a un maestro de obra de la zona que permitió recolectar información sobre el proceso constructivo tradicional en adobe e identificar algunos problemas constructivos: En primer lugar, no existe un criterio de selección de tierra adecuado para la elaboración de los bloques de adobe ni para el barro del recubrimiento. La construcción del muro se realiza utilizando juntas verticales y horizontales de gran espesor (20-40 mm), lo cual disminuye la resistencia de las paredes. La parte superior de los muros no presenta ningún tipo de amarre o confinamiento (viga collar de madera) que permita un trabajo conjunto de todos los muros durante un sismo y que sirva de apoyo a los troncos de madera que conforman el techo. No se da tratamiento a la madera de los techos ni se utiliza asfalto o algún impermeabilizante en la cimentación para proteger muros de la humedad. Finalmente, pese a la alta sismicidad del distrito de Pullo, ninguna vivienda presenta criterios o materiales de refuerzo sísmico (Cribilleros et al. 2014).

4.3.4. Infraestructura dañada

El daño observado durante la visita de diagnóstico responde a la falta de criterios de diseño sismorresistente durante el proceso constructivo que, sumados a la antigüedad y precariedad de muchas viviendas, produjeron fallas típicas de adobe no reforzado, como se menciona a continuación:

Grietas verticales en las esquinas y volteo del muro fuera del plano:

Cuando ocurre un movimiento sísmico en viviendas de techo liviano, la vibración de los muros perpendiculares entre sí genera una concentración de esfuerzos en la parte superior de las esquinas, generando una grieta vertical que se propaga hacia abajo (Figura 4.6). Esta grieta vertical hace que el muro quede suelto y vibrando libremente, lo que posteriormente puede causar su colapso (Torrealva 2003).

Grietas diagonales por fuerza cortante en el plano del muro:

Estas grietas son causadas por la acción de fuerzas cortantes y se presentan usualmente en las esquinas superiores o inferiores de las aberturas de puertas y ventanas extendiéndose en forma diagonal hacia la parte superior o inferior del muro respectivamente (Figura 4.7). Son debidas a la concentración de esfuerzos en las esquinas de las aberturas y a la incompatibilidad de las propiedades mecánicas del adobe y el material de los dinteles (Torrealva 2003).

Colapso de tímpanos de adobe:

En zonas lluviosas es común en las viviendas de adobe el techo a dos aguas hecho que por lo general conlleva la construcción de un tímpano como una continuación de los muros extremos. La mayor altura de estos muros los hace especialmente vulnerables al colapso (Figura 4.8) aun cuando puedan estar ligeramente arriostrados por el techo de la vivienda que por lo general se apoya sobre ellos (Torrealva 2003).

Grieta por flexión fuera del plano:

Este tipo de falla es típica de los muros libres (Figura 4.9) y se produce por lo general cerca de la base debido a la generación de una grieta horizontal, una vez producida la grieta el muro se balancea en un movimiento tipo "rocking" en el cual la posibilidad de colapso depende del espesor del muro (Torrealva 2003).



Figura 4.6. Agrietamiento vertical en encuentro de muros.



Figura 4.7. Agrietamiento diagonal siguiendo la línea de juntas de mortero.



Figura 4.8. Colapso parcial de tímpano de adobe.



Figura 4.9. Volteo lateral de muro de cerco.

Cabe resaltar que los pobladores de Pullo tienen un conocimiento empírico del pobre comportamiento sísmico de las viviendas de adobe no reforzado debido a las rajaduras y grietas que perciben después de cada evento sísmico. Sin embargo, debido a la baja conciencia sísmica de la población, una vez pasado el sismo la población tiende a olvidar la fragilidad de sus viviendas de adobe no reforzado y volver al desarrollo normal de sus actividades. En consecuencia, los propietarios no realizan mantenimiento, reparación o reforzamiento después de un sismo y la vulnerabilidad de sus viviendas aumenta y se acumula para el siguiente evento sísmico.

4.3.5. Percepciones de la población en torno a la actividad sísmica

En general, el distrito de Pullo está ubicado en una zona altamente sísmica y sus pobladores recuerdan el daño causado a muchas viviendas por los sismos de Arequipa (2001) y Pisco (2007), los cuales fueron mucho más destructivos que el sismo del 24 de agosto. Esto indica que si bien, durante el último sismo se generó miedo, preocupación y nervios entre los pobladores de Pullo, y los adultos mayores con problemas cardíacos requirieron de atención psicológica, esto no produjo repercusiones graves posteriores en cuanto a salud mental (Cribilleros et al. 2014).

Sin embargo, los pobladores de Pullo tienen un conocimiento empírico del pobre comportamiento sísmico de las viviendas de adobe no reforzado debido a las rajaduras y grietas que perciben después de cada evento sísmico. Por ello, durante la visita diagnóstica, los pobladores expresaban su temor a que, frente a otro posible sismo, sus viviendas puedan derrumbarse o dañarse, al igual que las calles y canales de regadío del centro poblado (Cribilleros et al. 2014). Más aún, los pobladores expresaban su deseo de apoyo por parte del Estado para que sus viviendas sean de material “noble” (albañilería confinada) sin considerar la posibilidad de construir con adobe reforzado o utilizar el refuerzo sísmico para brindar protección adecuada para sus viviendas.

Asimismo, la comunidad señaló haber realizado simulacros previos en los que se identifica al campo deportivo o plaza “San Antonio” como una zona amplia y segura donde se debe recurrir en caso de actividad telúrica. Además, algunos pobladores mencionaron estar organizados en tres barrios, cada uno con un líder designado para organizar a las personas. No obstante, no todas las personas en Pullo reconocen esta medida como efectiva; por ejemplo, en el caso de la escuela primaria, se menciona que los estudiantes no toman en serio los simulacros, y durante el sismo en sí, también se refirió que la gente se alarma y el orden se pierde.

Finalmente, los pobladores mencionaron recurrir a la parroquia en momentos de crisis y su disposición a apoyarse unos a otros en estos casos (Cribilleros et al. 2014).

Es importante resaltar que toda la información recolectada permitió validar la pertinencia de capacitar a los pobladores del distrito de Pullo en construcción con adobe con reforzamiento sísmico. Además, se propuso la utilización de la malla de cuerdas debido al bajo costo, fácil acceso en comunidades rurales y bajo impacto ambiental del material de refuerzo (Blondet et al. 2013). La inclusión de este material de refuerzo en el proceso de construcción tradicional del distrito de Pullo permitiría mitigar el alto riesgo sísmico en que muchas familias viven actualmente. Así, se evitarían posibles pérdidas humanas y materiales en futuros eventos sísmicos.

4.4. PRIMER VIAJE DE TRABAJO: ACTIVIDADES DE SENSIBILIZACIÓN

El primer viaje de trabajo del proyecto de capacitación piloto se llevó a cabo en mayo de 2015. El equipo de trabajo estuvo conformado por tres ingenieros civiles, una comunicadora para el desarrollo y una psicóloga comunitaria quienes viajaron llevando la mesa vibratoria portátil (Figura 4.10) y otros materiales didácticos para la realización de "las actividades de sensibilización" (p. 23-25). El objetivo principal fue presentar el proyecto y sensibilizar a la población en la importancia del refuerzo sísmico, así como incrementar el interés de los pobladores de la comunidad en las siguientes sesiones de trabajo del proyecto de capacitación DARS-PUCP.



Figura 4.10. Transporte de la mesa vibratoria portátil.

4.4.1. Actividades previas

En enero 2015, se produjo el cambio de autoridades municipales por lo cual, como parte de las actividades previas a la sesión de trabajo, se procedió a conocer al nuevo alcalde distrital y explicar de manera resumida la presencia del equipo de trabajo en el centro poblado de Pullo. Luego, se llevó a cabo una reunión, con representantes del municipio distrital, de la parroquia y de la comunidad campesina, en la cual se explicaron los objetivos a corto y mediano plazo del proyecto y las actividades a realizarse. El equipo de trabajo respondió todas las preguntas de los actores clave, y, finalmente, pidió la colaboración de la comunidad campesina para convocar a los pobladores "comuneros" y la colaboración del municipio distrital y de las religiosas de la parroquia para convocar a la población en general.

Adicionalmente, se realizaron entrevistas e invitaciones individuales y grupales con equidad de edad y género (hombres y mujeres, adultos mayores y niños) a pobladores del centro poblado de Pullo. En algunos casos, las invitaciones se hicieron tocando la puerta de las viviendas aledañas a la plaza central y, además, el equipo de trabajo hizo preguntas sobre la antigüedad, proceso constructivo y daños sísmicos de las viviendas; en otros casos, las invitaciones se hicieron a los dueños y clientes de tiendas de abarrotes, feligreses de la parroquia y transeúntes encontradas al recorrer las calles del centro poblado. Además, se realizó una pequeña campaña publicitaria a la llegada del equipo de trabajo utilizando el megáfono de la municipalidad distrital. Sin embargo, es muy importante destacar que la asistencia fue voluntaria y no hubo ningún tipo de condicionamiento o incentivo monetario para participar de la sesión de trabajo.

4.4.2. Sesión de trabajo

La primera sesión de trabajo del taller de capacitación piloto se llevó a cabo el día domingo 24 de mayo de 2015 y tuvo una duración total de dos horas. El taller de "sensibilización" tuvo un total de 53 asistentes, entre hombres, mujeres, adultos mayores y niños. La estructura general de la sesión de trabajo fue la misma que se describe en el acápite "3.4.2. Actividades de sensibilización" (p. 23-25) y se relata a continuación.

Como introducción el equipo de trabajo presentó los resultados de la evaluación diagnóstica previamente realizada haciendo uso de un proyector multimedia (Figura 4.11) y, luego, presentó los objetivos a corto y mediano plazo del proyecto DARS-PUCP. Se explicó de manera clara y detallada, para evitar malinterpretaciones, que los participantes no recibirían donativos ni materiales de construcción; por el contrario, recibirían capacitación práctica en construcción

sismorresistente con adobe. Luego de esta explicación y responder las dudas de los asistentes, dio inicio al taller de sensibilización.



Figura 4.11. Presentación e inicio del primer taller de sensibilización.

Para comenzar, se mostró un video del sismo de Huaraz de 1970 y se realizaron preguntas abiertas a los asistentes ("¿Cómo se sintieron viendo el video?" o "¿Alguna vez se han sentido así?"). Esta dinámica permitió a los participantes expresar sus miedos e ideas sobre los terremotos y la construcción con adobe; y, también permitió al equipo de trabajo confirmar la necesidad de viviendas de adobe más seguras. El equipo de trabajo pudo percibir que los pobladores de Pullo perciben el adobe como un material de construcción débil y, sin embargo, el único al que pueden acceder económicamente, por lo cual poseen temor de perder sus vidas, sus familias y/o sus viviendas a los terremotos.

Seguidamente, se mostraron una serie de videos técnicos intercalados con más preguntas abiertas a los participantes. Primero, se hizo énfasis en la pregunta: "¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?". A lo cual los participantes respondieron de manera unánime: "No". Dado que se esperaba dicha respuesta negativa, se procedió a mostrar el video motivacional sobre la construcción con adobe sismorresistente (p.9). Luego, se presentaron videos de ensayos en modelos de adobe no reforzados a escala natural en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP y el video final presentó el ensayo sísmico del modelo reforzado con cuerdas de nylon. Las respuestas de los pobladores, durante esta dinámica interactiva, evidenciaron su falta de confianza en el adobe y confirmaron su desconocimiento previo de técnicas de reforzamiento que ellos pudieran aplicar en sus viviendas. Si bien al finalizar esta dinámica algunos pobladores mostraron su escepticismo, muchos otros mostraron su interés con diversas preguntas: "¿De qué grosor deben ser las cuerdas?", "¿Las cuerdas deben cubrirse con barro?", "¿Cada cuánto deben cambiarse?" o "¿Esta tecnología puede aplicarse a viviendas de dos pisos?".

Más adelante, se invitó a todos los participantes a que vieran la demostración con la mesa vibratoria portátil. Previamente, **se enseñaron cuerdas de nylon compradas en una tienda local del centro poblado de Pullo** y se explicó brevemente su utilidad como refuerzo sísmico (Figura 4.12). Se resaltaron las diferencias entre los dos modelos de adobe a escala reducida: el primer modelo estaba reforzado con hilos de nylon (representando la malla de cuerdas) y el segundo modelo no estaba reforzado (representando la construcción tradicional). Si bien ambos modelos tenían las mismas dimensiones y poseían dinteles en las puertas y ventanas; el modelo reforzado tenía, además, una viga collar que amarraba todos los muros y mallas de hilos de nylon cubriendo ambas caras de todas las paredes (figura 4.13).



(a) Tienda local.



(b) Explicación del refuerzo sísmico.

Figura 4.12. Presentación de la malla de cuerdas de nylon.



Figura 4.13. Modelos terminados listos para ensayo dinámico.

Esta demostración ejemplificó, de manera sencilla, el comportamiento que las viviendas de adobe reforzadas y no reforzadas tienen durante un sismo (Figura 4.14). A medida que la

simulación se llevaba a cabo, se hizo énfasis en las diferencias de comportamiento de ambos modelos: Por un lado, el modelo a escala no reforzado colapsó después de unos segundos de movimiento leve, de manera similar a las viviendas de adobe, que construidas de manera tradicional (no reforzadas), colapsan durante un sismo. Por el contrario, el modelo a escala reforzado mantuvo su integridad y los hilos de refuerzo previnieron el colapso del modelo de manera similar a las cuerdas de nylon en el modelo ensayado en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP (Blondet et al. 2013).



Figura 4.14. Demostración con la mesa vibratoria portátil.

Una vez terminada la demostración se pidió a los participantes responder nuevamente la pregunta: "¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?". A lo cual los participantes respondieron de manera unánime: "Sí". Así mismo, se preguntó a los participantes: "¿Con qué modelo identifican sus viviendas?". La población identificó sus viviendas con el modelo a escala no reforzado, pese a la falta de mortero de barro entre las unidades, y admitió en voz alta la importancia del refuerzo sísmico (hilos de colores) en el modelo a escala reforzado. En base a estas respuestas positivas sobre el incremento de conciencia sísmica de la población, se volvieron a explicar los objetivos a corto y mediano plazo del proyecto de capacitación DARS-PUCP. Se realizó una consulta general a los pobladores sobre sus horarios de trabajo y las horas y días a la semana que podrían dedicar a capacitarse. Se volvió a hacer gran énfasis en la importancia del refuerzo sísmico para salvaguardar la vida de los ocupantes de una vivienda de adobe y, finalmente, se pidió a los participantes interesados registrar sus datos (nombre, documento de identidad y firma) como suscripción a los siguientes talleres de capacitación (Figura 4.15).



Figura 4.15. Inscripción de los participantes al siguiente taller de capacitación.

4.5. SEGUNDO VIAJE DE TRABAJO: ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN

El segundo viaje de trabajo del proyecto de capacitación piloto se llevó a cabo en septiembre de 2015. En esta segunda ocasión, el equipo de trabajo estuvo conformado por dos ingenieros civiles (uno de ellos nuevo en el proyecto) y la misma comunicadora para el desarrollo, quienes viajaron llevando materiales para la realización de “las actividades de capacitación” (p. 25-27). El objetivo principal fue presentar y capacitar a la población en la utilización de la malla de cuerdas de nylon como refuerzo sísmico (por ejemplo, las características generales de una vivienda sismorresistente, el amarre de nudos y la colocación de cuerdas).

4.5.1. Actividades previas

El segundo viaje de trabajo del proyecto de capacitación piloto se programó originalmente para agosto 2015, en base a coordinaciones con el municipio distrital y las religiosas de la parroquia. Además, se definió un horario tentativo para la tarde del sábado y la mañana del domingo, en base a las respuestas de los pobladores encuestados al finalizar la primera sesión de trabajo. Sin embargo, pese a los intentos de coordinación con los actores clave, la fecha programada coincidió con la realización de una práctica comunitaria denominada “chacco de vicuñas”, en la cual el equipo de trabajo prefirió no interferir por respeto a las manifestaciones de identidad cultural del centro poblado de Pullo. En consecuencia, las actividades de “capacitación” fueron reprogramadas y llevadas a cabo en setiembre de 2015.

A fin de incrementar el interés de los pobladores, el equipo de trabajo viajó previamente a la comunidad para coordinar y difundir el taller. Se realizó una pequeña campaña de difusión

mediante la colocación de afiches en lugares estratégicos de la comunidad (Figura 4.16), llamadas telefónicas a actores clave de la comunidad para recordar la fecha y horarios de las sesiones, y anuncios con el megáfono local. Así mismo, se volvieron a realizar las actividades mencionadas en el acápite “4.4.1. Actividades previas” del primer viaje de trabajo (p. 40), en concordancia con la metodología de capacitación propuesta.



Figura 4.16. Afiche publicitario en la pared de la municipalidad.

4.5.2. Sesiones de trabajo

El taller de “capacitación” se realizó en dos sesiones de trabajo con una duración aproximada de dos horas cada una. La primera sesión se llevó a cabo el día sábado 19 de septiembre de 2015 y tuvo un total de 22 participantes, entre hombres, mujeres y adultos mayores. La segunda sesión se llevó a cabo el día domingo 20 de septiembre de 2015 y tuvo un total de 18 participantes, entre hombres, mujeres y adultos mayores que retornaron después de la primera sesión de trabajo. La estructura general de la sesión de trabajo fue la misma que se describe en el acápite “3.4.3. Actividades de capacitación” (p. 25-27) y se relata a continuación.

Primera sesión de trabajo:

Para comenzar, se preguntó a los participantes cuantos habían asistido a la sesión de trabajo realizada el 24 de mayo de 2015. Según las respuestas de los asistentes, sólo tres (03) de ellos habían participado en el taller de “sensibilización”, por ello el equipo de trabajo presentó nuevamente los objetivos a corto y mediano plazo del proyecto DARS-PUCP y las actividades realizadas previamente en el poblado de Pullo, por medio de una breve presentación audiovisual. Se volvió a explicar de manera clara y detallada, para evitar malinterpretaciones, que los participantes no recibirían donativos ni materiales de construcción; únicamente, serían

capacitados de manera práctica en construcción con adobe reforzado con malla de cuerdas. Luego de esta explicación introductoria y responder las dudas de los asistentes, dio inicio a la primera sesión del taller de capacitación (Figura 4.17).



Figura 4.17. Inicio del segundo taller de trabajo en el distrito de Pullo.

Para comenzar, se repitieron de manera un poco más abreviada las actividades de sensibilización realizadas durante el taller de "sensibilización" en mayo (p. 41): Se colocaron imágenes de desastres post-sismo (Figura 4.18), se mostró un video del sismo de Huaraz de 1970 y se realizaron preguntas abiertas a los asistentes, luego, se presentó el video del ensayo sísmico del modelo reforzado con mallas de cuerdas de nylon a escala natural en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP. La cantidad de preguntas evidenció, aún más que la primera vez, el interés de los pobladores en el refuerzo sísmico ("¿Dónde puedo comprar esas cuerdas?"; "¿Qué grosor deben tener las cuerdas?" o "¿Cada cuánto deben colocarse las cuerdas?"). Luego, se introdujo de manera general la técnica de reforzamiento con malla de cuerdas, se explicaron las características de una vivienda sismorresistente señalándolas en una gigantografía impresa y los pobladores, también, pudieron observar dichas características en un modelo a escala reducida, que fue puesto a prueba en la mesa vibratoria portátil PUCP (Figura 4.19). Como añadidura a la demostración con la mesa vibratoria portátil, se invitó a los pobladores a que intentaran "derrumbar" el modelo reforzado y comprobar por ellos mismos su resistencia (Figura 4.20).



Figura 4.18. Imágenes de activación.



Figura 4.19. Demostración con la mesa vibratoria portátil.



Figura 4.20. Participantes del taller intentando "derrumbar el modelo reforzado".

De esta manera se ejemplificó, una vez más, el comportamiento que las viviendas de adobe reforzadas y no reforzadas tienen durante un sismo. La población volvió a identificar sus viviendas con el modelo a escala no reforzado, pese a la falta de mortero de barro entre las unidades, y admitió nuevamente en voz alta la importancia del refuerzo sísmico (hilos de colores) en el modelo a escala reforzado (p. 43).

Finalmente, para terminar la primera sesión de trabajo, se entregaron dos trozos de cuerda a cada participante. Se recalcó que **las cuerdas de nylon podían ser compradas en las tiendas locales** y que no era necesario equipos o herramientas especiales para el reforzamiento de una vivienda con la malla de cuerdas. Se procedió a explicar de manera detallada cómo amarrar las cuerdas con el nudo propuesto en el manual de construcción ilustrado. Se observó que los participantes conocían otros nudos y probaban sus propias combinaciones de nudos, lo cual demostró la alta familiaridad que los pobladores del distrito de Pullo tienen con las cuerdas de nylon.

Segunda sesión de trabajo:

Como introducción, el equipo de trabajo reforzó el mensaje transmitido durante el taller de sensibilización de mayo (p. 43) y la primera sesión del taller de capacitación (p. 47), se explicó nuevamente la importancia del refuerzo sísmico y se recalcó la utilidad de la malla de cuerdas para prevenir el colapso de las viviendas de adobe.

Seguidamente, se preguntó a los participantes cuantos habían estado presentes en la primera sesión de trabajo y cuantos recordaban el nudo de amarre previamente enseñado. Si bien la mayor parte de asistentes había asistido el día anterior y algunos recordaban el proceso de amarre del nudo propuesto, no todos habían asistido o recordaban el amarre correcto. Por ello, se volvió a explicar de manera detallada el nudo de amarre propuesto en el manual de construcción ilustrado y se entregaron nuevos trozos de cuerda para que los participantes practicasen (Figura 4.21).



Figura 4.21. Aprendizaje del nudo de amarre.

Los pobladores tuvieron la ocasión de practicar el amarre y la colocación de la malla de cuerdas de nylon en un muro de cerco del local comunal de regantes. Para ello, primero se realizaron agujeros entre las juntas de mortero en lugares indicados por el equipo de trabajo. Los agujeros se realizaron con ayuda de un taladro eléctrico (Figura 4.22, izquierda) por motivos de facilidad y rapidez, pero también se explicó el proceso para perforar los agujeros utilizando cincel y comba (Figura 4.22, derecha). Así mismo, dieron indicaciones generales a los pobladores sobre la distancia de separación entre agujeros para la colocación de las cuerdas: “Los huecos se realizan entre los adobes por el mortero a una distancia mínima de 25 cm”. Cabe resaltar que la distancia indicada a los pobladores corresponde al espaciamiento horizontal y vertical de 25

cm utilizado durante el ensayo de simulación sísmica realizado en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP (Blondet et al. 2013).



Figura 4.22. Perforación de agujeros con taladro (izquierda) y con cincel y comba (derecha).

Los participantes de la sesión tomaron turnos para practicar la colocación de cuerdas horizontales y verticales siguiendo las indicaciones del equipo de trabajo (Figuras 4.23 y 4.24). Esta colocación les permitió observar nuevamente la ubicación de los agujeros y visualizar la posición final de las cuerdas. Se hizo un énfasis muy especial en realizar los agujeros por el mortero de barro y, al mismo tiempo, no pasar las cuerdas entre las juntas horizontales (en las esquinas) o verticales (parte superior e inferior del muro) para evitar “cortar” el mortero de barro. Se respondieron todas las preguntas de los participantes y se observó, una vez más, la familiaridad de los pobladores con las cuerdas de nylon, las cuales utilizan en sus actividades diarias de ganadería.



Figura 4.23. Colocación de cuerdas horizontales.



Figura 4.24. Colocación de cuerdas verticales.

Seguidamente, los participantes de la sesión tomaron turnos para practicar en grupos el tensado de las cuerdas y el amarre de los nudos (Figura 4.25), siempre bajo las indicaciones del equipo de trabajo. Los pobladores no mostraron dificultad o confusión en las instrucciones y pudieron replicar los nudos sin ayuda. En todo momento, se procuró la participación de mujeres y de adultos mayores para desalentar la falsa creencia de “la construcción es sólo los hombres” y, al mismo tiempo, promover la igualdad de género y edad.



Figura 4.25. Tensado de cuerdas y amarre de nudo por parte de grupo con equidad de género y edad.

Finalmente, para terminar la sesión de trabajo y con ello las actividades de capacitación programadas, se entregaron copias de la sección del manual de construcción ilustrado (Figura 4.26). Las páginas entregadas contenían indicaciones gráficas de cómo realizar la colocación de las cuerdas y los nudos de amarre practicados (Figura 4.27). Esta información fue entregada

a una regidora de la municipalidad distrital, con el encargo permitir la reproducción total o parcial a cualquier poblador interesado.



Figura 4.26. Entrega de copias del manual de construcción.

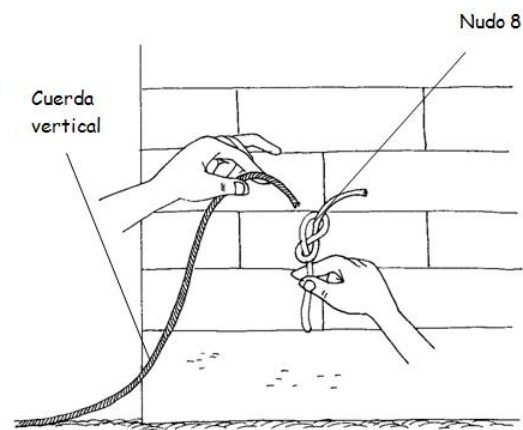


Figura 4.27. Ilustración sobre el amarre del nudo propuesto.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se discute brevemente la información obtenida en este trabajo de tesis. En primer lugar, se discute la pertinencia de la malla de cuerdas como material de refuerzo sísmico en zonas rurales andinas; en segundo lugar, se discute la experiencia de capacitación en la comunidad andina de Pullo, enfatizándose el impacto de la demostración con la mesa vibratoria portátil, las dificultades que se tuvieron al efectuar la transferencia tecnológica y la importancia que tiene el trabajo interdisciplinario; por último, se revisa el impacto que las actividades de sensibilización y capacitación tuvieron en los pobladores de la comunidad andina de Pullo.

5.2. LA PERTINENCIA DE LA MALLA DE CUERDAS

La malla de cuerdas tiene gran potencial para ser incorporada como material de refuerzo sísmico en el proceso de construcción tradicional con adobe, empleado por muchas comunidades rurales ubicadas en áreas sísmicas de la sierra peruana. Con respecto al factor ambiental, la construcción de una vivienda reforzada con la malla de cuerdas no requiere maquinaria adicional o herramientas sofisticadas en comparación a la construcción de una vivienda de adobe tradicional. Pese a ello, se requieren estudios adicionales para estimar la polución producida por el transporte de la cantidad de cuerda necesaria para reforzar todas las viviendas de una comunidad, y así determinar la sostenibilidad ambiental de la malla de cuerdas. Con respecto al factor económico, las cuerdas de nylon son significativamente más baratas que otros materiales de refuerzo industrializados (Blondet et al. 2008), y actualmente se las puede encontrar a la venta en tiendas locales debido a su uso en las actividades agropecuarias de las comunidades rurales de la sierra peruana. Como respaldo de esta afirmación tenemos que, al llegar a la comunidad andina de Pullo, se buscaron y encontraron cuerdas de nylon de diferentes grosores y colores en dos tiendas locales diferentes (Figura 5.1). Sin embargo, los templadores de metal usados en el programa experimental no se encontraron en la localidad y eran desconocidos para los pobladores de Pullo, con lo cual se comprobó la necesidad de contar con nudos de amarre para mantener la tensión en las cuerdas (Mattsson

2015). Por último, con respecto al factor social, la malla de cuerdas promovería la perpetuación del trabajo comunitario y la solidaridad entre los pobladores de una comunidad andina, puesto que la colocación de las cuerdas y el amarre de los nudos es mucho más rápida y sencilla entre varias personas.



Figura 5.1. Cuerdas de nylon encontradas en la comunidad andina de Pullo.

Pese a las bondades de la malla de cuerdas como material de refuerzo sísmico, ésta, al igual que muchos otros materiales de refuerzo (Vargas et al. 2005), ha sido desarrollada por los investigadores de la PUCP únicamente para construcciones de un piso. Esta limitación es altamente preocupante debido a que en las áreas rurales se construye sin asistencia técnica y es común observar viviendas de adobe de dos o más pisos pese a su altísima vulnerabilidad sísmica. En particular, durante el trabajo de campo en la comunidad andina de Pullo, se observó una gran cantidad de viviendas de adobe de dos pisos, lo que a su vez motivó a los participantes de las sesiones de trabajo a preguntar sobre la posibilidad de utilizar la malla de cuerdas en el reforzamiento de sus, ya existentes, viviendas de dos pisos. En su momento, se explicó cuidadosa y enfáticamente que esta técnica de reforzamiento sólo podía utilizarse en viviendas de un piso, pero que se llevaría su pedido de soluciones técnicas para el reforzamiento de viviendas de adobe de dos pisos a los investigadores de la universidad. Se necesitan, entonces, nuevos proyectos de investigación para determinar si la malla de cuerdas puede utilizarse como refuerzo sísmico en construcciones de dos pisos, o si más bien deben encontrarse otras soluciones alternativas para este tipo de construcciones.

5.3. LA EXPERIENCIA DE CAPACITACIÓN

5.3.1. El impacto de la mesa vibratoria portátil

El uso de la mesa vibratoria portátil como herramienta de comunicación generó un ambiente educacional y lúdico, al mismo tiempo, que incrementó el interés y la confianza de los pobladores en el refuerzo sísmico. Al finalizar la primera demostración, se pidió levantar la mano a los participantes convencidos de la posibilidad de construir casas de adobe sismorresistentes. La respuesta fue unánime y afirmativa (Figura 5.2). Al finalizar la segunda demostración, se invitó además a los pobladores a que ellos mismos comprobaran la resistencia del modelo reforzado, accionando la mesa vibratoria portátil. Se cree que esta interacción fue una manera exitosa de motivar y establecer un vínculo entre los pobladores de Pullo y el equipo de trabajo (Mattsson, 2015). Además, la incorporación de elementos de la investigación académica mediante videos técnicos, permitió evidenciar los esfuerzos realizados por la PUCP para encontrar soluciones sostenibles al problema de la vulnerabilidad de las viviendas de adobe no reforzado.



Figura 5.2. Pobladores de Pullo levantando la mano como signo de confianza.

Las demostraciones con la mesa vibratoria portátil efectuadas frente a los pobladores de la comunidad de Pullo permitieron validar el diseño de los modelos a escala reducida y el impacto visual de esta herramienta. Por un lado, el comportamiento del modelo no reforzado ejemplificó de manera adecuada el desempeño estructural de las viviendas de adobe tradicionales durante un sismo. Por el otro, el comportamiento del modelo reforzado permitió a los pobladores observar el desempeño estructural esperado de una vivienda de adobe reforzado. Además, la interacción con los pobladores permitió validar la exclusión del mortero de barro entre las unidades, ya que pese a ello los pobladores identificaron sus viviendas con

el modelo de adobe no reforzado a escala reducida. En general, se concluye que el uso de esta herramienta reforzó el mensaje que el equipo de trabajo intentó dar en todo momento “el refuerzo sísmico hace las viviendas de adobe más resistentes a los terremotos y permite salvar vidas”.

Es importante señalar que se explicó claramente a los participantes de las sesiones de trabajo que el refuerzo sísmico mejora el desempeño estructural de las viviendas de adobe, pero no las hace invulnerables a los terremotos. La inclusión de la malla de cuerdas brindaría a los habitantes de las viviendas de adobe tradicionales el tiempo suficiente para salir con calma y salvar sus vidas. Sin embargo, al igual que lo observado en el laboratorio de estructuras PUCP, será necesario efectuar trabajos de reparación o reconstrucción, dependiendo de la intensidad del sismo.

5.3.2. Las dificultades para la transferencia tecnológica

Los talleres realizados como parte de la investigación de campo de este proyecto de tesis buscaban superar algunos obstáculos de la difusión de la construcción sismorresistente con adobe en comunidades rurales. La demostración con la mesa vibratoria portátil y los materiales de motivación utilizados se enfocaron en incrementar la “conciencia sísmica” de la población y generar confianza en la eficacia del refuerzo sísmico. Sin embargo, durante la experiencia de capacitación se observaron ciertas dificultades y obstáculos para la realización de los talleres de sensibilización y capacitación que deberán considerarse en futuros proyectos de transferencia tecnológica en comunidades rurales.

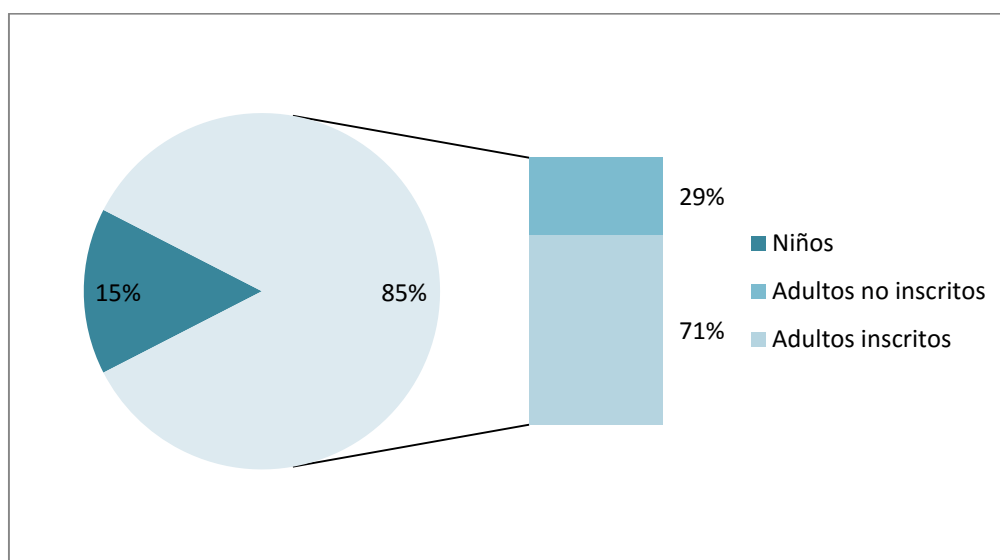
Comunicación entre el equipo de trabajo, los actores involucrados y la población:

La falta de comunicación fluida entre el equipo de trabajo y los actores involucrados dificultó el planeamiento de los horarios y fechas de las sesiones de trabajo. Si bien los participantes en el primer taller dieron su disponibilidad de horario y su conformidad con algunas fechas sugeridas, siempre pusieron la condición de “*nos avisan antes*”. Por ello, el equipo de trabajo procuró alianzas con dos actores locales: el alcalde distrital, como autoridad edil, y las religiosas de la parroquia San Idelfonso de Pullo, como representantes de Cáritas Caravelí. El equipo de trabajo debía indicar su disponibilidad de tiempo para las actividades de capacitación a los actores locales aliados, y éstos debían confirmar o negar la disponibilidad de tiempo de la población, para así pactar las fechas y horarios convenientes para ambas partes.

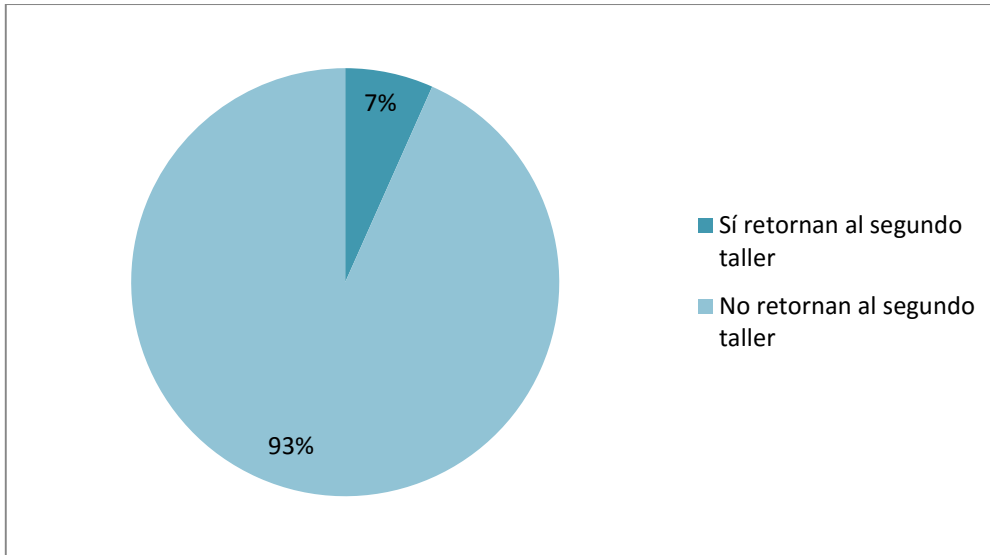
Sin embargo, la falta de internet y de señal telefónica en gran parte del distrito de Pullo, impidieron la comunicación fluida con los actores locales aliados. Con respecto a las hermanas de la parroquia, no había un número de teléfono a través del cual comunicarse con ellas directamente y era necesario esperar que algún funcionario de Cáritas Caravelí viajara y se comunicara con ellas. Con respecto al alcalde distrital, las llamadas realizadas muchas veces eran interrumpidas o pospuestas debido a la falta de señal telefónica durante sus viajes a los diferentes anexos del distrito. Esta falta de comunicación impidió que el equipo de trabajo estuviera informado de las actividades programadas intempestivamente, como por ejemplo el “chacco de vicuña” cuya coordinación terminó de realizarse en presencia del equipo de trabajo.

Falta de representantes permanentes en el área de estudio:

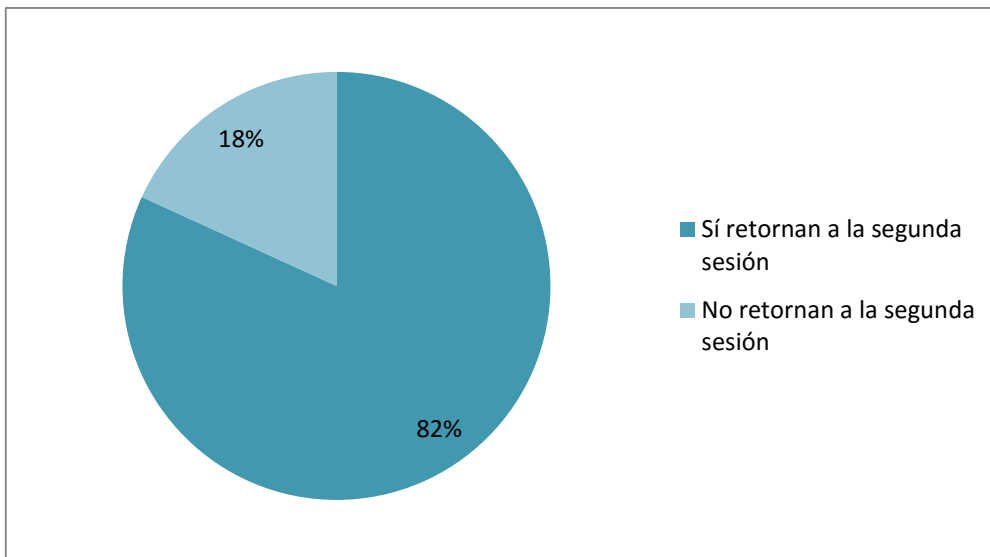
La falta de representantes permanentes en el área de estudio dificultó aún más las actividades de convocatoria pese al éxito de las actividades de sensibilización en incrementar la confianza de la población en el refuerzo sísmico. Durante el primer taller de trabajo (actividades de sensibilización) hubo 53 participantes entre hombres, mujeres, adultos mayores y niños; 32 de los cuales se inscribieron formalmente a las actividades de capacitación (Gráfica 5.1). Sin embargo, la primera sesión del segundo taller de trabajo (actividades de capacitación) se realizó únicamente con 22 participantes, de los cuales sólo tres se habían inscrito previamente (Gráfica 5.2). Luego, 18 participantes en total regresaron al día siguiente para la segunda sesión de trabajo (Gráfica 5.3).



Gráfica 5.1. Participantes durante las actividades de sensibilización.



Gráfica 5.2. Participantes que retornan para las actividades de capacitación.



Gráfica 5.3. Participantes que retornan para la segunda sesión de trabajo de las actividades de capacitación.

De las gráficas anteriores se puede observar el alto índice de participantes inscritos para las actividades de capacitación (71%), lo que contrasta con el bajo índice de participantes que efectivamente regresaron para las actividades de capacitación (7%). Se atribuye esta diferencia principalmente al tiempo transcurrido entre las actividades de sensibilización y capacitación (mayo y setiembre de 2015, respectivamente). En dicho período, la falta de representantes permanentes en el área de trabajo no permitió que los pobladores mantuvieran el mismo interés que al finalizar las actividades de sensibilización, y éstos volvieron a sus actividades regulares sin prestar mayor atención al alto riesgo sísmico en el que viven. Por el contrario, el alto índice de participantes que regresaron para la segunda sesión de trabajo de las actividades

de capacitación (82%) evidencia el éxito las actividades de sensibilización en incrementar la confianza de la población en el refuerzo sísmico e incrementar el interés de los pobladores en las actividades de capacitación.

Transporte de las herramientas y materiales de trabajo:

El transporte de las herramientas y materiales de trabajo fue un reto logístico desde el primer viaje a la comunidad. Debido a los múltiples vehículos y horas de camino que se requieren para llegar al centro poblado de Pullo, todos los materiales y herramientas de trabajo debían ser transportados por el equipo de trabajo en el mismo viaje. Para ello, las separatas, afiches, gigantografías e imágenes a utilizar durante las sesiones de trabajo, fueron impresas con anterioridad y transportadas cuidadosamente para evitar su deterioro. Así mismo, debido a la falta de equipos audiovisuales adecuados, el equipo de trabajo también transportó una computadora portátil, un cañón proyector y un juego de parlantes.

Sin embargo, la mayor dificultad se dio en el transporte de la mesa vibratoria portátil. Durante el primer viaje de trabajo se observó la dificultad de enviar previamente este equipo por una agencia de transporte terrestre, ya que debido a su peso y volumen no podía ir como carga en el bus de pasajeros del equipo de trabajo. Además, se vio la necesidad de tres a cuatro personas para mover e instalar este equipo durante las sesiones de trabajo, por lo que fue necesario solicitar la colaboración de los pobladores a la llegada y retiro del equipo de trabajo en cada viaje.

5.3.3. La importancia del trabajo interdisciplinario

Los equipos de trabajo interdisciplinarios son comunes en el ámbito de la investigación científica, especialmente cuando se busca la solución a un problema particularmente complejo (Lungeanu et al. 2011). En ese contexto, es importante señalar que la alta vulnerabilidad sísmica de una comunidad es un problema complejo que va más allá de su infraestructura; también abarca las características sociales, psicológicas, económicas, políticas y culturales de una población que condicionan su comportamiento preventivo ante una situación de desastre (Kuroiwa 2002). De ahí, la importancia y necesidad de tener profesionales con experiencia en trabajo comunitario durante el planeamiento de estrategias de comunicación y capacitación adecuadas para la comunidad andina de Pullo, así como durante su ejecución.

La importancia del trabajo interdisciplinario se evidenció desde las actividades de diagnóstico y vinculación. Profesionales de ingeniería (dos ingenieros civiles), de ciencias humanas (un historiador) y de ciencias sociales (una psicóloga y una antropóloga) recolectaron información in situ durante tres días de trabajo. Los profesionales de ciencias humanas y sociales mapearon los actores institucionales y comunitarios, y recogieron las percepciones de la población en torno a la actividad sísmica. Los profesionales de ingeniería por su parte recolectaron información sobre la sismicidad de la zona de estudio, la caracterización de las viviendas y la infraestructura dañada. Al compartir la información reunida, estos últimos aprendieron la relevancia de los actores locales en el trabajo de convocatoria y coordinación, mientras los primeros aprendieron sobre el comportamiento típico de las estructuras de adobe en un sismo.

El trabajo interdisciplinario también fue esencial durante el planeamiento y ejecución de las estrategias de comunicación y capacitación para la comunidad andina de Pullo. En todo momento, el equipo de trabajo estuvo conformado por una psicóloga comunitaria, una comunicadora para el desarrollo y un número variable de ingenieros civiles. Si bien estos últimos aportaron al proyecto los aspectos técnicos del reforzamiento sísmico y las herramientas de transferencia tecnológica, los profesionales de ciencias sociales supervisaron el uso de lenguaje simple y libre de términos "ingenieriles". Además, se encargaron de guiar a los profesionales de ingeniería en el trabajo comunitario, enfatizando el respeto a las costumbres y tradiciones de la comunidad, la promoción de la equidad de género y edad, y la participación voluntaria e informada.

5.4. EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES DE SENSIBILIZACIÓN Y CAPACITACIÓN

5.4.1. El incremento en la conciencia sísmica de la población

En este proyecto de tesis, se plantearon dos indicadores para medir el grado de sensibilización o incremento de "conciencia sísmica" entre los pobladores de la comunidad andina de Pullo, después de realizadas las actividades de sensibilización y capacitación (p. 25 y 27). Según estos indicadores el resultado es bastante satisfactorio, el 100% de los asistentes a la primera sesión de trabajo responde afirmativamente a la pregunta "¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?" y más del 70% de los adultos que asistieron a las actividades de sensibilización se inscribieron a las sesiones de trabajo posteriores. Así mismo, más del 80% de los adultos que asistieron a la primera sesión de trabajo de las actividades de capacitación regresó para la segunda sesión de trabajo. Sin embargo, no se han analizado los motivos o

factores por los cuales una minoría de los participantes no se inscribió para las sesiones de trabajo posteriores, o no retornó al día siguiente para la segunda sesión de trabajo.

5.4.2. La aceptación de la malla de cuerdas

Aunque los resultados descritos sugieren un incremento de "conciencia sísmica" y la asimilación de la importancia del refuerzo sísmico entre los pobladores de la comunidad andina de Pullo, la estimación del grado de aceptación de la malla de cuerdas solo podrá realizarse a largo plazo. Como indicador de esta variable se propone la cuantificación del número de viviendas y muros construidos o reforzados utilizando la malla de cuerdas como refuerzo sísmico, lo cual no ha sido posible a la fecha de término del presente proyecto de tesis. Por ello, se recomienda el seguimiento y monitoreo de la comunidad pullina, para así evaluar el grado de aceptación e inclusión de la malla de cuerdas entre las prácticas constructivas tradicionales de la localidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La construcción tradicional con adobe, es decir sin refuerzo sísmico, es muy común en áreas sísmicas pese a su alta vulnerabilidad estructural. Por ello, en la búsqueda de soluciones para esta realidad problemática, la PUCP y muchas otras instituciones han desarrollado una gran variedad de tecnologías y materiales de refuerzo sísmico. Sin embargo, el desafío no sólo está en encontrar soluciones técnicas accesibles y de bajo costo para las poblaciones rurales. También se requieren campañas educativas que tengan como meta incrementar la conciencia sísmica de la población y efectuar transformaciones culturales con las cuales el refuerzo sísmico quede incluido en el proceso de construcción tradicional de muchas comunidades rurales.
- Este proyecto de tesis ha permitido validar la pertinencia de la demostración con la mesa vibratoria portátil como herramienta de transferencia tecnológica. Se probó que ella ejemplifica de manera adecuada el comportamiento de las viviendas de adobe reforzadas y no reforzadas durante un sismo: La población identifica sus viviendas con el modelo a escala reducida no reforzado durante la demostración, y luego admite en voz alta la importancia del refuerzo sísmico en el modelo reforzado. Se concluye, entonces, que la demostración con la mesa vibratoria portátil tiene un alto impacto visual entre los pobladores de una comunidad rural andina.
- Así mismo, este proyecto de tesis también ha permitido validar las actividades de sensibilización propuestas para incrementar la "conciencia sísmica" de los pobladores de comunidades rurales andinas. Después de los resultados presentados en el acápite "5.4. el impacto de las actividades de sensibilización y capacitación" (p. 59), se concluye que las actividades de sensibilización incrementan la confianza de la población en el refuerzo sísmico y, además, incrementan su interés en las actividades de capacitación posteriores.

- Por último, se concluye que, si bien el éxito inicial de las actividades de sensibilización es alentador, no es suficiente para compensar la falta de comunicación y la falta de representantes permanentes en el área de estudio. La relación de inscritos después de la primera sesión de trabajo, las entrevistas personales, las preguntas de los participantes y las conversaciones informales con pobladores de la zona, mostraron el interés de los pobladores en el reforzamiento sísmico de sus viviendas. Sin embargo, cuando el equipo de trabajo regresó para las actividades de capacitación meses después, no fue posible contactar a la gran mayoría de participantes y ellos estuvieron ausente pese a su presunto interés.

6.2. RECOMENDACIONES

- En primer lugar, con respecto a la mesa vibratoria portátil, se recomienda la utilización de este equipo en la sensibilización y capacitación de comunidades rurales sobre la importancia del refuerzo sísmico. Sin embargo, se recomienda el diseño y elaboración de una nueva mesa vibratoria portátil, más liviana y desmontable en, por lo menos, cuatro partes para así facilitar su transporte. La geografía de la sierra peruana es demasiado agreste para permitir adecuadamente el transporte del equipo existente entre, por ejemplo, los anexos aledaños al centro poblado de Pullo, e interfiere en llegar a la mayor cantidad de personas posible.
- Se recomienda, además, la inclusión de actividades de sensibilización en las futuras investigaciones y proyectos de capacitación que tengan por objetivo la transferencia de conocimientos en comunidades rurales. Más aún, se espera que las herramientas y la metodología desarrolladas en este proyecto de tesis sean utilizadas y distribuidas en otras comunidades donde la construcción con adobe tradicional, no reforzado, sea predominante. De esta manera, se ayudará a que más familias tengan acceso a viviendas de adobe sismorresistentes y a mitigar el inaceptable riesgo sísmico de muchas poblaciones rurales.
- Se sugiere, entonces, para futuros proyectos de capacitación, el siguiente esquema de trabajo base: primero, el armado de un equipo de trabajo interdisciplinario que permita un adecuado diagnóstico del área de trabajo y el mapeo de actores locales; segundo, la utilización de la mesa vibratoria portátil y recursos audiovisuales en las actividades de sensibilización; tercero, la realización pronta de las actividades de capacitación en un plazo medio de un mes (cuatro semanas) a fin de no perder el vínculo e interés

inicial de la población. Así mismo, se sugiere la coordinación de fechas y horarios de trabajo que respeten las actividades laborales, expresiones culturales y festividades de la localidad. Sobre la experiencia en la comunidad de Pullo, se sugieren los días sábados y domingos para no interferir con las actividades productivas de los pobladores, que suelen ser mayormente agropecuarias.

- Una vez seleccionadas las fechas y horarios de trabajo, se recomienda enfáticamente un continuo proceso de convocatoria a los pobladores de la comunidad. A partir de la experiencia de capacitación realizada, se recomienda establecer alianzas con actores locales, en tanto que el compromiso de las autoridades del lugar es esencial para convocar a los pobladores. Además, se recomienda el uso de afiches que comuniquen la fecha, hora y lugar, complementados con anuncios a través de megáfonos y de la estación de radio local, con la misma información.
- El trabajo no fue sencillo y aún no ha finalizado. Si bien los involucrados en este proyecto son optimistas y creen que sus esfuerzos ayudarán a mejorar las condiciones de vida de decenas de familias en el poblado de Pullo, ésta sólo es una de las muchas comunidades rurales sísmicamente vulnerables alrededor del mundo. Por ello se recomienda, de manera urgente, difundir y capacitar a más comunidades en la construcción sismorresistente con adobe reforzado, especialmente allí donde el riesgo sísmico sea inaceptable. De esta manera, se ayudará a disminuir las pérdidas humanas y materiales asociadas a los eventos sísmicos de gran magnitud en nuestro país.

7. REFERENCIAS

Blondet M., Torrealva D., Vargas J., Velasquez J. y Tarque N.; 2006. 'Seismic Reinforcement of Adobe Houses using External Polymer Mesh'. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC). September 3-8, Geneva, Switzerland.

Blondet M. y Aguilar R.; 2007. 'Seismic protection of earthen buildings'. International Conference on Earthquake Engineering. August 20-22, Lima, Peru.

Blondet M., Vargas J., Patron P., Stanojevich M. y Rubiños A.; 2008. 'A human development approach for the construction of safe and healthy adobe houses in seismic areas'. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, Beijing, China.

Blondet M., Vargas J., Torrealva D. y Rubiños A.; 2010. 'Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras'. Fondo Editorial PUCP. Lima, Perú.

Blondet M., Villa García G., Brzev S. y Rubiños A.; 2011. 'Earthquake-resistant construction of adobe buildings: a tutorial'. Earthquake Engineering Research Institute. Oakland, U.S.A.

Blondet M. y Rubiños A.; 2013. Development of communication materials and training methodology for the construction of safe and hygienic adobe houses in seismic areas '. PUCP - EERI Adobe Project. Final Report. Lima, Peru.

Blondet M., Vargas J., Sosa C. y Soto J.; 2013. 'Seismic simulation tests to validate a dual technique for repairing adobe historical buildings damaged by earthquakes'. New Generation Earthen Architecture: Learning from Heritage. September 11-14, Istanbul, Istanbul Aydin University.

Blondet M. y Rubiños A.; 2014. 'Communication tools for the construction of safe and decent earthen houses in seismic areas'. 2014 HDCA World Annual Conference. September 2-5, Athens, Greece.

Blondet M., Vargas J., Sosa C. y Soto J.; 2014. 'Using Mud Injection and an External Rope Mesh to Reinforce Historical Earthen Buildings located in Seismic Areas'. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. October 14-17, Mexico City, Mexico.

Cribilleros D., Espinoza J., Gutiérrez G., Noa A., Serrano M. y Rubiños A.; 2014. 'Diagnóstico situacional del Distrito de Pullo (Parinacochas, Ayacucho)'. Reporte interno PUCP. Lima, Peru.

ElGawady M., Lestuzzi P. y Badoux M.; 2004. 'A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for Unreinforced Masonry'. 13th International Brick and Block Masonry Conference. July 4-7, Amsterdam, Netherlands.

Houben H. y Guillaud H.; 1994. 'Earth Construction - A Comprehensive Guide'. ITDG Publishing. London, UK.

Instituto Nacional de Defensa Civil; 2014. 'Movimiento sísmico en el Departamento de Ayacucho'. Reporte de Emergencia N° 592 – 26/08/2014/COEN-INDECI/13:00. Lima, Peru.

Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2007. 'Censos Nacionales: XI de Población y VI de Vivienda'. Lima, Perú.

Iyer S.; 2002. 'Guidelines for building Bamboo-Reinforced Masonry in Earthquake-Prone areas in India'. Faculty of the School of Architecture University of Southern California, U.S.A.

Kuroiwa J.; 2002. 'Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza'. Asociación editorial Bruño. Lima, Perú.

Lungeanu A., Huang Y. y Contractor N. 2011. 'Understanding the assembly of interdisciplinary teams and its impact on performance'. Journal of Informetrics Volume 8 Issue 1, Pages 59-70.

Macabaug J. y Quiun D. 2013. 'Dissemination of Seismic Retrofitting Techniques to Rural Communities in Peru'. 14th European Conference on Earthquake Engineering. August 30 – September 03, Ohrid, Macedonia.

MacLachlan G.; 2009. 'Le petite livre de les noeuds'. First Editions. Italie.

Mattsson, E.; 2015. 'Improved seismic-resistant design of adobe houses in vulnerable areas in Peru- Raising seismic awareness in an Andean community'. Tesis para obtener el grado de Ingeniera de Construcciones. Uppsala Universitet. Uppsala, Suecia.

Mosqueira M. y Tarque N.; 2005. 'Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana'. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Narafu, T.; 2008. 'A Strategic Approach to Disseminate Appropriate Technologies to People'. United Nations World Conference on Disaster Reduction.

Smith A. y Redman T.; 2009. 'A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures'. EWB-UK Research Conference 2009 Hosted by The Royal Academy of Engineering. February 20, Bristol, U.K.

Tolles E., Kimbro E. y Ginell W.; 2002. 'Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures'. GCI Scientific Program Reports.

Torrealva D.; 2002. 'Serie de Cuadernos de Adobe. Titulo 1: Caracterización de Daños en Construcciones de Adobe'. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Turer A., Korkmaz S. Z. y Korkmaz H. H.; 2007. 'Performance Improvement Studies of Masonry Houses using Elastic Post-Tensioning Straps'. Earthquake Engineering and Structural Dynamics Issue 36, Pages 683-705.

Vargas J., Blondet M., Ginocchio F. y Villa-García G. 2005. '35 years of research on SismoAdobe'. In Spanish. International Seminar on Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas, SismoAdobe2005. May 16-19, Lima, Peru.

Capacitación en construcción sismorresistente con adobe de una comunidad andina

(Artículo presentado y aceptado en la conferencia mundial de las arquitecturas de tierra TERRA 2016, celebrada los días 11-14 de julio, en la ciudad de Lyon, Francia)

Marcial Blondet¹, Malena Serrano², Álvaro Rubiños³, Elin Mattsson⁴

¹Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú – mblondet@pucp.edu.pe
Pontificia Universidad Católica del Perú - ²malena.serrano@pucp.edu.pe; ³arubinos@pucp.edu.pe

⁴Uppsala Universitet (Suecia) - elinmariamattsson@hotmail.com

Palabras clave: Adobe, construcción sismorresistente, transferencia tecnológica.

Resumen:

En las últimas décadas, los investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) han desarrollado diversas técnicas de refuerzo sísmico para las construcciones de tierra (adobe o tapial). Sin embargo, ninguna de éstas ha sido adoptada masivamente por las personas a quienes van dirigidas, debido principalmente a su alto costo y a la falta de difusión. Por ello, la dirección académica de Responsabilidad Social (DARS-PUCP) está actualmente desarrollando un proyecto de capacitación en construcción sismorresistente con adobe que busca contribuir a mitigar el inaceptable riesgo sísmico de las poblaciones rurales. Se eligió como población piloto al distrito de Pullo de Ayacucho, ubicado en una zona sísmica de la sierra peruana, donde más del 80% de los pobladores viven en casas de adobe y más del 60% en condiciones de pobreza o pobreza extrema (INEI, 2007). Se está trabajando con los pobladores para que tomen conciencia de la vulnerabilidad de sus viviendas de adobe no reforzado y para que aprendan, de forma práctica, una técnica de refuerzo con mallas de cuerdas de nylon. Los resultados iniciales del proyecto muestran que los materiales y herramientas de comunicación y capacitación utilizados ayudan a incrementar la conciencia sísmica de la población y despiertan su interés en la construcción sismorresistente con adobe.

1. INTRODUCCIÓN

Las viviendas de adobe son usuales en muchas áreas sísmicas alrededor del mundo debido a su bajo costo, pese a su pobre desempeño sísmico. Cuando ocurre un sismo, las pesadas paredes de tierra no son capaces de resistir las fuerzas de inercia que se generan, la edificación se daña gravemente y puede llegar a colapsar, con las consecuentes pérdidas humanas y económicas (Blondet y Rubiños, 2014). Sin embargo, el adobe es el único material de construcción accesible para muchas familias, especialmente en áreas rurales donde los materiales de construcción industrializados son poco comunes. Por lo general, las familias construyen sus propias viviendas en colaboración con otros miembros de la comunidad, y sin ningún tipo de asistencia técnica. En consecuencia, la mayoría de comunidades rurales localizadas en áreas sísmicas, como en los Andes peruanos, viven en condiciones de riesgo sísmico inaceptables. Por ello, es urgente difundir y capacitar a la población en el empleo de técnicas de refuerzo simples y económicas para proteger a sus viviendas de adobe de los dañinos efectos de un sismo.

2. SOLUCIÓN TÉCNICA SIMPLE Y DE BAJO COSTO

Los investigadores de la PUCP y de otras instituciones vienen estudiando cómo mejorar el comportamiento estructural de las viviendas de adobe localizadas en áreas sísmicas desde hace más de 40 años (Vargas et al, 2005). Recientemente, un programa experimental de la PUCP presentó un modelo a escala de vivienda de adobe, previamente dañado, reparado con inyecciones de barro y reforzado con una malla externa de cuerdas de nylon tensadas con templadores de metal (figura 1). El comportamiento estructural del modelo reparado y reforzado, durante una secuencia de simulaciones sísmicas unidireccionales de intensidad creciente, se

consideró excelente. La malla de refuerzo externa ayudó a mantener su integridad y estabilidad estructural, además de prevenir el colapso de los muros al mantener unidas las porciones separadas durante el movimiento. (Blondet et al, 2013; Blondet et al, 2014).



Figura 1. Modelo reforzado



Figura 2. Nudo de amarre propuesto

Pese a los esfuerzos de los investigadores de la PUCP y otras instituciones, la construcción espontánea de viviendas de adobe sismorresistentes en áreas rurales sigue siendo nula, debido principalmente al alto costo y a la falta de difusión del sistema de refuerzo propuesto. La malla de cuerdas tiene gran potencial para ser usada como material de refuerzo sísmico en viviendas autoconstruidas ya que es mucho más barata y accesible que los refuerzos previamente estudiados (Blondet et al., 2008a). Además, los templadores metálicos pueden ser reemplazados por un nudo pequeño y fácil de implementar (figura 2) como una alternativa de bajo costo para tensar las cuerdas (Mattsson, 2015).

3. HERRAMIENTAS PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diversos investigadores han desarrollado técnicas de reforzamiento para mejorar la seguridad sísmica de las construcciones de tierra (Smith y Redman, 2009). Sin embargo, comunidades enteras continúan construyendo sus viviendas de la manera tradicional, sin refuerzo sísmico, y viviendo en alto riesgo sísmico (Blondet et al, 2008a). Es necesario, entonces, reducir la brecha de comunicación entre el mundo académico y las comunidades que construyen con adobe. A continuación, se presentan las herramientas de transferencia tecnológica desarrolladas por el equipo de investigación de la PUCP.

3.1. Mesa vibratoria portátil

Se diseñó y construyó una mesa vibratoria portátil para demostrar la importancia de incluir el refuerzo sísmico en las viviendas de adobe (Blondet y Rubiños, 2014). Esta herramienta permite a los pobladores observar las diferencias entre el desempeño sísmico de un modelo de adobe no reforzado y otro reforzado. El primero, que representa las casas de adobe construidas de manera tradicional, colapsa durante la simulación sísmica, mientras que el segundo se mantiene en pie y únicamente presenta daño leve o reparable. Los modelos a escala tienen una base de 400 x 240 mm y una altura de 210 mm. Las unidades de adobe utilizadas son de 40 x 40 x 10 mm. El modelo que representa una vivienda de adobe tradicional tiene dinteles en la puerta y las ventanas, pero no tiene viga collar que amarre los muros. El modelo reforzado tiene dinteles en la puerta y las ventanas, viga collar, y las paredes están envueltas con hilos que representan las mallas de cuerdas. Estas demostraciones representan de manera simple la efectividad del refuerzo sísmico: los hilos previenen el colapso del modelo a escala reducida, en forma similar a la malla de cuerdas que previene el colapso de las viviendas de adobe a escala natural.

3.2. Manual de construcción sismorresistente con adobe reforzado

El manual de construcción es un documento técnico que describe con detalle la construcción de una casa de adobe reforzada con malla de cuerdas, y está dirigido a los constructores, maestros de obra y pobladores de

áreas rurales donde la construcción informal con adobe es predominante y la asistencia técnica es poco accesible. Cada parte del proceso constructivo está explicado con lenguaje simple e ilustraciones paso a paso (figura 3). Además, se proponen tres tipos de casas con diferente número de habitaciones, y se incluyen los planos de construcción.

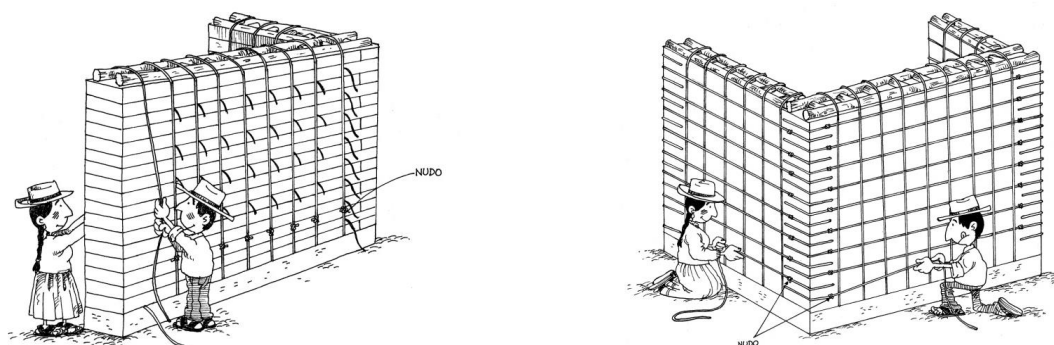


Figura 3. Ilustraciones del manual de construcción

Este manual contiene toda la información necesaria para construir una casa de adobe reforzada con malla de cuerdas: condiciones de riesgo, ubicación de la vivienda, selección de materiales, elaboración de unidades de adobe, cimentación, reforzamiento de muros y techo.

4. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO DARS-PUCP EN LOS ANDES PERUANOS

El proyecto de capacitación tiene como idea central que las personas que viven en casas inadecuadas e inseguras no deberían simplemente recibir ayuda externa en forma pasiva. Por el contrario, deberían ser agentes de su propio desarrollo y adquirir la capacidad para construir sus propias viviendas saludables y seguras. Se trata de un proyecto interdisciplinario planteado por etapas para incrementar las probabilidades de aceptación y apropiación de la técnica de refuerzo con malla de cuerdas.

4.1. La comunidad andina de Pullo

En agosto 2014, un movimiento sísmico de 6.6 grados en la escala de Richter tuvo lugar en la región de Ayacucho de los Andes peruanos. El distrito de Pullo (figura 4) fue uno de los muchos lugares afectados por este evento. Los reportes iniciales indicaron que el 25% de los daños se concentró en este distrito: 150 heridos, 30 viviendas inhabitables y otras 150 afectadas (INDECI, 2014). Pullo es una región de alto riesgo sísmico, por lo que es urgente capacitar a sus pobladores en la construcción de viviendas de adobe sismorresistente.



(a) Ubicación geográfica



(b) Plaza de armas

Figura 4. El distrito de Pullo.

Alrededor del 80% de las viviendas del distrito están hechas de adobe y han sido construidas sin ninguna asesoría técnica. Su construcción se realiza a través del proceso andino tradicional, utilizando barro de la

localidad: La tierra “duerme” por un par de días y luego se mezcla con paja cortada; la mezcla se coloca en moldes de madera, se la desmolda y se la seca a la intemperie; más adelante se utiliza el mismo barro como mortero para unir los adobes y como recubrimiento de las paredes. Además de tener un efecto estético, el recubrimiento protege a las unidades de adobe de las fuertes lluvias propias de la región y de su efecto erosivo (Cribilleros et al, 2014).

Los pobladores de Pullo tienen un conocimiento empírico del pobre comportamiento sísmico de las viviendas de adobe tradicionales, no reforzadas. En promedio, las viviendas tienen más de 50 años de antigüedad y no reciben mantenimiento por parte de sus propietarios. Además, la baja conciencia sísmica de la población hace que los propietarios no inviertan en reforzar sus viviendas. En consecuencia, el daño observado responde claramente a la falta de criterios de diseño sismorresistente durante el proceso constructivo (ausencia de viga collar y juntas de mortero de gran espesor).

4.2. Sensibilización de la población

En mayo 2015 se inició en el distrito de Pullo la primera etapa del proyecto de capacitación en construcción sismorresistente con adobe reforzado con cuerdas. La sensibilización tuvo un enfoque interdisciplinario, y estuvo a cargo de ingenieros civiles, una comunicadora y una psicóloga. Para conseguir el interés de los pobladores se realizaron entrevistas e invitaciones individuales sin discriminación de ningún tipo y se convocó a personas de toda edad y género (hombres y mujeres adultos, ancianos y niños). Además se realizaron entrevistas grupales con los principales actores de la comunidad, para así comprometerlos en la difusión del taller. La asistencia fue voluntaria y no hubo ningún tipo de condicionamiento o incentivo monetario.

La metodología de sensibilización consistió en la presentación de los objetivos del proyecto, acompañada de videos motivacionales intercalados con preguntas a los asistentes. Se mostró un video del sismo de Huaraz (Perú, 1970), seguido de la pregunta abierta: "¿Alguna vez se han sentido así?". Luego, se presentó un video motivacional sobre la construcción con adobe sismorresistente (Blondet et al, 2008b) y videos de los ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP, siempre enfatizando la pregunta: "¿Creen que la construcción con adobe pueda ser sismorresistente?". Las respuestas de los pobladores evidenciaron su miedo a perder la vida durante los terremotos, su falta de confianza en el adobe y su desconocimiento previo de técnicas de reforzamiento que ellos pudieran aplicar en sus viviendas. Para finalizar, se invitó a todos los participantes a que vieran la demostración con la mesa vibratoria portátil y luego a intentar "derrumbar" el modelo reforzado y comprobar por ellos mismos su resistencia (figura 5).



Figura 5. Demostraciones con la mesa vibratoria portátil PUCP

4.3. Capacitación de la población

En septiembre 2015 se inició la segunda etapa del proyecto de capacitación. El equipo de trabajo viajó previamente a la comunidad para coordinar y difundir el taller. Se realizó una pequeña campaña de difusión mediante la colocación de afiches en lugares estratégicos de la comunidad, llamadas telefónicas a personas clave para recordar la fecha y horarios de las sesiones, y anuncios con el megáfono local.

Primero se introdujo de manera general la técnica de reforzamiento con malla de cuerdas. Se explicaron las características de una vivienda sismorresistente y los pobladores pudieron observar dichas características en un modelo a escala reducida, que fue puesto a prueba en la mesa vibratoria portátil PUCP. Se enseñó el proceso de amarre del nudo propuesto, y se entregaron porciones de driza para que los participantes practiquen. Por último, los participantes practicaron la colocación de las cuerdas horizontales y verticales en un muro de cerco de un local comunal (figura 6).



Figura 6. Sesión práctica de colocación de cuerdas horizontales y verticales en muro de cerco

Las siguientes sesiones de capacitación estarán orientadas al aprendizaje práctico de la construcción sismorresistente con adobe, mientras se realiza la construcción de un local público. Cada sesión girará en torno a un tema específico: la elaboración de adobes; la colocación de cimientos y sobrecimientos; el levantamiento de muros; la importancia y colocación de la viga collar; la colocación de la malla de cuerdas y su recubrimiento; y finalmente, la colocación del techo. Los trabajos de construcción serán llevados a cabo por los participantes del taller y, al finalizar, se darán certificados de capacitación.

5. RELEVANCIA DEL ESTUDIO DE CASO

El estudio de caso ha permitido validar la metodología de sensibilización propuesta con los pobladores de una comunidad andina. La demostración con la mesa vibratoria portátil impactó positivamente a la población y ejemplificó, de manera adecuada, el comportamiento que las viviendas de adobe reforzadas y no reforzadas tienen durante un sismo. Más aún, la población identificó sus viviendas con el modelo a escala reducida no reforzado y admitió en voz alta la importancia del refuerzo sísmico (hilos de nylon) en el modelo a escala reducida reforzado. Se concluye, entonces que la metodología de sensibilización incrementó la confianza de la población en el refuerzo sísmico y además incrementó su interés en los siguientes talleres de capacitación ofrecidos.

Se sugiere, entonces, incluir una etapa previa de sensibilización para futuras investigaciones y proyectos de capacitación que tengan por objetivo la transferencia de conocimientos en comunidades rurales. Más aún, se espera que las herramientas y metodologías desarrolladas sean utilizadas y distribuidas en futuros proyectos de capacitación en otras comunidades donde predomine la construcción con adobe. De esta manera, se logrará

que más familias puedan tener acceso a viviendas de adobe sismorresistentes y se mitigará el inaceptable riesgo sísmico de muchas poblaciones rurales.

6. COMENTARIOS FINALES

La construcción tradicional con adobe, sin refuerzo sísmico, debería evitarse en áreas sísmicas. Sin embargo, es una realidad problemática que debe solucionarse con urgencia. El desafío no sólo está en encontrar soluciones técnicas accesibles y de bajo costo para las poblaciones rurales, sino también en desarrollar herramientas de comunicación y capacitación efectivas que permitan difundir dichas soluciones entre las poblaciones rurales ubicadas en áreas sísmicas.

El éxito inicial de la metodología de sensibilización es alentador. Sin embargo, se requiere un esfuerzo sostenido para lograr un impacto verdadero. Entrevistas personales y conversaciones informales evidenciaron el interés de los pobladores en ser capacitados. Hubo, sin embargo, dificultades para la programación de los talleres. Se sugiere la utilización de medios de comunicación masivos, como la radio, para lograr un mayor alcance y aumentar el número de participantes en el proyecto.

El trabajo no ha sido sencillo y aún no ha finalizado. Si bien los involucrados en este proyecto son optimistas y creen que sus esfuerzos ayudarán a mejorar las condiciones de vida de decenas de familias en el poblado de Pullo, ésta sólo es una de las muchas comunidades rurales sísmicamente vulnerables alrededor del mundo. Es una necesidad urgente difundir y capacitar a la población en la construcción sismorresistente con adobe reforzado, especialmente allí donde el riesgo sísmico sea inaceptable, ya que sólo así podrá evitarse la trágica pérdida de vidas humanas en futuros eventos sísmicos de gran magnitud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blondet, M.; Vargas, J.; Tarque, N. (2008). *Low cost reinforcement of earthen houses in seismic areas*. 14th World Conference on Earthquake Engineering. 12-17 de Octubre, Beijing, China.
- Blondet, M.; Vargas, J.; Patron, P.; Stanojevich, M.; Rubiños, A. (2008). *A human development approach for the construction of safe and healthy adobe houses in seismic areas*. 14th World Conference on Earthquake Engineering. 12-17 de Octubre, Beijing, China.
- Blondet, M.; Vargas, J.; Sosa, C.; Soto, J. (2013). *Seismic simulation tests to validate a dual technique for repairing adobe historical buildings damaged by earthquakes*. International Conference Kerpic'13 New Generation Earthen Architecture: Learning from Heritage. 11-14 de Septiembre, Istanbul Ayden University, Turquía.
- Blondet, M.; Rubiños, A. (2014). *Communication tools for the construction of safe and decent earthen houses in seismic areas*. Annual conference of the Human Development & Capability Association. 2-5 de Septiembre, Atenas, Grecia.
- Blondet, M.; Vargas, J.; Sosa, C.; Soto, J. (2014). *Using mud Injection and an external rope mesh to reinforce historical earthen buildings located in seismic areas*. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. 14-17 de Octubre, Ciudad de México, México.
- Cribilleros, D.; Espinoza, J.; Gutiérrez, G.; Noa, A.; Serrano, M.; Rubiños, A. (2014). *Diagnóstico situacional del Distrito de Pullo (Parinacochas, Ayacucho)*. Reporte interno PUCP. Lima, Peru.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2014). *Movimiento sísmico en el Departamento de Ayacucho*. Reporte de Emergencia N° 592 – 26/08/2014/COEN-INDECI/13:00. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). *Censos Nacionales X de Población y V de Vivienda – Resultados definitivos*. <http://inei.gob.pe/inei/RedatamCpv2007.asp?id=ResultadosCensales?ori=C>
- Mattsson, E. (2015). *Improved seismic-resistant design of adobe houses in vulnerable areas in Peru- Raising seismic awareness in an Andean community*. Tesis para obtener el grado de Ingeniera de Construcciones. Uppsala Universitet. Uppsala, Suecia.
- Smith, A.; Redman, T. (2009). *A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures*. EWB-UK Research Conference 2009 Hosted by The Royal Academy of Engineering. 20 de Febrero, Bristol, U.K.
- Vargas, J., Blondet, M., Ginocchio, F., Villa-Garcia, G. (2005). *35 años de investigación en la Pontificia Universidad Católica del Perú*. Memorias digitales del evento SismoAdobe (mayo de 2005). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

AUTORES

Marcial Blondet, doctor en ingeniería sismorresistente, maestro en ingeniería, ingeniero civil; profesor principal y director del Programa de Doctorado en la Pontificia Universidad Católica del Perú; especialista en ingeniería sísmica y dinámica de estructuras; interesado en el estudio de sistemas de protección sísmica de edificaciones, refuerzo de bajo costo para viviendas de mampostería de ladrillo y de adobe, y protección sísmica de monumentos históricos de tierra.

Malena Serrano, ingeniera civil, candidata a maestra en ingeniería civil y asistente de investigación en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Álvaro Rubiños, ingeniero civil egresado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, candidato a maestro en ingeniería sísmica y manejo de desastres en el University College London.

Elin Mattsson, ingeniera de las construcciones, asistente de investigación temporal en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Sustainable Dissemination of Earthquake Resistant Construction in the Peruvian Andes

(Artículo presentado, aceptado y en proceso de publicación en la revista indizada
“Sustainability: Science, Practice & Policy”)

Malena Serrano¹, Marcial Blondet², Álvaro Rubiños³, Elin Mattsson⁴

Department of Civil Engineering, Pontifical Catholic University of Peru, Lima-Peru

¹malena.serrano@pucp.edu.pe, ²mblondet@pucp.edu.pe, ³arubinos@pucp.edu.pe

⁴Uppsala Universitet, Uppsala-Sweden - elinmariamattsson@hotmail.com

Abstract

This article describes the challenges and initial accomplishments of a project developed by the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP) to disseminate technology and to train low-income families in the Andes Mountain region to build earthquake-resistant homes made of adobe bricks. The initiative has focused on improving the livability of households through affordable seismic reinforcement of traditional construction processes as a means to enhance the social sustainability of housing in the area. We selected the rural Andean community of Pullo as a case study because of its preponderance of non-reinforced adobe construction and poverty. The research team developed tools and methodologies for technology transfer, worked with local residents to raise awareness of the high seismic vulnerability of indigenous dwellings, and introduced the concept of seismic reinforcement. This article explores the barriers to disseminating earthquake-resistant technology in the study area and presents adaptive measures to overcome these challenges. Initial results demonstrate the positive impact of educational workshops to raise seismic awareness and to introduce earthquake-resistant construction among rural dwellers. The project is deemed to have wider applicability to other communities in seismic areas with similar housing, social, and economic conditions.

Keywords: adobe, housing, safe construction, technology transfer

Introduction

Researchers at the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP) and other institutions have been working to improve the structural safety of earthen houses located in seismic areas of Peru for the last four decades (Vargas et al. 2005; Blondet & Aguilar, 2007). The project has resulted in development of reinforcement techniques for reconstruction and training programs by nongovernmental organizations (NGOs) following major earthquakes (Blondet et al. 2008a; Macabuag & Quiun, 2010). Unfortunately, efforts to encourage the uptake of these technologies in local communities have largely failed. People continue to build in the traditional way and not one person in the rural Peruvian Andes has independently built his or her house using the proposed reinforcement techniques (Blondet & Aguilar, 2007; Macabuag & Quiun, 2010). In an attempt to solve this problem, PUCP has developed a new training

program in earthquake-resistant adobe construction that incorporates a previous educational campaign to increase acceptance among dwellers. This article examines the value and success of this project for disseminating new building technologies.

The research reported here contributes to literature on sustainability education and the social aspects of housing in the Peruvian Andes. The intention is not to assess the sustainability of a single reinforcement technology, but rather to investigate the effectiveness of the technology after educating the population about the importance of seismic reinforcement. In particular, we address the challenges of taking technology from the academic world, where it is conceived in a theoretical way, and implementing it in rural towns where reality is much more complex. The study area is located in the Peruvian Andes and we focus in particular here on work carried out in the rural community of Pullo which has been selected because of its high seismic vulnerability, both in terms of poverty and building techniques, and the hazard signaled by recent seismic events.

This article is structured as follows. It begins with background on the initiative and the proposed technology, including the technology-transfer tools relevant to the project. We then identify the major challenges of technology transfer that the research group encountered, focusing on issues, pertinent in the rural town, of trust, literacy, cultural differences, lack of permanent personnel, and transportation. It also highlights the adaptive measures taken to overcome those challenges such as audiovisual resources, creative advertising methods, private transportation, among others. Next, it describes the familiarizing educational experience and concludes with a brief discussion about the proposed technology, the technology-transfer experience, and the initiative's success.

Background

To provide a more complete picture of the work presented in this article and how it contributes to sustainable implementation of earthquake-resistant housing in rural Andean communities, we describe some of the background context. This section also discusses the relationship between social sustainability and housing to provide a deeper understanding of the importance of communicating about earthquake-resistant construction. We then present the PUCP initiative as an example of the human development-capability approach, which provides an opportunity to apply innovative technology-transfer tools and to critically assess their effectiveness for future projects. Finally, it describes the seismicity of the study area and develops an overall characterization of its housing conditions to create a more detailed depiction of the Andean area of Peru.

Social Sustainability and Housing

Sustainable development of a community is based on achieving balanced economic growth, environmental protection, and social progress (McKenzie, 2004; Adams, 2006). Development should provide an acceptable quality of life both for individuals and communities and maintain healthy financial markets while preserving natural resources by assuring that depletion does not occur more rapidly than replenishment (Fisher & Amekudzi, 2011). Balancing these objectives means that the various sustainability dimensions are not isolated, but that an integrated view is maintained. For example, social and environmental aspects of

sustainability are interwoven because degraded natural resources can compound social inequity and segregation, conflicts, instability, and dissension (Chiu, 2003).

Social sustainability is essential for sustainable development, although there is no consensus on how to incorporate it in practice (Cuthill, 2010; Casula Vifell & Soneryd, 2012). Sustainable communities are places where people want to live and work, now and in the future (ODPM, 2006), and socially sustainable communities need to feature equitable outcomes, diversity, connectivity, and democratic governance to provide a high quality of life (WACOSS, 2000). However, despite the importance of social sustainability, the economic and environmental dimensions are prioritized in planning housing and communities (Woodcraft, 2011) and this neglect of social sustainability is particularly paramount in the case of housing (Dempsey et al. 2011).

The social dimension of sustainable housing includes different physical and non-physical aspects of construction, design, and livability that residents consider as an acceptable quality of housing (Chiu, 2003; Dempsey et al. 2011). Decent housing provides shelter, basic to community well-being (Magis and Shinn, 2009). However, beyond shelter, housing should also promote social integration and safeguard the environment to preserve the ability of future generations to meet their needs (Murphy, 2012). Furthermore, housing only promotes well-being if planners understand what people need from the places in which they live and work (Woodcraft, 2011).

Therefore, to achieve social sustainability at the community scale, housing should promote well-being and not only meet basic needs. This objective can be achieved by improving the livability of structures where livability is understood to create conditions for healthy, safe, affordable, and secure households within a neighborhood with access to utilities, transport, healthcare, and education (Mitlin & Satterthwaite, 1996). This article concentrates on how to implement safe and affordable housing as a first step to improving the livability of households and thus the social sustainability in rural communities of the Peruvian Andes, though the lessons can be more widely applied.

The PUCP Training Project

The technology-transfer initiative described in this article is part of a larger PUCP training project that aims to provide sustainable earthquake-resistant housing for Andean communities. The effort is based on experiences from a small-scale reconstruction program developed by PUCP and CARE-Peru (a nongovernmental organization (NGO) specializing in development) after the Pisco earthquake of August 2007 (Blondet et al. 2008a). The project is interdisciplinary, bringing together partners from engineering, psychology, anthropology, history, and communications with the goal of achieving acceptance of seismic reinforcement among homeowners and residents in Andean communities.

The central idea of the initiative is that people should not be mere recipients of external aid, but become agents of their own development by acquiring the skills to live the life they want (Sen, 2000). In this project, this means that people living in adobe dwellings should learn how to build earthquake-resistant houses by themselves. Therefore, the program consists of training community members in the construction of safer adobe houses using a simple low-cost reinforcement technique. The expectation is that the acquired skills will allow community members to continue improving their housing conditions once the project is over, thus

enhancing their quality of life in an ongoing and sustainable way. There is the additional prospect that trained community members could use their acquired skills to earn income as technicians on construction projects.

The PUCP training initiative is divided into three phases to increase acceptance of the reinforcement technique, ease the technology-transfer process, and create a platform where trained people can work on similar projects:

- *Phase One:* Familiarizing educational workshops that includes field demonstrations using a portable shaking table and scaled models. The main objectives are to educate community members about the high seismic vulnerability of their dwellings and to show the value of building earthquake-resistant adobe houses.
- *Phase Two:* Training workshops that consist of teaching community members how to build an improved earthquake-resistant adobe house using a simple low-cost reinforcement technique through an illustrated construction manual. The main objectives are to train community members through practical skills and to provide a reference document for future construction. The developed skills (capacities) are applied in the construction or reinforcement of a community building with the collaboration of all inhabitants.
- *Phase Three:* Assessment based on identifying improvements for future training programs. The project's success is evaluated by the application of the technique beyond the structures built during the training (e.g., the number of independently built or reinforced houses). Another potential outcome to assess is the extent to which local governments have developed similar training programs.

The Andean Community of Pullo

Pullo is a small rural community located in the Ayacucho region of the Peruvian Andes (Figure 1). Earthquakes are relatively common in this area because it sits near the boundary between the Nazca and South American tectonic plates, and local news report an average of one seismic event per year. In August 2014, an earthquake registering 6.6 on the Richter scale injured almost 150 people, adversely affected 150 houses, and rendered 30 of these structures uninhabitable (INDECI, 2014). After this last event, *Cáritas*, a local NGO, asked the Academic Direction of Social Responsibility of the PUCP (DARS-PUCP) to assess the post-earthquake situation in Pullo in terms of both structural damage and psychological effects. The team also identified community leaders (e.g., local and church authorities and the Commoners' Association) who might serve as potential collaborators for organizing and advertising future projects (Cribilleros et al. 2014).



(a) Geographical location.



(b) Main square.

Figure 1. The Andean community of Pullo.

Despite the region's seismicity, almost 80% of houses in the area are made of traditional adobe (sundried mud bricks) and built without technical assistance or seismic reinforcement techniques. Dwellers know that non-reinforced adobe houses have very poor seismic performance (Figure 2). However, sadly, more than 30% of the rural population lacks access to industrialized materials and more than 60% live in poverty or extreme poverty without access to utilities like water and electricity (INEI, 2007). Therefore, adobe is the only affordable and available housing for many families. Furthermore, lack of awareness of construction techniques prevents homeowners from investing additional time and money on seismic reinforcement or repair of existing damage (Blondet et al. 2008b). As a consequence, observed damage corresponds to lack of seismic-resistant building techniques during construction (absence of collar beams and presence of excessive thickness of mortar joints) and insufficient maintenance over the years (Cribilleros et al. 2014).



Figure 2. Inhabited damaged adobe house.

Technology

Adobe buildings are highly vulnerable to earthquakes, although over the years several reinforcement techniques have been developed to strengthen structures against seismic events

(Zegarra et al. 1997; Minke, 2001; Iyer, 2002; El Gadawy et al. 2004; San Bartolomé et al. 2004; Blondet et al. 2006; Turer et al. 2007; Smith & Redman, 2009). However, the availability of technical solutions is not sufficient because this knowledge is mainly limited to academics (Blondet & Rubiños, 2014). Entire communities continue to build houses with the traditional non-reinforced adobe-construction technique, leaving them exposed to extremely high seismic risk (Blondet & Aguilar, 2007). Therefore, the first step toward sustainable earthquake-resistant housing is reducing the communication gap between academia and earthquake-prone communities. The next section briefly presents one simple, low-cost, and highly available seismic reinforcement, the nylon-rope mesh, and the communication strategies and educational tools PUCP previously developed to disseminate this technology in the Peruvian Andes.

Nylon Rope-Mesh Reinforcement

The nylon-rope mesh is a recent reinforcement technique developed by PUCP (Blondet et al. 2013). In 2013, a pilot project demonstrated that a previously damaged full-scale adobe model could be repaired via mud injection combined with an external mesh made with nylon strings (Figure 3). The reinforcement procedure consisted of covering the walls with a mesh made of horizontal and vertical ropes tightened by turnbuckles; later, the mesh on both faces of each wall were joined together by thinner ropes (cross-ties). During a sequence of unidirectional earthquake motions of increasing intensity, the structural behavior of the repaired and reinforced model was considered excellent. The external reinforcements worked to maintain structural integrity and stability and prevented the partial collapse of wall portions that had separated during the shaking (Blondet et al. 2014).



Figure 3. Full-scale adobe model reinforced with nylon rope mesh.

The PUCP training project selected the nylon-rope mesh due to its great potential as a sustainable reinforcement technique for low-cost earthen dwellings in seismic areas (Blondet et al. 2013, 2014). The reinforcement procedure is considered simple enough to be learned without any previous technical knowledge in construction; it does not require extra machinery, and it produces no additional pollution compared to non-reinforced adobe construction. Additionally, nylon ropes are widely available at local stores, while most natural reinforcement materials are not easily obtained in large quantities in the Peruvian Andes. Furthermore, the

nylon-mesh technique costs US\$120 at most for reinforcing a typical single-floor two-room adobe house, which is less than other industrialized reinforcements (Blondet & Aguilar, 2007; Blondet et al, 2008a).

Portable Shaking Table Demonstrations

The portable shaking table is a tool developed to raise awareness of the high seismic vulnerability of non-reinforced adobe dwellings and to build confidence in reinforced adobe construction among rural communities (Blondet & Rubiños, 2014). During demonstration sessions, two reduced-scale adobe models were tested simultaneously, with the differences in their seismic performance easily observed (Figure 4). The non-reinforced adobe model collapses just like traditional Andean adobe houses during an earthquake, but the reinforced model does not collapse even though it can suffer light, moderate, severe or even unrepairable damage. The nylon-thread mesh prevents the collapse of the reinforced model as the nylon-rope mesh did on the test program, thus showing the effectiveness of the nylon-rope mesh to protect adobe houses from earthquakes.



Figure 4. Differences on seismic performance of reduced scale adobe models.

The Construction Manual

The construction manual is a technical document that describes in detail how to reinforce an adobe house with nylon ropes. Each step of the construction process is described with familiar, simple language and clearly illustrated with easy-to-follow drawings (Figure 5). Furthermore, the manual presents three types of houses that differ in the number of rooms and shows their construction plans in detail. This educational tool is mainly directed to masons and residents of rural areas where informal construction with adobe is prevalent and technical assistance is not easily available.

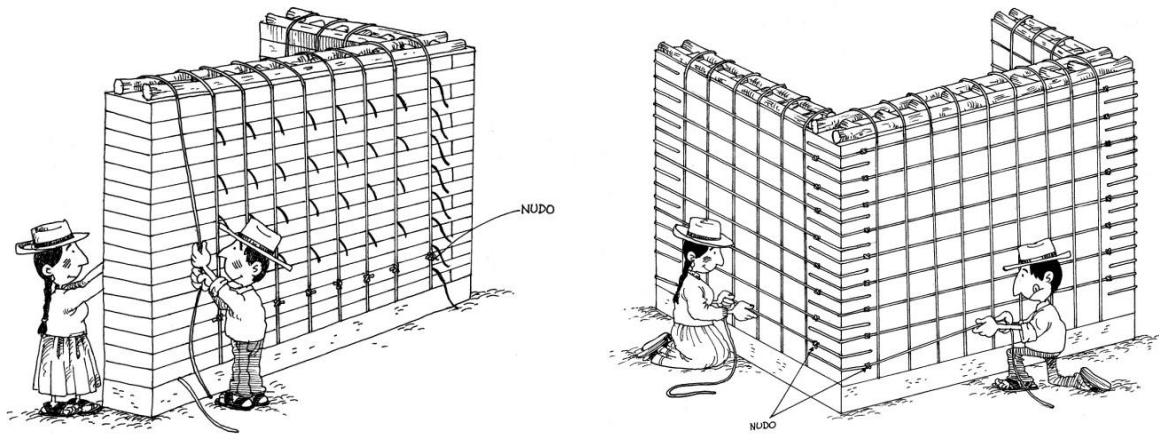


Figure 5. Illustrations from the construction manual.

Dissemination Challenges and Adaptive Measures

The reinforcement systems that the PUCP project team has studied have proven that adobe construction can be earthquake resistant. Indeed, the application of technical solutions would provide enough structural safety to prevent collapse of earthen buildings, thus, protecting human life (Blondet et al. 2008b). Moreover, low-cost reinforcement technologies would allow dwellers to improve livability of their households, building social sustainability into construction design. However, despite the benefits of safer affordable housing, disseminating earthquake-resistant technology faces a number of impediments among dwellers, as discussed below.

Trust

Many adobe dwellers resist changing their building techniques because they dislike external interference in their traditional practices (Blondet, 2011). Therefore, the first challenge of disseminating earthquake-resistant technology is to build trust in the research group and the proposed technology. When first mentioned at the beginning of the workshop, the idea of earthquake-resistant housing raised suspicion and skepticism among residents who consider adobe extremely vulnerable to earthquakes and aspire to masonry structures considered to be “noble” and “resistant” but unaffordable for most rural dwellers (Blondet et al. 2008b; Cribilleros et al. 2014).

We employed two different strategies to overcome this distrust. First, we presented ourselves, the motivation for the project and what we hoped to achieve in the community to community leaders in order to build trust with the research group and regarding the project, as unknown strangers or projects are easily considered hostile and suspicious. This allowed us to establish an initial relationship, so that community leaders later helped engage the population (Pérez-Salinas et al. 2014). Second, during the workshop we included selected motivational and laboratory test videos from previous projects that showed the effectiveness of seismic reinforcement in addition to the live portable shaking-table demonstration.

Literacy

Another challenge we encountered while assessing the earthquake preparedness in Pullo was illiteracy. Most community members only have an elementary school-level

education and close to 15% of the population is not able to read (INEI, 2007), requiring explanations using simple language. More importantly, a high illiteracy rate required us to consider inclusiveness in the training program since required skills could lead to social exclusion, lack of access, and conflicts (Khan et al. 2015). To overcome this barrier, we planned the educational familiarizing and training phases of the project around audiovisual resources, oral explanations, live demonstrations and exercises, and step-by-step illustrated printed materials.

Cultural Differences

One obstacle during training-session planning was finding dates and schedules that respected the cultural expectations in the Pullo community. A culture is a set of acquired forms and ways to understand the world, to think, to speak, to express oneself, to perceive, to act, to socialize, to feel, and to value oneself as an individual and part of a group (Heise et al. 1994). Peruvian rural villages have different traditions and festivities from each another and from the country's urban areas. For instance, Pullo has a flag-raising ceremony on Sundays which also serves as an open space to bring up community issues. In addition, Andean communities have subsistence economies based on agricultural activity and residents prioritize certain times of day to farm and take care of cattle.

In this context, we used several strategies to find appropriate meeting times and places. In particular, we considered the different civil and religious traditions and festivities to respect community beliefs. Special events, such as the *chacco de vicuñ* (a traditional Andean wool-shearing process), were avoided in planning activities, as were agricultural working hours. As a result, two-hour Saturday afternoon and two-hour Sunday morning sessions were validated with community members and main leaders. Additionally, we followed traditional protocol by asking local authorities to welcome participants at the beginning of each session.

Lack of Personnel in the Study Area

Perhaps the biggest challenge that we encountered during this initiative was the lack of university representatives in the study area. Institutions organizing educational workshops would benefit from local familiarity and the ability to assemble 80 to 150 people (InWent & Mesopartner, 2005). Lack of such an institution made it difficult to coordinate and advertise educational and training sessions when other communication was limited.

The project team implemented several strategies to overcome this problem such as conducting personal and group interviews with community leaders to enroll their help with advertising; greeting participants upon arrival and departure using a megaphone; placing posters with simple, familiar, and inviting language in strategic places such as the main square and local stores; making regular telephone and cellular calls to remind community leaders of upcoming sessions; and finally, using some specific field trips for promoting the events. However, these adaptive measures had to be continuously assessed to improve less successful components.

Transportation

Transportation was a logistics challenge on our first trip to the Pullo community because of the number of different legs required to reach the village. The trip entails a seven-

hour bus ride from Lima to Nazca, a two-hour minivan ride from Nazca to Acari, and a four-to six-hour truck ride from Acari to Pullo. The duration of the truck part of the trip depends on the different routes, including dirt roads frequently closed due to mudslides during the rainy season. More importantly, transportation became a bigger dilemma while transporting the portable shaking table, which was too big and heavy to take in the bus or the minivan. We had to hire special private transportation for the first trip, and on following journeys a truck replaced the minivan.

The difficulty reaching Pullo also highlights the need for this project. External aid from the government, NGOs, and other institutions is minimal due to Pullo's remoteness, and so its inhabitants must rely their own wherewithal in the face of earthquake emergencies (Cribilleros et al. 2014). However, knowledge of the attendant risks, and ability to anticipate and reduce potential consequences of a disaster (resilience), could increase the speed of recovery after a seismic event (Fitzgerald & Fitzgerald, 2005).

Familiarizing Educational Experience

In May 2015, we began the PUCP training program in earthquake-resistant construction in the district of Pullo. We assembled an interdisciplinary team, which included three civil engineers, one psychologist, and one communicator, to travel to the community. The main objective of the trip was to conduct a familiarizing educational workshop with participants from all ages and genders. Attendance was free and voluntary; participants did not receive any form of compensation. However, to increase community interest in the educational workshop, we conducted a small promotional campaign on arrival.

Fifty-three community members, including men, women, seniors, and children, attended the two-hour familiarizing educational workshop. First, we presented ourselves and the results from the evaluation conducted during the first visit, then we presented the motivation for the project and what we hoped to achieve in the community. The team was careful to avoid misunderstanding or misinterpretation: participants would not be given construction materials but would receive training in earthquake-resistant adobe-construction techniques.

As an introduction to the familiarizing educational part of the workshop, we showed a video from the 1970 earthquake in northern Peru. The team asked participants open questions (e.g., "How did you feel watching the video?") that allowed community members to express their thoughts—and fears—about earthquakes and how they perceived their adobe houses. Participants confirmed the need for safer housing in Pullo. They regarded adobe to be a brittle material, but the only one they could afford; thus, they feared losing their households and their lives to earthquakes.

Next, the project team elicited responses to one specific question: "Do you believe construction with adobe can be earthquake resistant?" Participants unanimously answered in the negative. Expecting this answer, the team showed previously selected technical and motivational videos showing the effectiveness of seismic reinforcement, while adding commentaries and questions for the audience. The final video presented the full-scale adobe model reinforced with the nylon-rope mesh and tested in the full-scale shaking table at PUCP. Some questions from the participants showed their interest (e.g., "How thick do the ropes have to be?") while others showed skepticism (e.g. "So those thin ropes are going to protect my house from earthquakes?").

We later conducted the shaking table test on the reduced scale models in front of all the participants. This live demonstration allowed community members to observe up close the expected seismic performance of a non-reinforced adobe house during an earthquake (Figure 6). When we asked them which house behaved like theirs during an earthquake, they identified the non-reinforced model. After the shaking table test, they commented on the importance of seismic reinforcement for the enhanced model. Finally, we repeated the description of the PUCP training project and its main objectives and asked participants if they wanted to register for future training workshops.



Figure 6. Dynamic test with the portable shaking table.

Discussion

The Technology

Nylon ropes are well known, available, and affordable in rural areas, unlike other industrialized materials such as polymer mesh or wire mesh with cement mortar. On arrival in the Pullo community, the team found the nylon ropes needed to reinforce a dwelling at two different local stores in various colors and sizes. While reinforcing with the nylon rope-mesh technique increases a dwelling's cost by US\$3–4 per square meter, this is considered affordable as very poor and poor families in Peru have an average income of US\$700–1,000 per year and usually invest US\$20–30 per square meter in constructing their dwellings (Macabuag & Quiun, 2010). However, the team noted that the metal turnbuckles used in the laboratory tests are relatively unknown and expensive for the Peruvian Andes; additional research at PUCP suggests that residents could replace them with knots (Blondet et al. 2015).

The nylon-rope mesh and other reinforcement techniques studied by PUCP researchers have only been developed for one-story buildings (Vargas et al. 2005; Blondet & Aguilar, 2007). However, in the rural Peruvian Andes, building adobe dwellings without technical assistance often leads to the unregulated construction of two- or three-story earthen buildings despite their illegality under the Peruvian Building Code. Therefore, the team was concerned when community members asked if this technology could be applied on their already existing two-story dwellings. Unfortunately, as of now the nylon-rope mesh has only been used to reinforce one-story dwellings and further research is needed to examine if this technology can also be used with similar results for multi-story dwellings.

Educational Experience

The educational workshop applied many strategies to sharing knowledge about earthquake-resistant construction in the Peruvian Andes. The schedule for these events and the small promotional campaign was aimed at increasing the number of participants. In addition, the live portable shaking table demonstration and the selected audiovisual materials were focused on overcoming barriers to trust while also avoiding social exclusion due to illiteracy.

Using the portable shaking table as a communication tool generated a playful environment that raised interest and confidence among community members. After the live demonstration, the team asked participants to raise their hands if they believed earthquake-resistant construction with adobe was possible. The answer was affirmative and unanimous (Figure 7). Later, through informal conversation, participants confirmed this belief to the different members of the team. This interaction appeared to successfully motivate Pullo's inhabitants and establish relationships with the team. Moreover, by bringing elements of research into the field, the team was able to show people the efforts made by PUCP to find sustainable housing solutions for them. Therefore, we considered the educational workshop successful as it increased confidence in the nylon-rope mesh as seismic reinforcement and raised interest in upcoming training workshops.



Figure 7. Participants raising hands as a sign of confidence in the proposed technology.

Despite the initial success overcoming barriers to trust, the number of participants represented only approximately 1% of the total population of Pullo, much of which is scattered across farming lands. Therefore, we plan to repeat the educational methodology using the live portable shaking table demonstration to reach a wider audience and to reinforce trust with community members.

Success of the Initiative

In the long term, the success of the PUCP training project will be measured by the number of repaired houses and new houses that use nylon rope-mesh reinforcement. Full assessment of the technique's acceptance is not possible at this early stage, but one optimistic indicator occurred at the end of the educational workshop when 32 out of 45 adult participants signed up for upcoming training sessions. The registration process involved community

members writing their full names, providing identity-card numbers, and signing; illiterate participants could dictate their information to team members (Figure 8). In total, over 70% of participants committed to the training program



Figure 8. Participants registering for upcoming training sessions.

Conclusion

Technical solutions to reinforce adobe dwellings exist although they vary in cost and accessibility. The main challenge is not to develop affordable and more sustainable solutions (Ness & Akerman, 2015), but rather to disseminate these alternatives to communities. Greater emphasis must be placed on developing educational tools and methodologies that can handle the difficulties and unexpected challenges that arise during the technology-transfer process.

Our initial success reaffirms the importance of a familiarizing educational phase to achieve sustainable dissemination of earthquake-resistant construction. The educational workshop succeeded among inhabitants of Pullo as it raised awareness and willingness to participate despite multiple challenges. We recommend that future studies and training programs include a familiarizing phase when working with technology transfer in rural communities. More importantly, the project team envisions that, if the project succeeds, the communication and educational tools that we have developed might be applicable in other areas where people build with earth—specifically in the poorer areas of Peru and other Andean countries—with the hope of improving household livability for more families.

Our work has not been easy and is not finished. The project team continues to conduct research in rural Andean communities and this ongoing learning process is aimed at planning and improving appropriate workshops. Without such understanding, community members are unlikely to adopt the proposed technology despite its benefits. However, the people involved in this initiative are optimistic that their efforts will improve household livability for many families and contribute to a process toward social sustainability of housing in the Peruvian Andes.

References

- Adams, W. 2006. *The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century*. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29–31 January. World Conservation Union.
- Blondet, M., Vargas, J., Torrealva, D., Tarque, N. & Velasquez, J. 2006. *Seismic Reinforcement of Adobe Houses using External Polymer Mesh*. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC). September 3–8, Geneva, Switzerland.
- Blondet, M. & Aguilar, R. 2007. *Seismic Protection of Earthen Buildings*. International Conference on Earthquake Engineering. August 20–22, Lima, Peru.
- Blondet, M., Vargas, J., Patron, P., Stanojevich, M. & Rubiños, A. 2008. *A Human development approach for the construction of safe and healthy adobe houses in seismic areas*. 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12–17, Beijing, China.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N. 2008. *Low cost reinforcement of earthen houses in seismic areas*. 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12–17, Beijing, China.
- Blondet, M. 2011. Mitigation of Seismic Risk on Earthen Buildings. In H. Gökçekus, U. Türker & J. LaMoreaux (Eds.), *Survival and Sustainability: Environmental concerns in the 21st Century*. pp. 391–400. Berlin: Springer-Verlag.
- Blondet, M., Vargas, J., Sosa, C. & Soto, J. 2013. *Seismic Simulation Tests to Validate a Dual Technique for Repairing Adobe Historical Buildings Damaged by Earthquakes*. International Conference Kerpic´13 New Generation Earthen Architecture: Learning from Heritage. September 11–14, Istanbul Ayden University, Turkey.
- Blondet, M., Vargas, J., Sosa, C. & Soto, J. 2014. *Using Mud Injection and an External Rope Mesh to Reinforce Historical Earthen Buildings located in Seismic Areas*. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions. October 14–17, Mexico City, Mexico.
- Blondet, M. & Rubiños, A. 2014. *Communication tools for the construction of safe and decent earthen houses in seismic areas*. Annual conference of the Human Development & Capability Association. September 2–5, Athens, Greece.
- Blondet, M., Serrano, M., Rubiños, A. & Mattsson, E. 2015. *La experiencia de capacitación de una comunidad andina en construcción sismorresistente con adobe*. 15 Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. November 9–13, Cuenca, Ecuador.
- Casula Vifell, A. & Soneryd L. 2012. Organizing matters: how “the social dimension” gets lost in sustainability projects. *Sustainable Development* 20(1):18–27.
- Chiu, R. 2003. Social sustainability, sustainable development and housing development: the experience of Hong Kong. In R. Forrest & J. Lee (Eds.), *Housing and Social Change: East-West Perspectives*. pp. 221–239. New York, NY: Routledge.
- Cribilleros, D., Espinoza, J., Gutiérrez, G., Noa, A., Serrano, M. & Rubiños, A. 2014. *Diagnóstico Situacional del Distrito de Pullo (Parinacochas, Ayacucho)*. Internal report DARS PUCP. Lima, Peru.

- Cuthill, M. 2010. Strengthening the ‘Social’ in Sustainable Development: Developing a Conceptual Framework for Social Sustainability in a Rapid Urban Growth Region in Australia. *Sustainable Development* 18(1):362–373.
- Dempsey, N., Bramley, G., Power, S. & Brown, C. 2011. The social dimension of sustainable development: defining urban social sustainability. *Sustainable Development* 19(1):289–300.
- ElGawady, M., Lestuzzi, P. & Badoux, M. 2004. *A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for Unreinforced Masonry*. 13th International Brick and Block Masonry Conference. July 4–7, Amsterdam, The Netherlands.
- Fisher, J. & Amekudzi, A. 2011. Quality of Life, Sustainable Civil Infrastructure, and Sustainable Development: Strategically Expanding Choice. *Journal of Urban Planning and Development* 137(1):39–48.
- Fitzgerald, G. & Fitzgerald, N. 2005. *Assessing community resilience to wildfires: Concepts & approach*. Paper Prepared for SCION Research. Fitzgerald Applied Sociology.
- Heise, M., Tubino, F. & Ardito, W. 1994. Interculturalidad, un desafío. In M. Heise, F. Tubino, & W. Ardito (Eds.), *Interculturalidad, un desafío*. pp. 7–22. Lima: Centro Amazónico de Antropología y Aplicación (CAAAP).
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). 2014. *Movimiento Sísmico en el Departamento de Ayacucho*. Emergency Report No. 592 – 26/08/2014/COEN-INDECI/13:00. Lima, Peru.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2007. *Censos Nacionales X de Población y V de Vivienda – Resultados definitivos*.
<http://inei.gob.pe/inei/RedatamCpv2007.asp?id=ResultadosCensales?ori=C>
- InWent & Mesopartner. 2005. *Familiarization Workshop—“The LED Café”: A Training Manual for Large-scale Participatory Events on Local Economic Development*. InWent Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH InWent—Capacity Building International. Köln, Germany.
- Iyer, S. 2002. *Guidelines for Building Bamboo-Reinforced Masonry in Earthquake-prone Areas in India*. Master’s Thesis, School of Architecture, University of Southern California.
- Khan, S., Combaz, E. & McAslan Fraser, E. (2015). *Social Exclusion: Topic Guide*. Rev. Ed. Birmingham: GSDRC, University of Birmingham.
- Macabaug, J. & Quiun, D. 2010. *Dissemination of seismic retrofitting techniques to rural communities in Peru*. 14th European Conference on Earthquake Engineering. August 30 – September 03, Ohrid, Macedonia.
- Magis, K. & Shinn, C. 2009. Emergent themes of social sustainability. In J. Dillard, V. Dujon & M. King (Eds.), *Understanding the Social Aspect of Sustainability*. New York, NY: Routledge.
- McKenzie, S. 2004. *Social Sustainability: Towards Some Definitions*. In Hawke Research Institute Working Paper Series, No 27. Magill, South Australia: Hawke Research Institute, University of South Australia, Australia.
- Minke, G. 2001. *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*. Eschborn: GATE-BASIN (Building Advisory Service and Information Network) at GTZ GmbH (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit).

- Mitlin, D. & Satterthwaite, D. 1996. Sustainable development and cities. In C. Pugh (Ed.), *Sustainability, the Environment and Urbanisation*. London: Earthscan.
- Murphy, K. 2012. The social pillar of sustainable development: a literature review and framework for policy analysis. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* 8(1):15–29.
- Ness, B. & Akerman, A. 2015. Sustainable diffusion of sustainable technologies? An entrepreneur-led initiative to promote improved cook stoves in rural western Kenya. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* 11(1):53–63.
- Office of the Deputy Prime Minister (ODPM). 2006. *UK Presidency: EU Ministerial Informal on Sustainable Communities Policy Papers*. ODPM: London.
- Pérez-Salinas, B., Espinosa, A. & Beramendi, M. 2014. Wellbeing goals and values in a rural Andean community of Puno-Peru. *Colombian Journal of Psychology* 23(1):149–161.
- San Bartolomé, Á., Quiun, D. & Zegarra, L. 2004. *Effective System for Seismic Reinforcement of Adobe Houses*. 13th World Conference on Earthquake Engineering. August 1–6, Vancouver, B.C., Canada.
- Sen, A. 2000. *Development as Freedom*. New York, NY: Random House.
- Smith, A. & Redman, T. 2009. *A Critical Review of Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Structures*. EWB-UK Research Conference 2009 Hosted by The Royal Academy of Engineering. February 20, Bristol.
- Turer, A., Korkmaz, S. Z. & Korkmaz, H. H. 2007. Performance improvement studies of masonry houses using elastic post-tensioning straps. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 36(1):683–705.
- Vargas, J., Blondet, M., Ginocchio, F., & Villa-Garcia, G. 2005. *35 years of research on SismoAdobe*. In Spanish. International Seminar on Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas, SismoAdobe2005. May 16–19, Lima, Peru.
- Western Australian Council of Social Services. *Model of Social Sustainability*.
www.wacoss.org.au/socialpolicy/sustainability
- Woodcraft, S., Bacon, N., Caistor-Arendar, L., & Hackett, T. 2011. *DESIGN FOR SOCIAL SUSTAINABILITY. A framework for creating thriving new communities*. London, UK: Social Life.
- Zegarra, L., Quiun, D., San Bartolomé, A., & Giesecke, A. 1997. *Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. Ira Parte: Ensayos sísmicos en muros “U”. 2da Parte: Ensayos sísmicos de módulos*. XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil. March 6-7, Trujillo, Perú.