



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

**EL SISMO DE AREQUIPA DEL 2001  
Y LA VULNERABILIDAD DE LAS  
EDIFICACIONES PERUANAS**

*Alejandro Muñoz P.  
Marcos Tinman B.*

**COMPORTAMIENTO ANTE EL TERREMOTO  
DEL 23-06-2001 DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE  
REFORZADAS EN MOQUEGUA,  
TACNA Y ARICA.**

*Luis Zegarra  
Angel San Bartolomé  
Daniel Quiun*

**IMPACTO DEL SISMO DEL  
23 DE JUNIO DEL 2001 EN EL  
CASCO MONUMENTAL DE AREQUIPA**

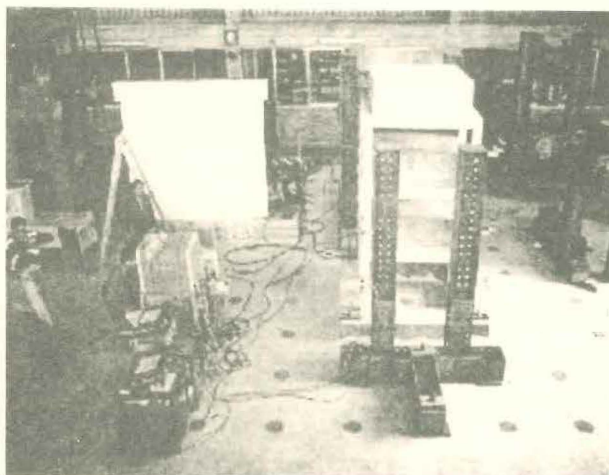
*Daniel Torrealva Dávila  
Julio Vargas Neumann*

*DI-SIC-2001-07,08,09  
Lima, diciembre 2001*

# LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

El Laboratorio de Estructuras Antisísmicas del Departamento de Ingeniería, con más de 20 años de experiencia, cuenta con equipo e instalaciones que permiten la ejecución de ensayos estáticos y dinámicos en especímenes a escala natural o reducida. Se dispone de equipo para construcción y traslado de especímenes, montaje de dispositivos, aplicación de carga, medición, adquisición y procesamiento de datos. En el Laboratorio se desarrollan tres tipos de actividades:

- Apoyo a los cursos de Pre-Grado y Maestría
- Investigación en materiales locales para mejorar su comportamiento sísmico
- Servicio Técnico a la Industria de la Construcción



Los ensayos que habitualmente se realizan son:

- I.- Ensayos mecánicos: compresión, tracción, flexión, compresión diagonal, corte, impacto, etc. en distintos materiales y elementos estructurales.
- II.- Carga horizontal monotónica y cíclica en sistemas y componentes estructurales.
- III.- Simulación sísmica en modelos a escala natural y reducida.
- IV.- Verificación de equipo de aplicación de carga. Se cuenta con celda de carga patrón calibrada en el National Standards Testing Laboratory, U.S.A.
- V.- Compresión en probetas estándar de concreto. Servicio de recojo de probetas de obra.
- VI.- Determinación de la calidad del concreto fresco in-situ.
- VII.- Determinación de la calidad y uniformidad del concreto endurecido in-situ mediante probetas diamantinas y esclerometría.
- VIII.- Evaluación de la capacidad de estructuras mediante pruebas de carga.
- IX.- Consultoría en temas de estructuras y de patología estructural en general.

Cualquier información adicional al 460-2870 anexo 259, Directo/fax 261-8889, e-mail [ledi@pucp.edu.pe](mailto:ledi@pucp.edu.pe)



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL**

**EL SISMO DE AREQUIPA DEL 2001  
Y LA VULNERABILIDAD DE LAS  
EDIFICACIONES PERUANAS**

*Alejandro Muñoz P.  
Marcos Tinman B.*

**COMPORTAMIENTO ANTE EL TERREMOTO  
DEL 23-06-2001 DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE  
REFORZADAS EN MOQUEGUA,  
TACNA Y ARICA.**

*Luis Zegarra  
Angel San Bartolomé  
Daniel Quiun*

**IMPACTO DEL SISMO DEL  
23 DE JUNIO DEL 2001 EN EL  
CASCO MONUMENTAL DE AREQUIPA**

*Daniel Torrealva Dávila  
Julio Vargas Neumann*

*DI-SIC-2001-07,08,09  
Lima, diciembre 2001*



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL**

**COMPORTAMIENTO ANTE EL TERREMOTO  
DEL 23-06-2001 DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE  
REFORZADAS EN MOQUEGUA,  
TACNA Y ARICA.**

***Luis Zegarra  
Angel San Bartolomé  
Daniel Quiun***

***DI-SIC-2001-08  
Lima, diciembre 2001***

# Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica.

## Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP, Etapa 3

Luis Zegarra, Angel San Bartolomé, Daniel Quiun,  
(Profesores, Pontificia Universidad Católica del Perú)  
Alberto Giesecke (Centro Regional de Sismología para América del Sur)

### RESUMEN

La investigación sobre "Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos" (Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP), contempló la realización de proyectos piloto en el Perú y otros países de Sudamérica. En el Perú, esta etapa se desarrolló en 20 viviendas entre setiembre de 1998 y enero de 1999, siendo una de las zonas escogidas la de Tacna y Moquegua, donde se reforzaron 5 viviendas existentes. Posteriormente se hizo lo propio con una vivienda en la parte rural de Arica, Chile. El terremoto del 23 de junio del 2001, causó daños severos especialmente en las viviendas de adobe ubicadas en el sur del país (Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna). Sin embargo, las viviendas reforzadas tuvieron un comportamiento elástico, dentro de lo esperado para un sismo catalogado como moderado es decir, no tuvieron daños, mientras que las casas vecinas tuvieron serias fracturas y algunos muros colapsaron.

### 1.- INTRODUCCIÓN

La etapa final del Proyecto "Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos" (Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP), contempla la observación del comportamiento de las viviendas reforzadas dentro del plan piloto ante un sismo real, el mismo que ocurrió el 23 de junio del 2001, teniendo una magnitud  $m_b = 6.9$  en la escala de Richter, según el Instituto Geofísico del Perú, causando daños severos especialmente en las viviendas de adobe ubicadas en el sur del país (Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna) y el norte de Chile.

Según las estadísticas proporcionadas al 26-06-2001, por el Instituto Nacional de Defensa Civil, 16 personas fallecieron en Moquegua y 13 en Tacna; asimismo, las viviendas que quedaron destruidas o afectadas suman 3135 en Moquegua y 2818 en Tacna.

En el año 1998 se reforzaron tres viviendas de adobe ubicadas en Moquegua (Fig.1) y dos viviendas localizadas en Tacna (Ref. 1); poco después se reforzó otra vivienda más en el Valle de Azapa, en la parte rural de Arica en Chile (Ref. 2). Todas estas viviendas son de un piso, y fueron seleccionadas para aplicarles la técnica de reforzamiento de enmallado por franjas que simulan vigas y columnas. Estas franjas, colocadas en ambas caras del muro, estuvieron compuestas por mallas electrosoldadas (con cocadas de  $\frac{3}{4}$ " ) clavadas contra la pared e interconectadas mediante alambre #8, para ser posteriormente tarrajeadas con mortero 1:4 (proporción volumétrica cemento-arena). Los ensayos de laboratorio que permitieron el desarrollo de esta técnica se presentaron en las Ref. 3 y 4. En las Fig. 2, 3 y 5 se aprecia la aplicación a las casas del proyecto

piloto en Moquegua.

Luego de la visita de inspección técnica realizada los días 26 y 27 de junio por dos integrantes del proyecto (San Bartolomé y Quiun), junto con el coordinador local (Luis Vera), en este trabajo se describe el comportamiento sísmico de las viviendas reforzadas en los centros poblados de Yacango y Estuquiña (situados en Moquegua). Por otro lado, las dos viviendas en Caplina (Tacna) y la ubicada en Arica (Chile) fueron inspeccionadas por el Ing. Luis Vera.

## **2.- YACANGO (Moquegua)**

### **2.1 Daños observados**

En el Centro Poblado Menor de Yacango (fig. 2), distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto (Moquegua), prácticamente el 90% de las casas de adobe no reforzadas tuvieron daños. Estos daños clasifican desde pequeñas fisuras hasta el colapso total, y principalmente se presentaron por desgarramiento vertical en el encuentro entre paredes ortogonales (fig. 8). La fuerte intensidad del movimiento en el Cerro Baúl, lugar muy cercano a Yacango, fue reportada por el diario "El Comercio" al día siguiente del sismo en su página a-2 (Ref. 5).

### **2.2 Vivienda del Sr. Julián Manzano**

La vivienda del Sr. Manzano queda ubicada en la calle Santa Fortunata, Manzana C, Lote 12. Los muros en esta vivienda tuvieron fisuras muy finas localizadas en las esquinas interiores (encuentro entre paredes) y en los bordes donde terminan las franjas de refuerzo; además de un ligero desprendimiento del tarrajeo localizado en la base del dintel de una de las ventanas de la fachada (fig. 4). Sin embargo, la estructura en ningún momento se vio comprometida. Debe remarcarse que en la parte exterior de las viviendas vecinas no se observó daños, pero sí en el interior de las mismas. Además, la vivienda del Sr. Manzano está ubicada en la esquina de una manzana, por lo que debe haber servido para confinar a las viviendas vecinas.

### **2.3 Vivienda del Sr. Victoriano Fanegas**

Esta vivienda se encuentra ubicada en la calle José Santos Chocano, Manzana B, Lote 14. En esta vivienda (aislada) sólo se presentó una fisura, localizada en el vano de la puerta principal. El comportamiento de esta vivienda puede calificarse como excelente, ya que una vivienda situada a escasos 2 metros, colapsó totalmente; asimismo, una de sus paredes laterales recibió el impacto de un cerco de adobe que se desplomó, y otra vivienda próxima, tuvo grandes grietas verticales en la conexión entre sus paredes ortogonales (fig. 6, 7).

## **3.- ESTUQUIÑA (Moquegua)**

### **3.1 Daños observados**

En el Centro Poblado Menor de Estuquiña, distrito de Moquegua, provincia de Mariscal

Nieto, al igual que en Yacango, pero en una zona de terreno más plana, prácticamente el 90% de las casas de adobe no reforzados tuvieron daños. Estos daños clasifican desde pequeñas fisuras hasta el colapso total, y principalmente se presentaron por desgarramiento vertical en el encuentro entre paredes ortogonales (fig. 11).

### **3.2 Vivienda del Sr. Evaristo Chávez**

Esta vivienda se encuentra ubicada en la Av. Estuquiña, Manzana E, Lote 15. La parte exterior de esta vivienda consta de dos pisos (única en Estuquiña), mientras que la parte interior es un ambiente de un piso, el cual fue reforzado por operarios locales que habían aprendido la técnica en Yacango y dirigidos por el Ing. Vera..

El ambiente reforzado presentó una sola fisura vertical muy fina en la parte interior de una de las esquinas (encuentro entre paredes transversales). De otro lado, en la parte no reforzada de dos pisos, los muros del segundo piso se agrietaron severamente en sus esquinas (fig. 9 y 10).

## **4.- CAPLINA (Tacna) y VALLE DE AZAPA (Arica)**

En el Centro Poblado Menor de Caplina, provincia de Pachía, del departamento de Tacna, fueron reforzadas dos casas: la del Sr. Modesto Lanchipa, ubicada en la Calle 3 de Mayo 109 (fig. 12), y la del Sr. Gregorio García, ubicada en la Av. Tacna 103 (fig. 13). Ambas han soportado el sismo y sus réplicas sin daño, mientras que viviendas vecinas muestran paredes fisuradas y algunas colapsadas (fig. 14).

En Chile, la vivienda de adobe existente reforzada fue seleccionada por el Ing. Luis Vera, con el apoyo de Dirección General de la Oficina de Emergencias de la Gobernación de la provincia de Arica y de la Universidad de Tarapacá. Se seleccionó una vivienda de un piso de 80 m<sup>2</sup> de área techada en tres ambientes, ubicada en el Valle de Azapa, Sector Las Maitas de Arica, de propiedad de la Sra. Felipa Castro (fig. 15). Al igual que los casos anteriores, esta vivienda soportó sin problemas el sismo y otras construcciones cercanas sufrieron daños importantes (fig. 16)

## **5.- REPERCUSION DEL COMPORTAMIENTO OBSERVADO**

El buen comportamiento sísmico observado por las viviendas de adobe reforzadas descritas en este artículo, en contraste con las viviendas vecinas que tuvieron daños severos, se ha difundido a través de la prensa, además se ha dado charlas explicativas en diferentes reuniones a directivos de Defensa Civil, INFES, Banco de Materiales, SENCICO, ESSALUD, personal del Ministerio de Educación, diversos Organismos no gubernamentales, Colegio de Ingenieros, Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas, entre otros.

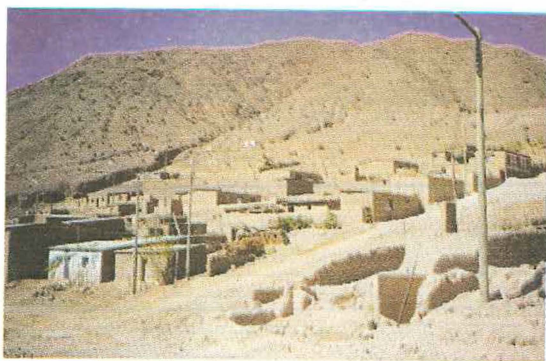
## **6.- CONCLUSIONES**

- Por los daños observados en Tacna y Moquegua, el sismo puede calificarse como moderado, pero, aún así, produjo serios daños en las viviendas de adobe llegando a colapsar muchas de ellas.

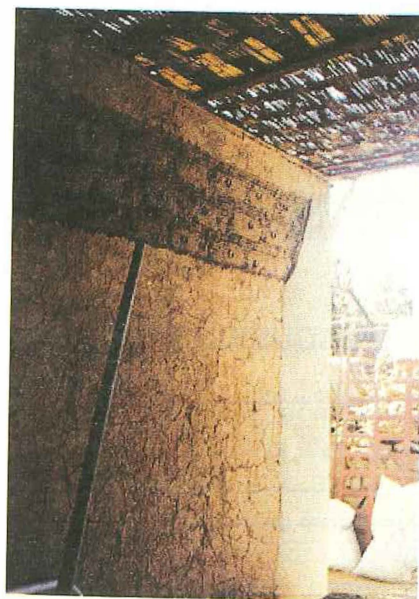
- El comportamiento sísmico de las tres viviendas de adobe reforzadas en el departamento de Moquegua, puede calificarse como excelente, llegando incluso a emplearse las viviendas en Yacango como zona de refugio para las familias damnificadas de la zona.
- Las viviendas en Tacna y Arica, situadas a mayor distancia del epicentro, también tuvieron un buen comportamiento en contraste con las viviendas no reforzadas. En general el comportamiento observado ha sido excelente y en las labores de reconstrucción de viviendas de adobe se está pensando en utilizar la técnica descrita.

## 7.- REFERENCIAS

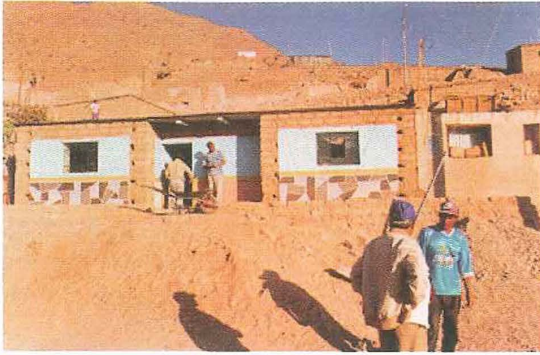
1. Luis Zegarra, Daniel Quiun, Angel San Bartolomé, Alberto Giesecke "Reforzamiento de viviendas existentes de adobe. Proyecto Ceresis-GTZ-PUCP" Ponencias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco 1999.
2. CERESIS, Página internet <http://www.ceresis.org/proyect/padobe.htm>
3. Luis Zegarra, Daniel Quiun, Angel San Bartolomé, Alberto Giesecke "Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 1ra. Parte: Ensayos sísmicos de muros U" y "Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 2da. Parte: Ensayos sísmicos de módulos" Ponencias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo 1997.
4. Página Internet <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln47/zegarra.html>
5. "El joven milagro en el Cerro Baúl", Diario "El Comercio" edición del 24 de junio del 2001, página a-2.



**Fig. 1 Centro Poblado Menor de Yacango, Moquegua en 1998.**



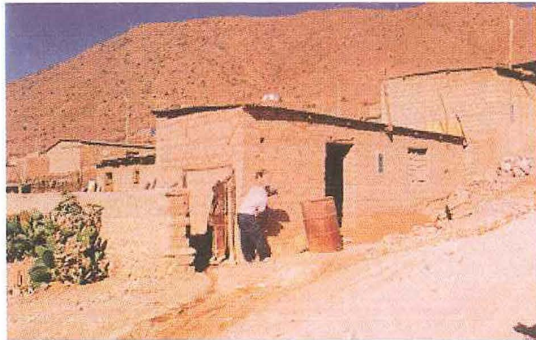
**Fig. 2 Refuerzo a viviendas de adobe existentes: Mallas electrosoldadas conectadas clavadas, y tarrajeadas**



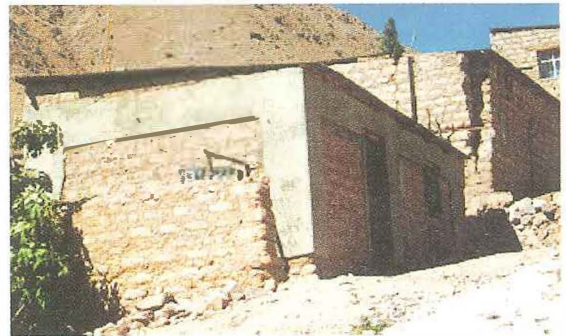
**Fig. 3** Yacango. Vivienda del Sr. Manzano Durante el reforzamiento 1998.



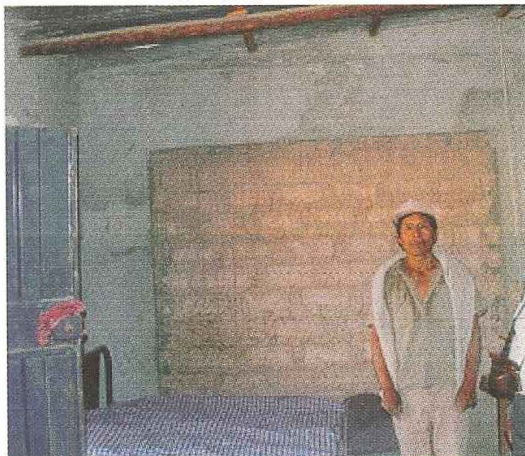
**Fig. 4** Yacango. Vivienda del Sr. Manzano Postsismo, 2001.



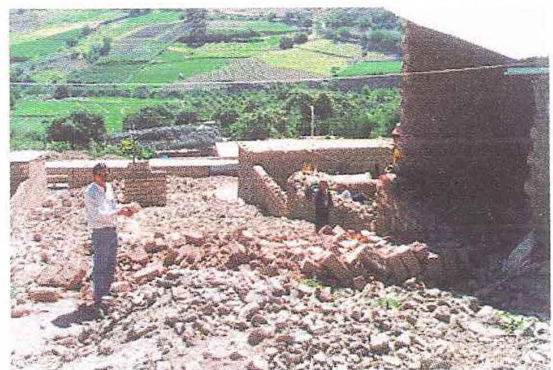
**Fig. 5** Yacango. Vivienda del Sr. Fanegas Durante el reforzamiento 1998.



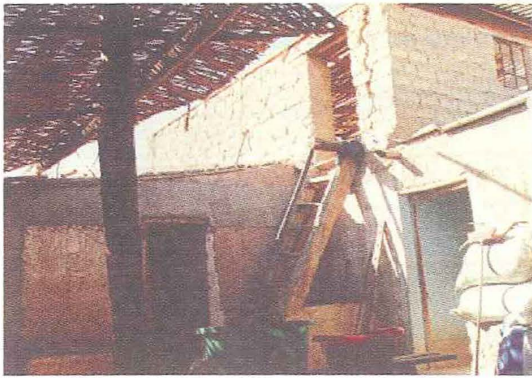
**Fig. 6** Yacango. Vivienda del Sr. Fanegas Postsismo, 2001.



**Fig. 7** Yacango. Interior de la Vivienda del Sr. Fanegas después del sismo 2001, sin daños.

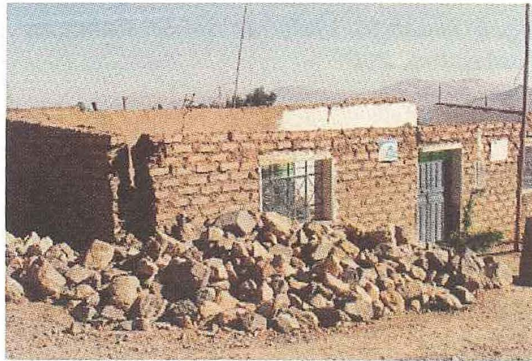
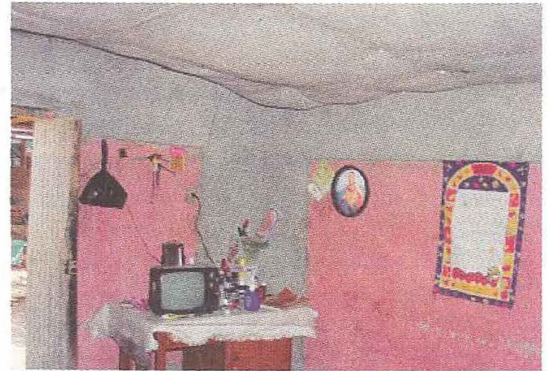


**Fig. 8** Daños en Yacango, 27 junio 2001



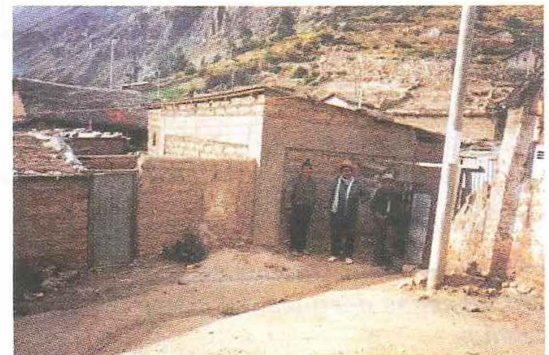
**Fig. 9** Estuquiña. Vivienda del Sr. Chávez, Primer piso reforzado sin daños.

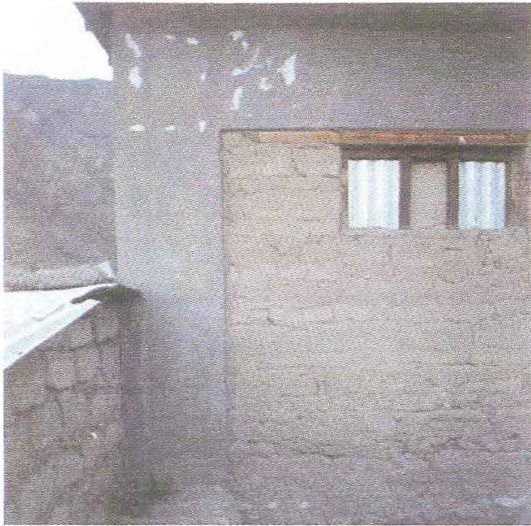
**Fig. 10** Interior del primer piso de la casa del Sr. Chávez, sin daños postsismo.



**Fig. 11** Estuquiña. Vivienda de adobe Interior del primer piso de la casa con daños severos.

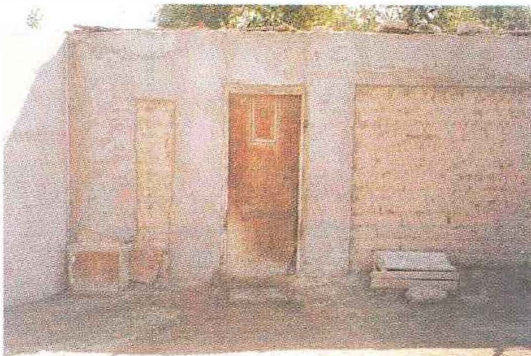
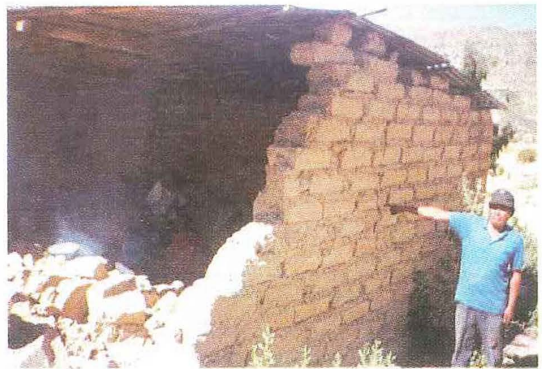
**Fig. 12** Caplina, vivienda del Sr. Lanchipa sin daños postsismo.





**Fig. 13** *Caplina. Vivienda del Sr. García sin daños postsismo.*

**Fig. 14** *Daños en Caplina*



**Fig. 15** *Valle de Azapa, Arica. Vivienda de la Sra. Castro sin daños postsismo.*

**Fig. 16** *Daños en Arica*



## Publicaciones Recientes de la Sección Ingeniería Civil

### **Publicación DI-SIC-2001-01**

Fuerzas Sísmicas de Diseño para Edificaciones de Albañilería

Alejandro Muñoz

Angel San Bartolomé

Carlos Rodríguez

*Enero, 2001*

### **Publicación DI-SIC-2001-02**

Riesgo Sísmico de Edificios Peruanos

Alejandro Muñoz

Marcos Tinman

Daniel Quium

*Enero, 2001*

### **Publicación DI-SIC-2001-03**

Comportamiento Sísmico de los Paneles Drywall

Angel San Bartolomé

Ricardo del Águila

Ramzy Kahhat

Daniel Lostaunau

*Abril, 2001*

### **Publicación DI-SIC-2001-04**

Comportamiento Sísmico de Especímenes construidos con Paneles Poliblock reforzado

Angel San Bartolomé

Hernán Velarde

Luis Velarde

Giancarlo Vásquez

*Abril, 2001*

### **Publicación DI-SIC-2001-05**

Efectos de los Estribos sobre el comportamiento a compresión de las columnas de confinamiento

Angel San Bartolomé

Luis Labarta

*Abril, 2001*

### **Publicación DI-SIC-2001-06**

Influencia del modelaje estructural en la estimación de la respuesta sísmica de un edificio de albañilería armada

Angel San Bartolomé

Alejandro Muñoz

Enrique Lazo

*Abril, 2001*

### **Correspondencia:**

Pontificia Universidad Católica del Perú

Departamento de Ingeniería - Sección Ing. Civil

Apartado 1761 - Lima - Perú.

Teléfono: 51-1-460-2870 ( ext. 190)

Fax: 51-1-463-6181

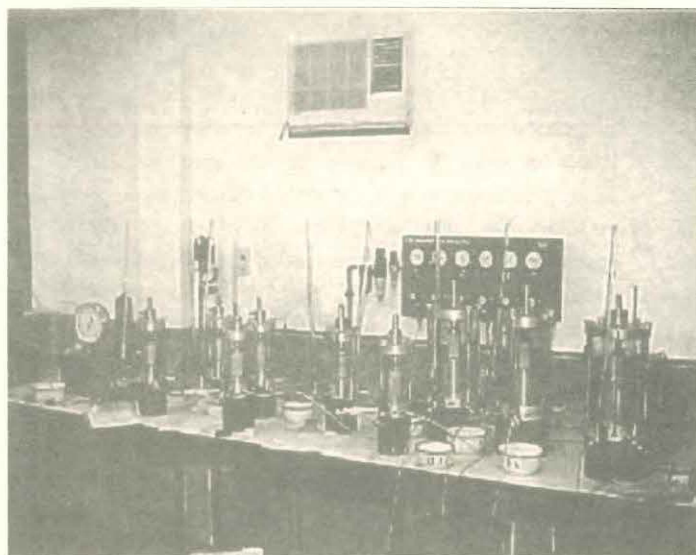
e-mail: [civil@pucp.edu.pe](mailto:civil@pucp.edu.pe)

<http://www.pucp.edu.pe/unid/facul/cing/civil>

# LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Es el Laboratorio de Ingeniería más antiguo de la Universidad, ya que fue inaugurado en 1967. El área del Laboratorio de Mecánica de Suelos, incluyendo oficinas es de 720 m<sup>2</sup>.

Se cuenta con el equipo exigido por los estándares internacionales: balanzas mecánicas y electrónicas, hornos, mallas y tamices, picnómetros, cucharas de Casagrande, permeámetros, consolidómetros, martillos y moldes de compactación, densímetro nuclear, prensa C.B.R. electrónica, equipo para compresión no confinada, cono de arena, equipo de corte, muestreadores, máquina de abrasión de Los Angeles, equivalente de arena, prensa Marshall, equipos para realizar diversos ensayos en mezclas asfálticas.



Adicionalmente se cuenta con un equipo que permite efectuar ensayos de compresión triaxial en especímenes de hasta 100 mm de diámetro.

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos se realizan los siguientes ensayos en suelos, agregados para concreto y asfalto y mezclas asfálticas:

**I.- ENSAYOS DE CLASIFICACION:** Contenido de humedad, peso específico de sólidos, densidad natural, análisis granulométrico (tamizado y sedimentación), límites de consistencia.

**II.- ENSAYOS DE CONTROL:** Proctor estándar y modificado y controles de densidad en el campo.

**III.- ENSAYOS PARA DISEÑO:** C.B.R., compresión simple, corte directo.

**IV.- ENSAYOS TRIAXIALES:** UU, CU y CD en muestras de 35, 50, 70 y 100 mm de diámetro.

**V.- ENSAYOS ESPECIALES EN SUELOS:** consolidación, expansión, permeabilidad, compactación tipo Harvard, Pinhole Test

**VI.- DETERMINACION DE PROPIEDADES DE SUELOS EN EL CAMPO:** toma de muestras, descripción visual - manual, SPT, auscultación con cono tipo Peck, pruebas de carga

**VI.- AGREGADOS PARA CONCRETO, MORTERO Y ASFALTO:** granulometrías, peso específico y absorción, peso unitario volumétrico, impurezas orgánicas, contenido de arcilla, partículas ligeras, porcentaje menor que la malla #200, inalterabilidad en sulfato de sodio, abrasión de Los Ángeles, equivalente de arena, partículas chatas y alargadas y caras fracturadas; diseño y rotura Marshall, lavado asfáltico y viga Benkelman.

Estos ensayos permiten obtener los parámetros necesarios para el diseño de edificios, puentes, plantas industriales, proyectos mineros, obras portuarias, presas, carreteras, aeropuertos, canales, terraplenes, taludes, etc. Asimismo, nuestra unidad está en condiciones de efectuar estudios de Mecánica de Suelos completos, para los diferentes proyectos de Ingeniería Civil.

Cualquier información adicional al Tel/Fax 460-4510, o a nuestra dirección electrónica : [suelos@pucp.edu.pe](mailto:suelos@pucp.edu.pe)