

- **ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL SISMO DEL 15 DE AGOSTO EN PISCO**

Manuel A. Olcese Franzero
Jorge Zegarra Pellanne

- **DEFECTOS QUE INCIDIERON EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA EN EL SISMO DE PISCO DEL 15-08-2007**

Ángel San Bartolomé

- **COMPORTAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE REFORZADAS ANTE EL SISMO DE PISCO.**

Daniel Quiun
Angel San Bartolomé
Luis Zegarra
Alberto Giesecke

- **CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS, REPARACIÓN Y REFUERZO EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE**

Daniel Torrealva Dávila

- **ENSEÑANZAS DEL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007**

Antonio Blanco

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

El laboratorio de estructuras antisísmicas del departamento de ingeniería, con más de 28 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 monótonica 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 celdas de carga patrón calibradas en el National Standard Testing Laboratory, U.S.A.
- V. Compresión en probetas estándar de concreto.
- 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 hepatología estructural en general.



Informes

Jefe de Laboratorio: Ing. Gladys Villa García Medina

Teléfono: 626-2000 anexo 4640,

Fax: 629-2089

E-mail: ledi@pucp.edu.pe

PRESENTACIÓN

Grandes terremotos ocurridos en nuestro país, siempre han generado pérdidas de vidas humanas, serios daños materiales incluso de monumentos históricos, redes viales y de la infraestructura industrial de la zona afectada, provocando retrasos en su desarrollo. Sin embargo, estos sismos nos proporcionaron también lecciones que aprender.

El denominado “Sismo de Pisco” ocurrido el 15 de agosto del 2007 no fue la excepción, a pesar que poco antes, en el llamado “Sismo del Sur” del 2001, se había comprobado, por ejemplo, la efectividad de ciertas técnicas de refuerzo aplicadas previamente en viviendas de adobe. Pese a su sencillez y economía, estas técnicas no se aplicaron, excepto en 3 viviendas piloto, y el daño en las viviendas de adobe fue masivo en la zona afectada por el sismo de Pisco, volviéndose a repetir la historia.

De este modo, con el objetivo principal de que se adopte una política preventiva ante los sismos futuros, la Sección Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, difunde en esta edición cinco artículos relacionados al “Sismo de Pisco”, donde los profesores de esta Sección han volcado sus experiencias y conocimientos productos de muchas investigaciones.

Ángel San Bartolomé

Coordinador de Investigaciones

Sección Ingeniería Civil



- **COMPORTAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE REFORZADAS ANTE EL SISMO DE PISCO.**

Daniel Quiun
Angel San Bartolomé
Luis Zegarra
Alberto Giesecke

COMPORTAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE REFORZADAS ANTE EL SISMO DE PISCO.

Daniel Quiun¹, Angel San Bartolomé¹, Luis Zegarra¹, Alberto Giesecke²

RESUMEN

El refuerzo de construcciones de adobe, mediante franjas de mallas de alambre electrosoldadas cubiertas con mortero, ha mostrado nuevamente su eficacia durante el terremoto del 15 de agosto de 2007 ($M=7.9$), que afectó la región Ica, en Perú. Se describe la aplicación del refuerzo efectuado en 1998, como proyecto piloto, en 2 casas reales de un piso, ubicadas en Ica, y su excelente comportamiento durante el terremoto. El proyecto fue financiado por la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y ejecutado en convenio por CERESIS y la PUCP. El sistema de refuerzo aplicado fue simple y fácilmente entendido por técnicos locales. Éxitos similares se lograron en otras construcciones tras el terremoto de junio de 2001, por lo que debe ser difundido masivamente como una medida de prevención ante futuros terremotos, para proteger la vida de los pobladores de menores recursos económicos.

INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas declararon la última década del siglo XX como el "Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales". Esta iniciativa permitió el desarrollo de un proyecto de investigación con la participación del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con el financiamiento de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ). El objetivo fue enfrentar el problema del derrumbe de las construcciones tradicionales de adobe durante los terremotos, que muchas veces ocasionan pérdidas humanas y materiales (fig. 1). Para esto, se logró dotar a las viviendas de adobe con una resistencia sísmica suficiente para que, ante un terremoto, los pobladores pudieran salir de sus casas antes del colapso (Zegarra, et. al, 1999).



Fig. 1.- Destrucción de viviendas de adobe no reforzado en el Perú: sismo de 1970 (izquierda) y de 1996 (derecha).

EL PROYECTO DE REFORZAMIENTO

El proyecto se concentró en las viviendas tradicionales de adobe, que en el Perú son alrededor de 2 millones, según el Censo Nacional de Vivienda de 1993, un 43% del total de viviendas (INEI, 1993). Dichas viviendas tienen una serie de defectos que las hacen vulnerables ante sismos, como el material de baja resistencia, la ausencia de refuerzos sísmicos, muros y techos de construcción deficiente, falta de mantenimiento, entre otros.

Entre 1994 y 1999, el proyecto se ejecutó con el financiamiento de GTZ, la administración de CERESIS y la ejecución por parte de la PUCP (CERESIS, 2000). Se trabajó en varias etapas: 1) Ensayos experimentales en el Laboratorio de Estructuras PUCP; 2) Proyectos Piloto en distintos poblados del Perú (ejecutados entre 1998 y 1999); 3) Proyectos

¹ Profesor, Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú

² Director de CERESIS

Piloto en otros países andinos; y 4) Evaluación post-sismo del comportamiento del proyectos piloto.

La técnica, que dio resultados en el laboratorio y que fue aplicada en las viviendas elegidas como proyectos piloto, consistió en colocar franjas de mallas electrosoldadas en las esquinas y la parte superior de los muros, clavadas e interconectadas entre sí, las que luego se recubrieron con mortero de cemento. La idea era simular una especie de columnas y vigas que aumenten la resistencia sísmica de la casa de adobe.

Las 20 casas piloto en el Perú se seleccionaron en centros poblados con abundancia de casas de adobe y en donde existen probabilidades de ocurrencia de terremotos. La ubicación de estas viviendas fue la siguiente: 2 en Tacna, 3 en Moquegua, 2 en Ica, 5 en Trujillo, 4 en Huaraz, y 4 en Cuzco. De éstas, 15 son de un piso, mientras que una de Huaraz y las 4 de Cuzco son de dos pisos (Zegarra, et. al. 1999).

LAS CASAS REFORZADAS EN ICA

En octubre de 1998, se seleccionaron 2 casas en la provincia de Ica, para ser reforzadas como parte de los proyectos piloto. La tabla 1 proporciona datos sobre su ubicación. Debe mencionarse que la casa en Guadalupe queda en esquina, mientras que la casa en Pachacútec tiene lotes vecinos a ambos lados. Además, ésta tiene un ambiente delantero hecho de muros de ladrillo, pero el resto de la casa presenta muros de adobe abundantes. Las figuras 2 y 3 muestran el esquema de reforzamiento empleado, con la ubicación de las franjas verticales. En general, los muros fueron intervenidos por ambos lados, pero en la colindancia con las propiedades vecinas, sólo se reforzó el lado disponible.

Tabla 1.- Casas Piloto en Ica

Casa	Ubicación	Dirección	Propietarios
1	Guadalupe, distrito de Salas, km 293 Panamericana Sur	Calle Callao 304, esquina con calle Rímac	Familia Espinoza-Trillo
2	Distrito de Pachacútec, km 314 Panamericana Sur	Calle Sebastián Barranca lote Z26	Familia Legua-Rupay

Para el trabajo, se trasladó desde Lima al albañil Héctor Flores, del Laboratorio de Estructuras PUCP, y en la zona se contrató al albañil Juan Tipismana y dos ayudantes.

El proceso seguido fue el siguiente: 1) trazado de las franjas donde se ubicarán las mallas sobre los muros; 2) limpieza de la superficie de las franjas; si existía enlucido previo (casa de Pachacútec), éste fue removido; 3) perforación de agujeros en la zona de las franjas verticales cada 0.50m; 4) preparación de los alambres de conexión y cortado de las mallas; 5) taponado de las perforaciones con mortero con alambres embebidos; 6) colocación de las franjas de mallas verticales, fijación al muro con clavos y chapitas metálicas, y doblado de conectores; 7) colocación y fijación de las franjas de mallas horizontales; 8) enlucido de las franjas con mortero de cemento:arena.

Las figuras 4 y 5 muestran, en la casa de Guadalupe, varias etapas del trabajo de reforzamiento, como se ha descrito en el exterior e interior de la vivienda. La figura 6 muestra la casa de Pachacútec con el trabajo inicial de trazado.

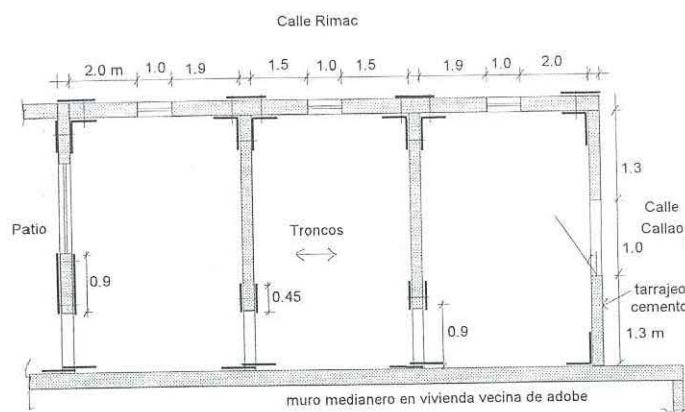


Fig. 2.- Esquema de ubicación de refuerzo en franjas verticales, casa de Guadalupe.

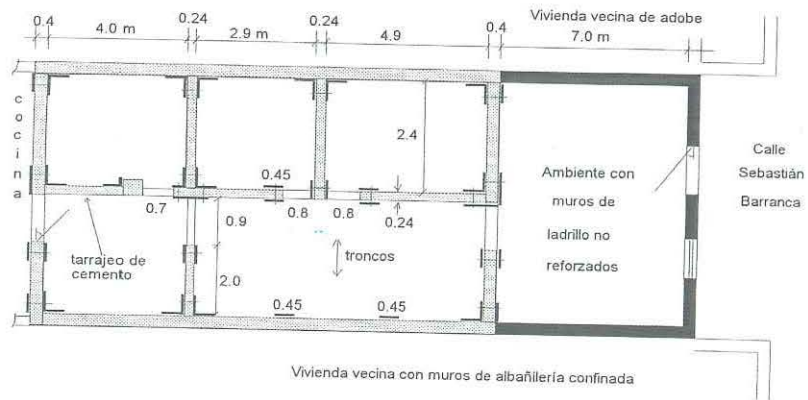


Fig. 3.- Esquema de ubicación de refuerzo en franjas verticales, casa de Pachacutec.

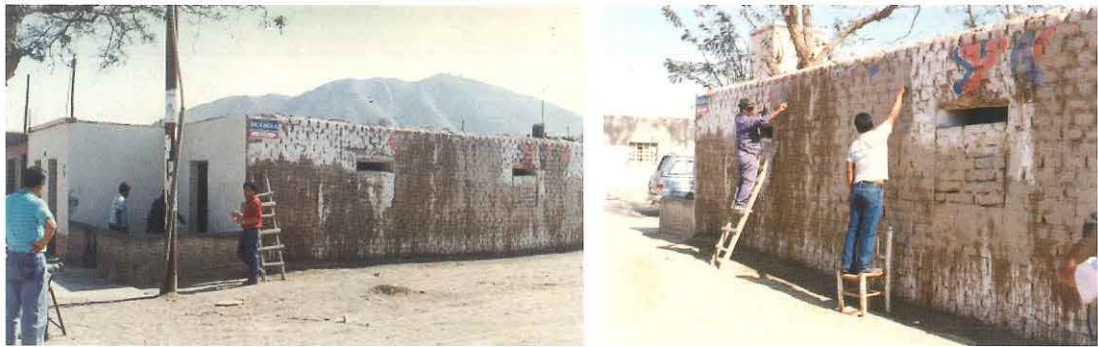


Fig. 4.- Fachada, casa de Guadalupe y trazado de una franja horizontal.



Fig. 5.- Casa de Guadalupe: perforaciones en el muro en una franja vertical (arriba izq.), taponado con mortero (arriba centro); colocación de la malla electrosoldada en una esquina (arriba der.) y clavado de malla (abajo, der).



Fig. 6.- Casa de Pachacutec: vista lateral (arriba, izq.), trazado de franja vertical (arriba, der.), remoción de enlucido existente (abajo, izq.), y trazado de franja horizontal (abajo, der.).

EVALUACIÓN POST SISMO

El primer comportamiento exitoso se dio en seis viviendas que fueron sometidas al terremoto del 23 de junio de 2001 (M 8.4), en el sur del Perú (3 en Moquegua, 2 en Tacna y 1 en Arica, norte de Chile). Ninguna de éstas tuvo daño, en tanto que viviendas vecinas de adobe no reforzado tuvieron fuertes daños o colapsaron (fig. 7). Esto dio lugar a varios proyectos de reconstrucción de viviendas nuevas de adobe reforzado en la zona andina del departamento de Arequipa. El más importante fue el desarrollado por COPASA-GTZ, (CTR/COPASA, et.al., 2002) donde se han construido más de 400 casas, cada una de dos ambientes con muros de adobe reforzados con franjas verticales de malla (GTZ, 2003). Luego, este sistema se ha extendido a otro tipo de edificaciones como locales comunales y centros de salud (Quiun, et. al. 2005).

Un segundo terremoto en una zona cercana ocurrió el 13 de junio de 2005, en Tarapacá, norte de Chile (M 7.9). Las construcciones de adobe tradicionales en la zona epicentral sufrieron derrumbes de muros y agrietamientos diagonales (Astroza, et. al. 2005). Nuevamente, las casas reforzadas en Arica y Tacna soportaron el movimiento sin daños.

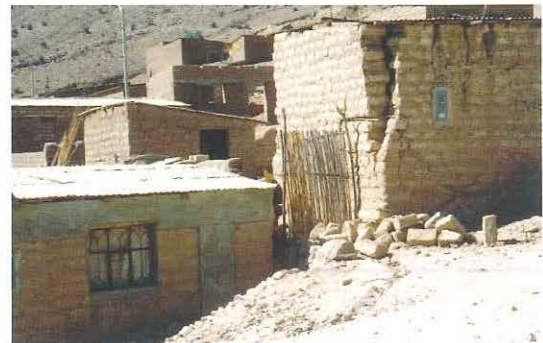




Fig. 7.- Efectos del terremoto del 2001. Arriba: Casa reforzada en Yacango, Moquegua y casas vecinas con muros dañados; Abajo: Casa reforzada en Caplina, Tacna y casas vecinas con muros dañados.

El terremoto de Pisco del 15 de agosto de 2007 (M7.9) ha sometido a prueba a las dos casas de adobe reforzadas, ubicadas en Guadalupe y en Pachacutec. Ambas casas soportaron el terremoto sin consecuencias, mientras que casas vecinas tuvieron fuertes daños. La fig. 8 muestra la casa de Guadalupe por el exterior e interior. Adyacente a la parte reforzada de la casa, la pared del patio que no tuvo refuerzo por falta de recursos del propietario, colapsó (fig. 9). Esto demuestra que el refuerzo colocado fue efectivo en la protección de los muros de adobe tradicionales, mientras que los muros sin refuerzo se derrumban incluso en sismos calificados como moderados, como en este caso.



Fig. 8.- Casa reforzada en Guadalupe sin daños

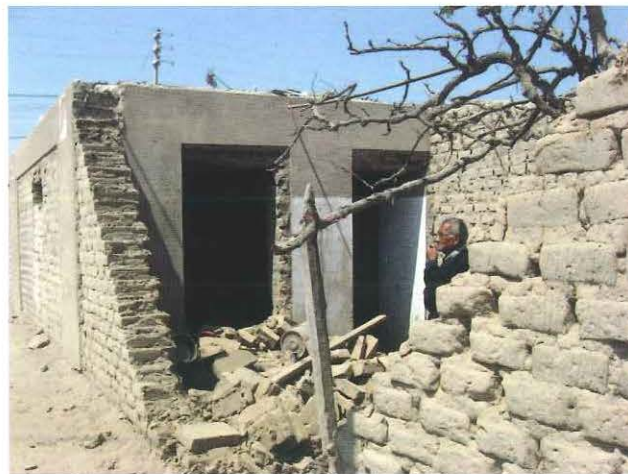


Fig. 9.- En Guadalupe el muro del patio se derrumbó por falta de refuerzo.

En la fig. 10, se pueden ver casas vecinas a la reforzada en Guadalupe, que evidencian que la intensidad del movimiento fue suficiente para derrumbar muros sin refuerzo. A pesar de ello, los pobladores tratan de recuperar las unidades de adobes para la reconstrucción.

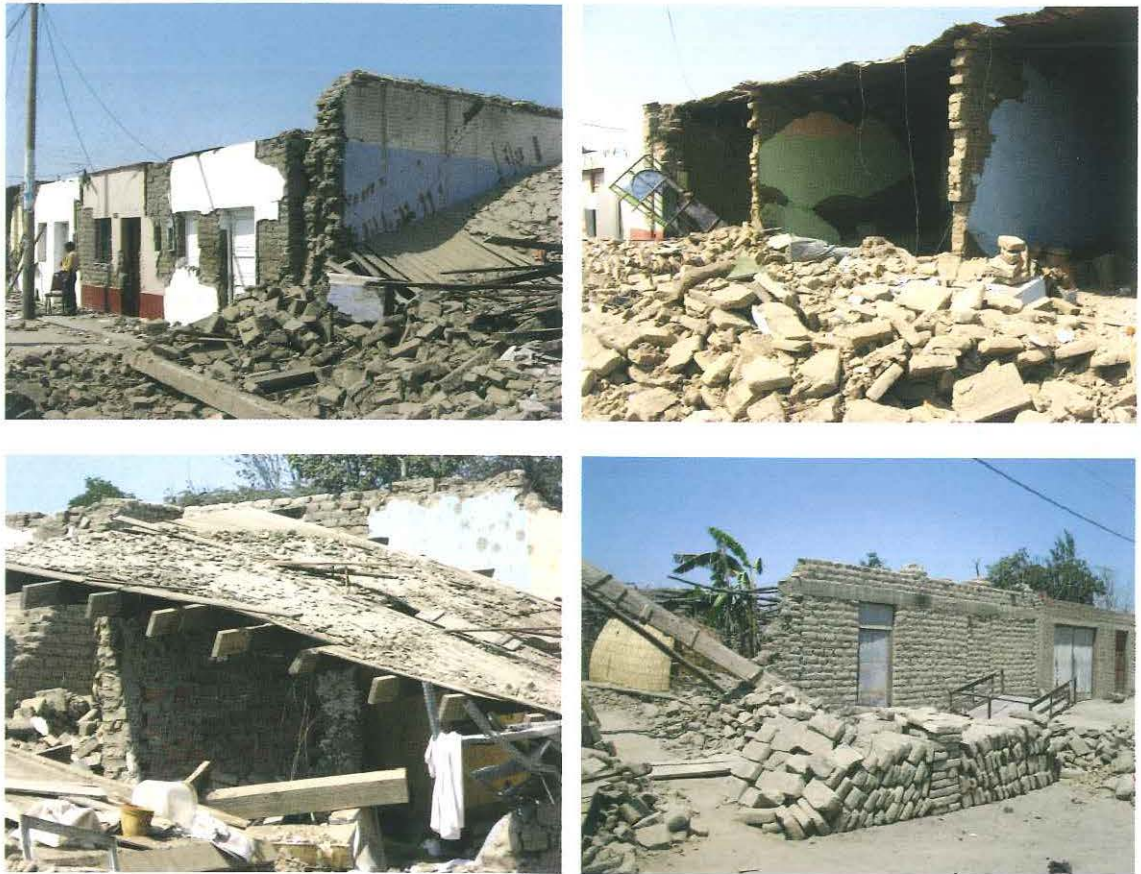


Fig. 10.- Viviendas de adobe tradicionales en Guadalupe con daños severos.

La fig. 11 muestra la casa reforzada en Pachacútec. El único daño que tuvo se debió a la caída de ladrillos del tercer piso de la casa vecina sobre el techo, los cuales formaban un parapeto sin amarres. La fig. 12 muestra casas vecinas con daños típicos en muros de adobe tradicionales sin refuerzos: volteo fuera del plano, desgarramiento en las esquinas, etc.



Fig. 11.- Casa reforzada en Pachacutec sin daños post sismo.



Fig. 12.- Casas vecinas de adobe en Pachacutec con fuertes daños en muros sin refuerzos.

CONCLUSIONES

Es evidente que sismos considerados moderados, como el de 2001 en el sur del Perú y el de 2007 en Pisco, producen fallas en las construcciones de adobe tradicionales, que llegan incluso al colapso por volteo fuera del plano. Los daños ocurridos en estos sismos y otros en construcciones de adobe sin refuerzo deben servir para convencer a la población de que es necesario colocar refuerzos. Se ha comprobado que la inclusión de refuerzos externos a las construcciones existentes, de mallas electrosoldadas en franjas clavadas y cubiertas con mortero, ha logrado un excelente comportamiento en 6 viviendas ante el sismo de 2001 y que a ellas se suman ahora otras 2, ubicadas en Ica, en el sismo de 2007.

Este sistema es sencillo de aplicar y no afecta ni a los cimientos ni al techo existentes. Los albañiles lo pueden aprender fácilmente, con muy poca capacitación. La población beneficiada en las casas piloto da testimonios de lo segura que se siente con el refuerzo incorporado y lo recomiendan sin reparos.

Es necesario difundir los beneficios de esta técnica, convencer a los pobladores y a las autoridades de que sí es posible proteger las construcciones de adobe existentes, y prevenir posibles desgracias en los próximos terremotos.

REFERENCIAS

Astroza M., Moroni, Norambuena, Astroza R. (2005) "Informe de daños en viviendas e intensidades del terremoto de Tarapacá del 13 de junio del 2005", Universidad de Chile, Santiago.

CERESIS (2000), "Reforzamiento Sismo-Resistente de Viviendas de Adobe Existentes en la Región Andina", <http://www.cerisis.org/proyect/padobe.htm>

CTAR/COPASA, GTZ, PUCP y SENCICO (2002) "Terremoto? ¡Mi casa sí resiste! – Manual de construcción para viviendas sismo resistentes en adobe", 2da. Edición, mayo.

GTZ (2003) "Perú – Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo", Eschborn, Alemania, marzo.

INEI (1993) "Censos Nacionales: IX de Población y IV de Vivienda", Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Perú.

Quiun, San Bartolomé, Zegarra, Giesecke (2005) "Adobe Reforzado con mallas de alambre: ensayos de simulación sísmica y aplicación a construcciones reales" Seminario Internacional de Arquitectura, Construcción y Conservación de edificaciones de tierra en áreas sísmicas, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Zegarra, San Bartolomé, Quiun, Giesecke (1999) "Reforzamiento de viviendas existentes de adobe, Proyecto CERESIS-GTZ-PUCP", XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Huanuco.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El Laboratorio de Mecánica de Suelos fue creado en el año 1966, a partir de una donación de equipos que hiciera la Dirección de Caminos del entonces Ministerio de Fomento y Obras Públicas a nuestra Universidad. Estos equipos fueron destinados fundamentalmente para la docencia; instalados y calibrados conjuntamente por personal de la Universidad y del Ministerio, con la colaboración de un experto de la Misión Renardet. El área de Laboratorio de Mecánica de Suelos, incluyendo oficinas es de 738 m².



Con el transcurrir del tiempo, el laboratorio se fue equipando con recursos propios de la Universidad, con equipos modernos y con tecnología de punta; para realizar actividades docentes; de investigación, y de servicio de apoyo a la industria de la construcción de edificaciones, presas, carreteras, puertos,

aeropuertos, canales, etc.; así como también a los proyectos relacionados con minería en lo referente a obras civiles y relaveras.



Además de los equipos usuales para determinación de las propiedades índice, hidráulicas, de compresibilidad de los suelos, de las propiedades para el diseño de vías de comunicación y de las características de los agregados; el laboratorio cuenta con un equipo triaxial con marco de carga de 50 KN y celdas de 35 mm, 50 mm, 70 mm y 100 mm; sistema de aplicación de presión constante, aplicación de contrapresión, medición de cambio de volumen y un equipo para corte directo controlados por un sistema digital de 16 canales con sistema de adquisición de datos electrónico. Todo este sistema se encuentra controlado mediante una microcomputadora; que permite controlar el proceso de los ensayos.

Actualmente, el laboratorio cuenta con 13 celdas para los ensayos triaxiales, que permite trabajar varios especímenes en forma simultánea. Adicionalmente, a los ensayos triaxiales rutinarios No Consolidado No Drenado, Consolidado No Drenado y Consolidado Drenado de compresión, también disponemos de equipos para realizar ensayos de Extensión Triaxial.

Además de ensayos, el laboratorio realiza Estudios de Mecánica de Suelos de acuerdo a la Norma NTE E-050 para el diseño de cimentaciones; y Diseño de Pavimentos, peritajes y evaluaciones forenses geotécnicas.

El personal profesional y técnico del laboratorio cuenta con más de treinta años de experiencia y está capacitado para una rápida respuesta a quienes desarrollan, ejecutan y supervisan proyectos de ingeniería civil, minería y de la industria en general, proporcionando asistencia en el área de geotecnia en forma eficaz, independiente e imparcial.

Los principales servicios que realiza el laboratorio son:

- Ensayos de mecánica de suelos para determinación de propiedades índices
- Ensayos para control de calidad de los materiales que se emplearán para la fabricación de concreto, y materiales para la construcción de pavimentos
- Ensayos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas e hidráulica de los suelos
- Estudios de Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos
- Peritajes y evaluaciones forenses geotécnicas de cimentaciones y en general consultoría relacionada a la especialidad de ingeniería geotécnica.

