



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO  
DE LOS PANELES DRYWALL**

*Angel San Bartolomé  
Ricardo del Aguila  
Ramzy Kahhat  
Daniel Lostaunau*

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECÍMENES  
CONSTRUIDOS CON PANELES POLIBLOCK  
REFORZADO**

*Angel San Bartolomé  
Hernán Velarde  
Luis Velarde  
Giancarlo Vásquez*

**EFFECTOS DE LOS ESTRIBOS SOBRE EL  
COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN  
DE LAS COLUMNAS DE CONFINAMIENTO**

*Angel San Bartolomé  
Luis Labarta*

**INFLUENCIA DEL MODELAJE ESTRUCTURAL  
EN LA ESTIMACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE  
UN EDIFICIO DE ALBAÑILERÍA ARMADA**

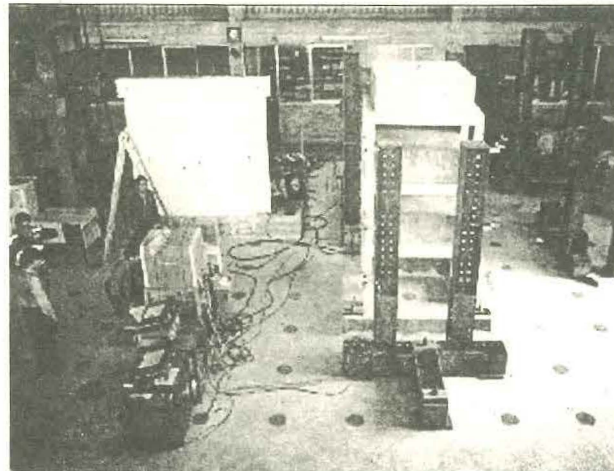
*Angel San Bartolomé  
Alejandro Muñoz  
Enrique Lazo*

*DI-SIC-2001-03, 04, 05 y 06  
Lima, abril 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



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**  
**SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL**

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECÍMENES  
CONSTRUIDOS CON PANELES POLIBLOCK  
REFORZADO**

*Angel San Bartolomé*  
*Hernán Velarde*  
*Luis Velarde*  
*Giancarlo Vásquez*

*DI-SIC-2001-04*  
*Lima, abril 2001*

# COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECIMENES CONSTRUIDOS CON PANELES POLIBLOCK REFORZADO

Por: Angel San Bartolomé, Hernán Velarde, Luis Velarde y Giancarlo Vásquez  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## RESUMEN

Como una alternativa de solución al problema de la vivienda económica de hasta dos pisos, se ejecutó un programa de investigación en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica, estudiándose el comportamiento sísmico de especímenes construidos con paneles Poliblock reforzados, en los muros y techos, obteniéndose resultados satisfactorios. Los especímenes fueron dos muros ensayados a carga lateral cíclica con carga vertical constante y un módulo de vivienda de dos pisos, a escala natural, sobre el cual se realizó una prueba de carga vertical y un ensayo de simulación sísmica en mesa vibradora.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las viviendas tradicionales de dos pisos usualmente son estructuradas con muros de albañilería confinada y techos aligerados, elementos que por su gran peso generan fuerzas de inercia elevadas durante los terremotos; de esta manera, en este proyecto, se pretende reducir estas fuerzas empleando paneles Poliblock reforzados, tanto en los muros como en los techos.

Dada la rapidez constructiva de este sistema, el objetivo de este proyecto fue investigar la posibilidad de emplearlo como sistema estructural en las viviendas, para lo cual se hicieron ensayos de carga lateral cíclica sobre dos muros sujetos a carga vertical constante, así como una prueba de carga vertical en las losas de un módulo de dos pisos, el mismo que posteriormente fue ensayado sísmicamente en mesa vibradora.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL POLIBLOCK REFORZADO

El panel presenta dos modalidades: el utilizado para muros y el empleado para techos. Las dimensiones nominales del panel para muro son: 1.20 x 2.40 m con espesores de 5 y 10 cm (sin incluir tarrajeo); este panel está compuesto por un alma de poliestireno expandido (tecnopor de 3 u 8 cm de espesor), cuyas superficies están adheridas a una capa de fibra de madera prensada y aglomerada con cemento, sobre las cuales va una malla electrosoldada de 4 mm de diámetro con cocada de 15x15 cm, conectadas transversalmente por alambres de 6 mm de diámetro, estas mallas se encuentran recubiertas de mortero de 1 pulgada de espesor. El panel empleado para techos presenta las mismas características del utilizado para muros con la diferencia que sus dimensiones son: 0.50 x 3.55 m con un espesor bruto de 10 cm (sin tarrajeo). Ver la Foto 1.

## 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 3.1. Muro 1

El Muro 1 (Fig.1) fue construido sobre una cimentación existente y tuvo la particularidad de ser un espécimen preliminar, esto es, fue ensayado con la intención de observar defectos para posteriormente establecer mejoras. El espesor del Muro 1 terminado fue 16.5 cm. Las capas de mortero 1:3 tuvieron una resistencia a compresión de 268 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad. El peso

volumétrico de este muro, excluyendo la viga solera y la cimentación, fue  $900 \text{ kg/m}^3$ , este valor es el 50% del peso volumétrico de los muros tradicionales de albañilería, lo que contribuye a disminuir las fuerzas sísmicas actuantes en una vivienda.

El Muro 1 fue sometido a una carga vertical de 2 ton para luego ser ensayado a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado (Gráfico 1) hasta alcanzar un desplazamiento lateral de 10 mm. La falla final se debió al aplastamiento del Poliblock en los alrededores de las espigas de acero, lo que produjo huelgos importantes entre las espigas y el Poliblock. Pudo notarse que las espigas no se doblaron por corte-fricción y que en las capas de mortero no se notaron fisuras verticales exteriores en las zonas donde estaban las espigas, debido a que el conjunto (exceptuando las espigas) se deslizó horizontalmente y rotó sobre la cimentación; es decir, las espigas no trabajaron. De esta manera se determinó mejorar el anclaje del refuerzo en la cimentación así como la conexión entre la malla electrosoldada y el refuerzo vertical.

En viviendas de un piso, estructuradas con muros portantes similares al Muro 1, puede emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Rigidez lateral repartida por unidad de área bruta de muro:  $k = 17.1 \text{ ton} / (\text{mm} \times \text{m}^2)$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta:  $v_m = 2.6 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta:  $v_a = 1.3 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas:  $R = 4.8$
- Distorsión angular máxima (inelástica):  $\gamma = 0.003$

### 3.2. Muro 2

Las mejoras introducidas en el Muro 2 (Fig.2) fueron: el anclaje del refuerzo vertical sobre una cimentación nueva y que las espigas, en forma de horquillas, se soldaron contra las mallas electrosoldadas en sus puntos de intersección (Fig.3). El espesor del Muro 2 terminado fue 19.5 cm y el mortero de recubrimiento tuvo una proporción volumétrica cemento-arena gruesa 1:4.

El Muro 2 fue ensayado de la misma forma que el Muro 1 (Gráfico 2), sin embargo, su comportamiento sísmico superó notoriamente al registrado por el Muro 1, soportando hasta 20 mm de desplazamiento horizontal. En viviendas de un piso, estructuradas con muros portantes similares al Muro 2, pueden emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Módulo de Elasticidad (sobre área bruta):  $E = 33,000 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Módulo de Corte (sobre área bruta):  $G = E / 2.5$
- Rigidez lateral repartida por unidad de área bruta de muro:  $k = 19.84 \text{ ton} / (\text{mm} \times \text{m}^2)$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta:  $v_m = 3.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta:  $v_a = 1.7 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas:  $R = 6$
- Distorsión angular máxima (inelástica):  $\gamma = 0.005$

### 3.3. Módulo de Vivienda de Dos Pisos

En el Módulo (Fig.4) los muros del primer piso estaban conectados a la cimentación mediante espigas en forma de horquillas compuestas por  $\phi^{3/8}$  @ 30 cm que anclaban 45 cm en cada muro y penetraban 30 cm en la cimentación (semejante al Muro 2). En el primer piso se utilizaron 8 paneles Poliblock de 4" de espesor con 4 columnas de 15 x 15 cm, reforzadas con  $2 \phi^{3/8}$  (refuerzo vertical continuo, sin estribos, ver la Fig. 5), mientras que el segundo piso estuvo

compuesto por 8 paneles Poliblock de 2" de espesor, en este piso no se emplearon columnas, ni refuerzo vertical continuo (Foto 1). Para conectar los muros de los dos entrepisos (Fig.6), se emplearon espigas, además de una vigas solera con 4  $\phi$  8 mm y estribos de  $\frac{3}{8}$ " @ 35 cm. Todas las espigas se soldaron en los puntos de intersección con las mallas.

El techo del primer piso estaba conformado por planchas Poliblock de 50 cm de ancho y 10 cm de espesor y viguetas (Foto 2) de 8 cm de base por 10 cm de peralte, reforzadas con 1  $\phi$   $\frac{3}{8}$ " @ 60 cm; en cambio, el techo del segundo piso carecía de viguetas y soleras.

Como resultado de las pruebas de carga vertical, el techo del segundo piso (carente de soleras y viguetas), soportó una sobrecarga de 60 kg/m<sup>2</sup>, inferior a la sobrecarga especificada en la Norma de Cargas E-020 (para azoteas: 100 kg/m<sup>2</sup>); en cambio, el techo del primer piso (con solera y viguetas) soportó la sobrecarga reglamentaria para viviendas (200 kg/m<sup>2</sup>).

Incluyendo sobrecargas y acabados, el Módulo resultó ser 29% más ligero que un módulo de igual geometría construido con muros de albañilería confinada; además, como resultado de los ensayos de vibración libre del módulo, el grado de amortiguamiento obtenido (10%) superó al valor que se adopta en las construcciones de albañilería (5%). Estos dos aspectos resultan beneficiosos para reducir la respuesta sísmica.

El ensayo de simulación sísmica (Foto 3) consistió en someter al módulo a 5 fases de aceleración creciente (0.19g, 0.34g, 0.63g, 0.93g y 1.3g), correspondiente al terremoto del 31 de Mayo de 1970, superando a la aceleración máxima reglamentaria (Ref.1). El tipo de falla final fue por flexión, concentrándose las fisuras en la mitad inferior del primer piso de los muros correspondientes a los ejes principales A y B (Fig.7). Cabe destacar que los muros de los ejes transversales a la dirección de movimiento (1 y 2) trabajaron al 100%, formándose fisuras horizontales que corrían a lo largo de toda su longitud, asimismo, esos muros evitaron la trituración de los talones externos de los muros de los ejes A y B.

En viviendas de dos pisos, estructuradas con muros portantes similares al primer piso del Módulo (semejantes al Muro 2), pueden emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Módulo de Elasticidad (sobre área bruta):	$E = 33,000 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de Corte (sobre área bruta):	$G = E / 2.5$
- Grado de Amortiguamiento:	$\zeta = 10\%$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta:	$v_m = 3.5 \alpha \text{ (kg / cm}^2\text{)}$
- Factor de reducción de resistencia por esbeltez de muros:	$1/3 \leq \alpha = V L / M \leq 1$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta:	$v_a = v_m / 2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas:	$R = 6$
- Distorsión angular máxima (inelástica):	$\gamma = 0.005$

Donde V = fuerza cortante, M = momento flector, L = longitud de muro. "V" y "M" provienen del análisis sísmico elástico.

Debe mencionarse que la rigidez lateral del Módulo no pudo predecirse teóricamente, esto se atribuye al debilitamiento producido por la prueba de carga vertical tanto de la losa de techo como de la interfase solera-muro, creándose microfisuras que posiblemente hayan causado pequeños deslizamientos de la losa respecto a los muros.

El techo del segundo piso (carente de soleras y viguetas), no se comportó como diafragma rígido en el ensayo de simulación sísmica. En cambio, el techo del primer piso (con solera y viguetas) funcionó aceptablemente como diafragma rígido.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos puede concluirse que las viviendas de hasta dos pisos construidas con paneles Poliblock reforzados presentan una adecuada rigidez y resistencia contra las sollicitaciones sísmicas y de gravedad, cumpliendo satisfactoriamente los requisitos especificados en la Norma Sismorresistente (Ref.1) y de Cargas (Ref.2), con excepción del techo del segundo nivel que carecía de soleras y viguetas.

Se sugiere las siguientes recomendaciones:

- a.- Para que la losa del segundo nivel funcione como diafragma rígido y pueda soportar la sobrecarga reglamentaria, se sugiere añadir viguetas y vigas soleras.
- b.- En todos los extremos de aquellos muros en los cuales no concurren muros ortogonales, se sugiere colocar mallas "U" para evitar la trituración de los talones por flexocompresión.
- c.- Debido a que el peso de los muros, así como su resistencia, es proporcionado principalmente por las capas de mortero, se sugiere que los muros del primer y segundo piso tengan el mismo espesor con la finalidad de evitar excentricidades de la carga del segundo piso.
- d.- A pesar que los muros del segundo piso del Módulo no fallaron, se recomienda prolongar las columnas empleadas en el primer piso, hasta que su refuerzo vertical ancle en las soleras del segundo nivel.
- f.- El control del espesor del tarrajeo debe mejorarse, ya que en los muros ensayados su espesor final varió demasiado: t (Muro 1) = 16.5 cm, t (Muro 2) = 19.5 cm, y t (muros del primer piso del Módulo) = 18 cm.

#### 5. REFERENCIAS

1. Normas Técnicas de Edificación E-030, Diseño Sismorresistente, ININVI 1997.
2. Normas Técnicas de Edificación E-020, Cargas, ININVI 1985.

Fig.1

Muro 1

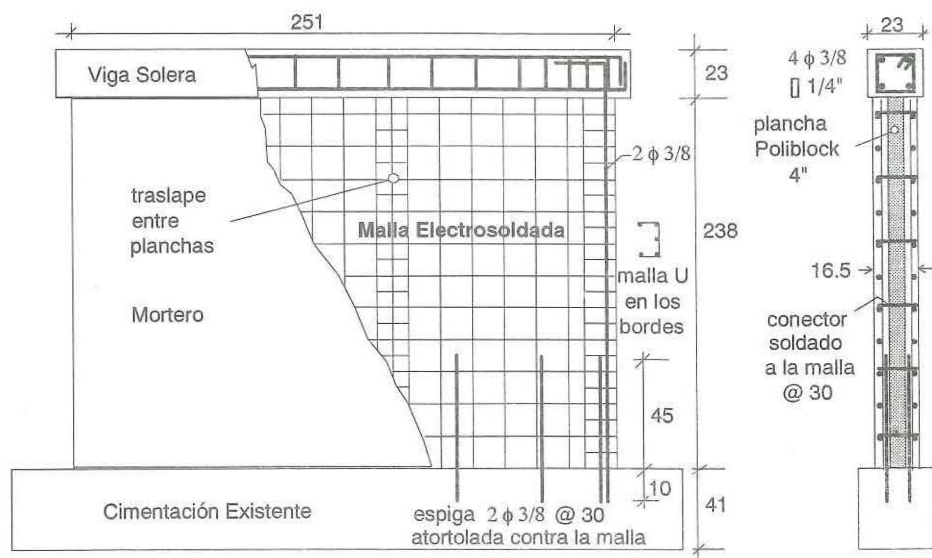


Fig.2  
Muro 2

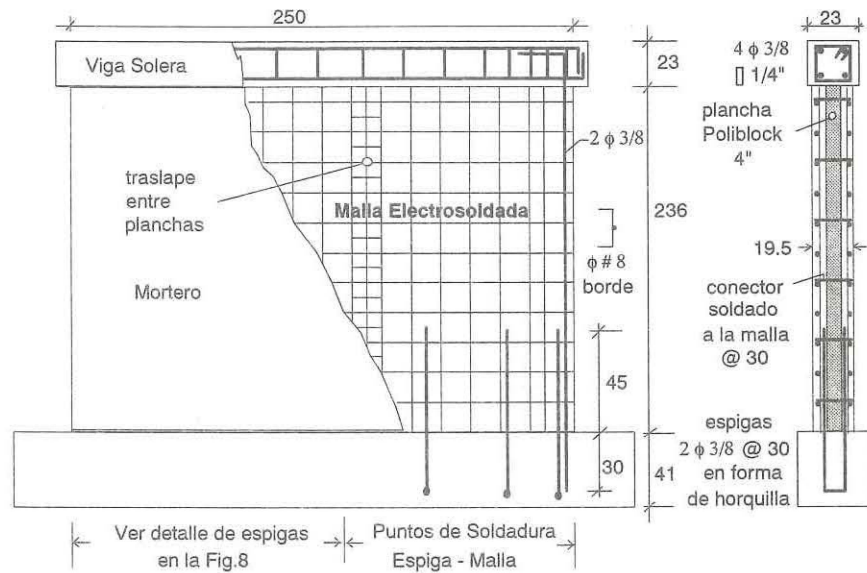
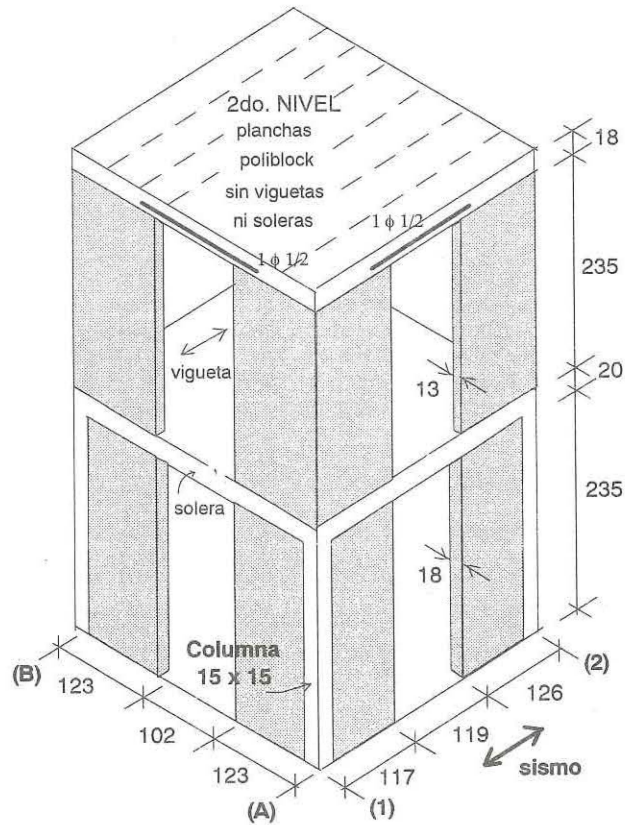


Fig.3  
Conexión espiga-malla



Fig.4  
Módulo



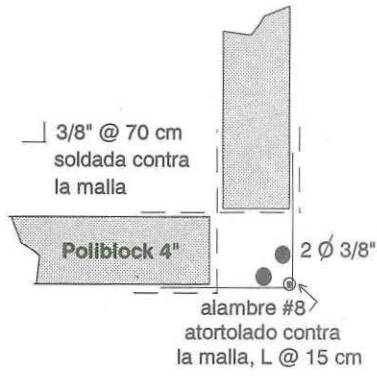


Fig. 5. Columna.

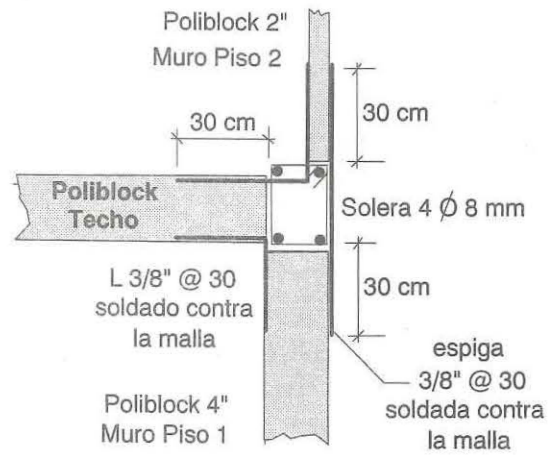


Fig.6. Conexión muro-techo

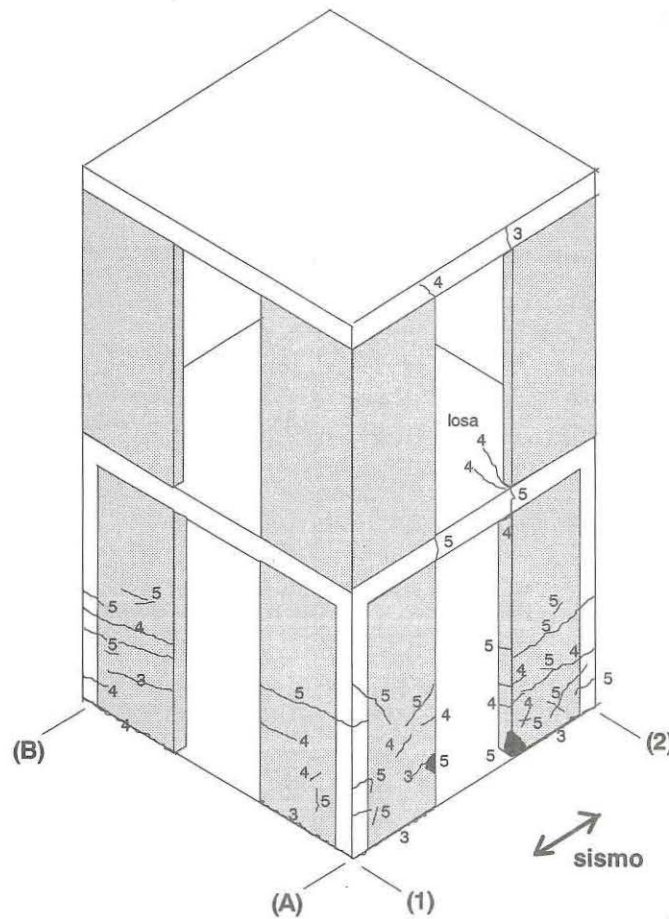


Fig.7. Fallas después del ensayo sísmico

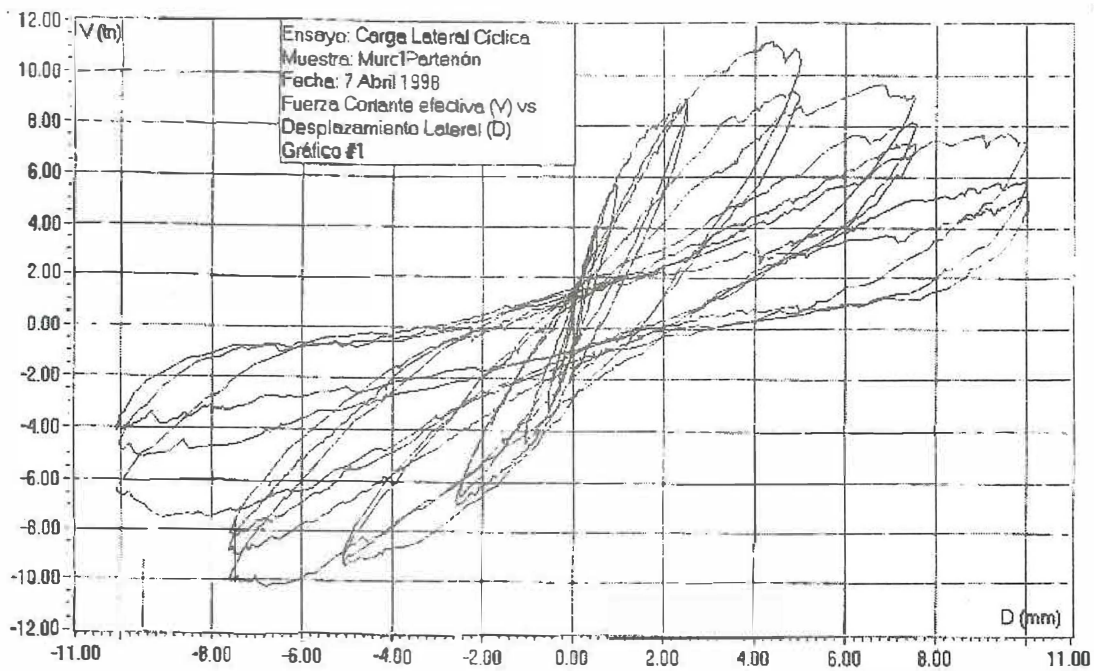


Fig.8. Cortante-Desplazamiento del Muro 1

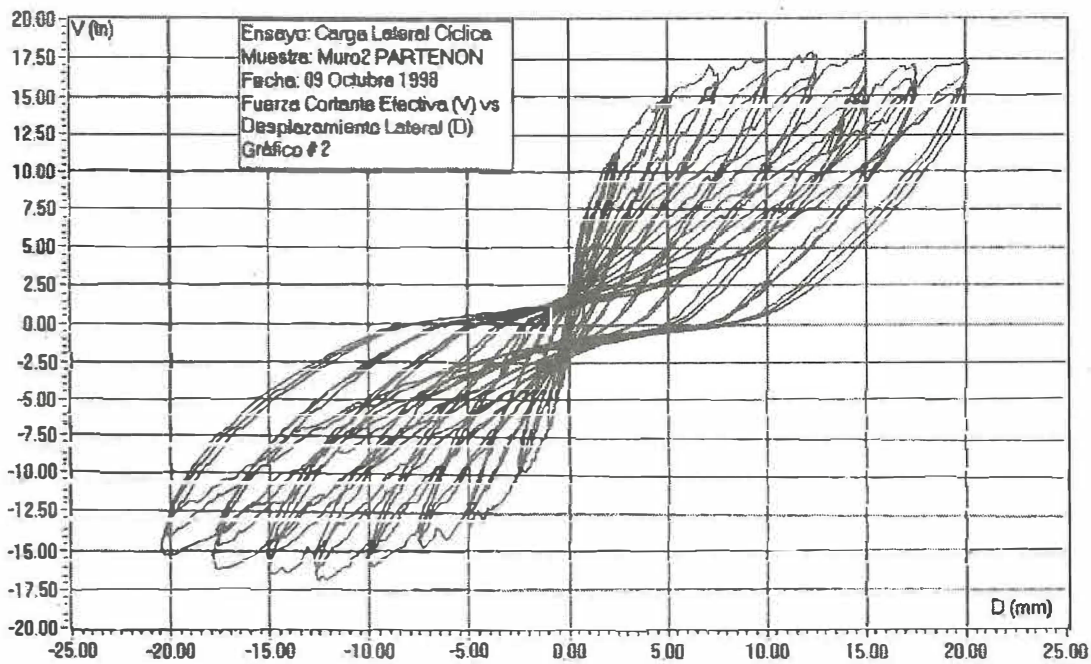


Fig.9. Cortante-Desplazamiento del Muro 2

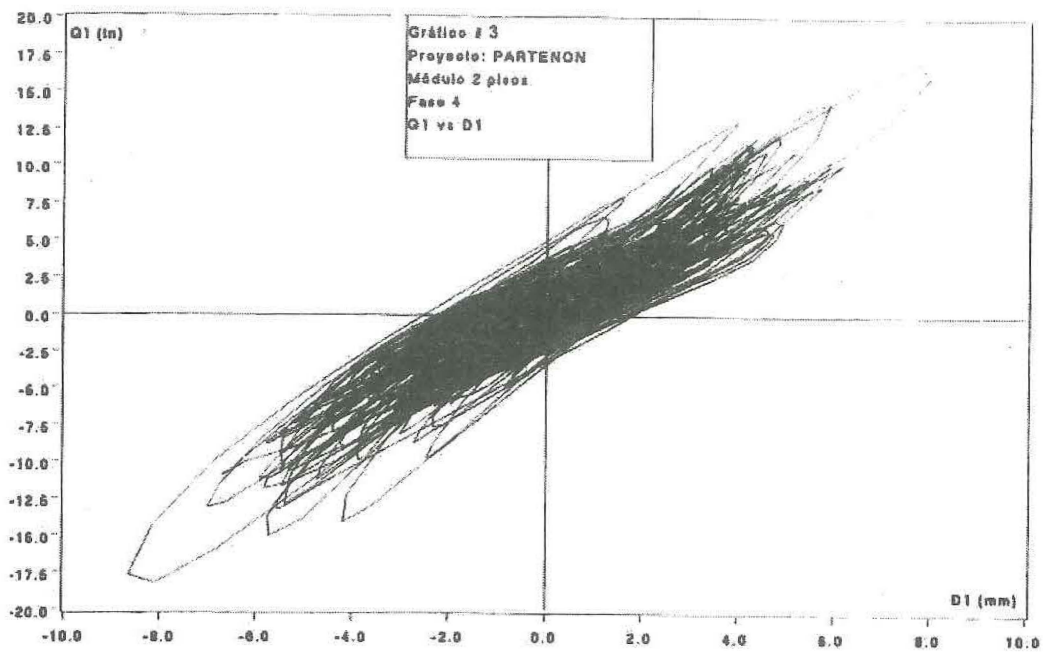


Fig.10. Cortante-Desplazamiento en el primer piso del módulo en la Fase 4

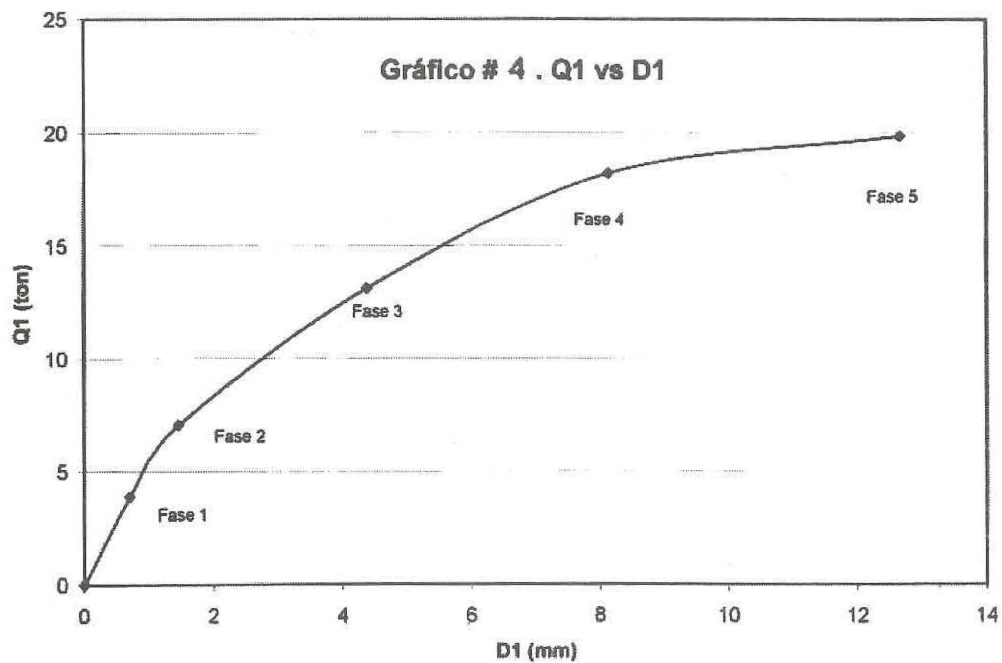


Fig.11. Envoltura Cortante-Desplazamiento del primer piso del Módulo en las 5 fases del ensayo de simulación sísmica.



*Foto 1*

*Montaje de los Paneles*



*Foto 2*

*Detalle de la conexión  
techo-muro*



*Foto 3*

*Ensayo de simulación sísmica*



## Publicaciones Recientes de la Sección Ingeniería Civil

### **Publicación DI-97-02**

Daños en estructuras de concreto armado ocasionados por el sismo de Nazca en Noviembre de 1996  
Alejandro Muñoz P., Antonio Montalbetti S., Marcos Tinman B.

### **Publicación DI-98-01**

Fuerzas de Diseño y Control de Desplazamientos en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente  
Alejandro Muñoz P.  
Febrero, 1998

### **Publicación DI-SIC-98-02**

Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E-050, Sueldos y Cimentaciones  
Manuel Olcese F., Jorge Zegarra P.  
Febrero, 1998

### **Publicación DI-SIC-99-01**

Estudio Experimental de una Técnica de reforzamiento para Edificaciones  
Existentes con problemas de columna corta.  
Proyecto de Investigación SENCICO - PUCP  
Angel San Bartolomé, Alejandro Muñoz P.,  
Daniel Quiun, Maricella Durán, César Rivera.  
Junio, 1999

### **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 Quiun  
Enero, 2001

### **Correspondencia:**

Pontificia Universidad Católica del Perú  
Departamento de Ingeniería - Sección Ing. Civil  
Apartado 1761 - Lima - Perú.

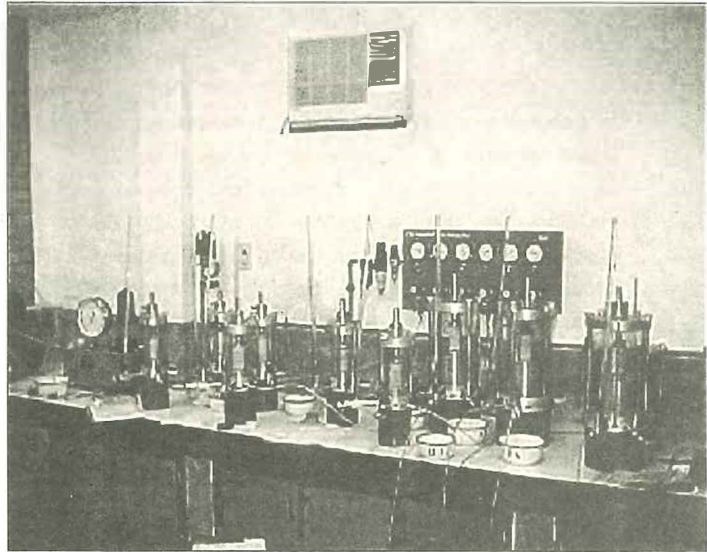
Teléfono: 51-1-460-2870 ( ext. 190)  
Fax: 51-1-463-6181

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)