



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**

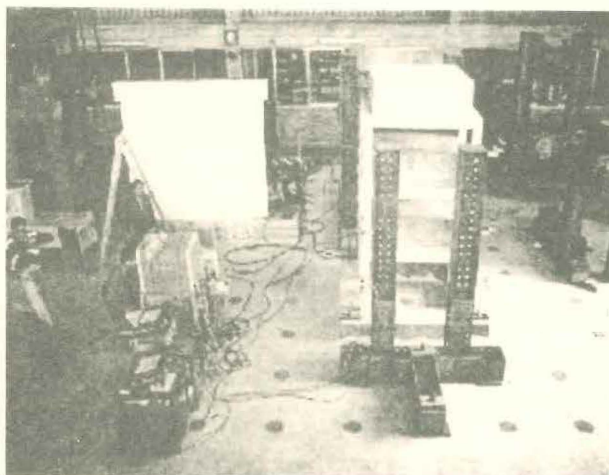
*Daniel Torrealva Dávila  
Julio Vargas Neumann*

*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

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

*Daniel Torrealva Dávila  
Julio Vargas Neumann*

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

# Impacto del sismo del 23 de junio del 2001 en el Casco Monumental de Arequipa

Daniel torrealva Dávila (\*)

Julio Vargas neumann (\*)

(\*) Profesores del departamento de ingeniería  
Pontificia Universidad católica del Perú

## 1. Antecedentes

El reciente terremoto del sur del Perú, de alta magnitud y severidad, produjo pérdidas de vida e importantes daños materiales en toda la región costera sur, parte de la cual fue duramente fustigada por un posterior maremoto de grandes proporciones.

Enclavada en las faldas del volcán El Misti, se ubica el área urbana de la histórica ciudad de Arequipa, "La ciudad Blanca", cuna de hombres notables del Perú, que encierra destacados barrios históricos de construcción colonial y republicana, propia de una sociedad mestiza cuyos valores intelectuales han sido protagónicos en la historia peruana. El impacto del evento sísmico en el casco monumental ha sido muy severo.

## 2. Descripción del Casco Histórico y los Problemas de Conservación

El área histórica, está constituida por viviendas o casonas antiguas de los siglos XVI a XX, que cuenta con un diseño urbanístico colonial básicamente reticular, donde se ubica la Plaza Principal, la Catedral, el Municipio rodeados de importantes edificios, portales, cercanas iglesias y conventos.

La propiedad de las casonas pertenecía a antiguas familias españolas y mestizas y sus dimensiones y diseño obedecían a la usanza de la época, familias numerosas, amplias áreas de servicios, ingreso de carruajes, etc.

Hoy gran parte de estas casonas están habitadas por inquilinos que las arriendan y como resultan muy grandes han sido ocupadas por mas de una familia, llegándose en muchos casos a tugurizarlas.

El mantenimiento de las casonas es mínimo o nulo y los edificios se deterioran, humedecen y erosionan, disminuyendo así su resistencia original. Los movimientos sísmicos van fisurando las estructuras y esta degradación conduce a que nuevos terremotos produzcan colapsos parciales o totales de las casonas, que son un testimonio histórico de incalculable valor.

Las instituciones internacionales de conservación son conscientes de este proceso y en su afán de ordenar y revertir este proceso han emitido señales de alerta como

la "Carta de Washington" (ICOMOS 1987) o las "Recomendaciones acerca de la salvaguardia de los conjuntos históricos o tradicionales y su rol en la vida contemporánea" (UNESCO, VARSOVIA 1976).

Estas recomendaciones, en su intento por preservar los valores de las áreas urbanas históricas, que incluyen el carácter histórico de la ciudad y el conjunto de elementos materiales y espirituales que lo expresan, llegan a identificar el problema social involucrado y de difícil solución. Sugieren para lograr eficacia, integrar la conservación con una política coherente de desarrollo económico y social.

## 2.1 Tugurios.

La mayoría de las viviendas tugurizadas del área central de Arequipa poseen de tres a más habitaciones (49.7%), teniendo en promedio un área techada de 15.8 m<sup>2</sup> promedio y con una población promedio de 4.8 miembros por familia, observando un índice de habitabilidad muy bajo de 3.3 m<sup>2</sup>/habitante/vivienda.

En el Centro Histórico hay 58 tugurios, la mayoría de los cuales corresponden a la tipología de conventillo (41.4%), siguiendo con el tipo callejón (32.7%) y finalmente corralón (25.9%). El 14.8% del total de tugurios existentes en el área central están localizados en monumentos, y el 19% de ellos están ubicados en calles que forman ambientes urbano monumentales. (Ver cuadro 1, 2 y 3)

**CUADRO 1**  
**N° TUGURIOS Y N° DE FAMILIAS**

RANGOS	N° DE TUGURIOS	N° DE FAMILIAS
Hasta 10 familias	34	201
De 11 a 25 familias	17	272
De 26 a 50 familias	5	182
De 51 a más familias	2	134
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>789</b>

Fuente: Diseño del Diagnóstico de Tugurios del Área Central-1996  
Elaboración Propia

**CUADRO 2**  
**TIPOLOGIA DE LOS TUGURIOS**

TIPOLOGIA	N° DE TUGURIOS	%
Corralón	15	25.9
Conventillo	24	41.4
Callejón	19	32.7
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>100</b>

Fuente: Diseño del Diagnóstico de Tugurios del Área Central-1996  
Elaboración Propia

**CUADRO 3**  
**REGIMEN DE LA TENENCIA DE LOS TUGURIOS**

REGIMEN DE TENENCIA	TOTAL (%)
Propia	15
Alquilada	70
Otro	15
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fuente: Diseño del Diagnóstico de Tugurios del Área Central-1996  
Elaboración Propia

La conservación de los Cascos Monumentales, no es solo un problema a resolver por un equipo interdisciplinar de arqueólogos, historiadores, arquitectos e ingenieros, sino que deben también incluir sociólogos, abogados, economistas, especialistas financieros, etc., y lo principal que planteen proyectos o planes de conservación que puedan ser recogidos por los niveles políticos locales y/o centrales del país.

En el caso de la Ciudad de Arequipa, por ejemplo, se ha logrado en los más altos niveles políticos, orientar parte de los fondos de subsidio o programas de promoción de la vivienda de interés social, a las familias damnificadas. Pero no se ha logrado por ejemplo, administrar estos fondos dando prioridad a las casonas del área histórica y la razón es muy simple: Resulta más complicado.

En efecto, los programas vigentes de promoción de vivienda, pueden elegir entre sus beneficiados a los damnificados, modificando montos de préstamo o reduciendo intereses de financiamiento, o aumentando cuotas de subsidio, pero lo que resulta mucho más complejo, es destugurizar las casonas habitadas por una heterogénea combinación de familias propietarias, inquilinas, de veteranos o jubilados, o más crudamente, con muy pocos medios económicos o carencia total de los mismos.

La restauración y conservación de los edificios históricos, requiere de medios económicos para repararlos y reconstruirlos, pero adicionalmente requerirá medios para permutar propiedades o convertir a los inquilinos en propietarios, probablemente en otros programas de vivienda.

La ocupación de los edificios de un casco monumental, debe lograr garantizar su mantenimiento y conservación patrimonial. Adecuar la ocupación es la solución y el problema previo, es que los niveles políticos lo comprendan, le den prioridad y lo ejecuten. La solución no sólo está en que lo comprendan las instituciones de conservación. La responsabilidad es gubernamental.

Este es el mensaje que nuestras futuras cartas de conservación deben enfatizar. Es necesario, pero no suficiente que los habitantes estén motivados y que por tanto participen comprometidamente en la conservación de la ciudad. Los medios de la población, económicos y técnicos, son necesarios pero no suficientes para ejecutar el requerido Plan de Conservación de un Casco Monumental.

El Plan de Conservación, debe incluir las acciones administrativas, legales y financieras, que los gobiernos ejecutarán con el apoyo de un marco de dispositivos legales, basados en la concertación de las entidades sectoriales y financieras del País. Para ello, como en el caso de los habitantes es necesario motivar y compro-

meter a estos agentes, en la conservación de las ciudades históricas.

## 2.2 Acervo Histórico Patrimonial.

En el ámbito del Centro Histórico, Zona Monumental y Zona de Transición existen numerosos monumentos declarados como patrimonio de la nación, la mayor parte de ellos y los de mayor valor están en lo que fue el damero español. Es obvio de que las edificaciones coloniales de mayor envergadura son las religiosas, ellas constituyen lo máspreciado del patrimonio arequipeño, y entre ellas destaca el Monasterio de Santa Catalina, verdadera joya de la arquitectura y el urbanismo local. Sin embargo lo que confiere al Centro Histórico de Arequipa su singularidad y su alta calidad de imagen, no son los monumentos aislados, sino la continuidad de las edificaciones domésticas con patrones unitarios. Siendo diferentes las casas, tienen aspectos comunes que dan unidad al conjunto. A continuación se señalan los aspectos cuantitativos y tipológicos. (Ver cuadro 4)

**CUADRO 4  
TIPOLOGIA DE MONUMENTO**

TIPO DE MONUMENTO	Nº	%
Monumentos Religiosos	26	9.3
Monumentos Civil - Público	10	3.6
Monumentos Militares	2	0.7
Monumentos Civil – Doméstica	241	86.4
<b>TOTAL</b>	<b>279</b>	<b>100</b>

Fuente: Estadísticas de Turismo MITINCI-Arequipa-1999

Elaboración Propia

• **Arquitectura religiosa.** Existen 14 iglesias o templos, 4 capillas, 5 conventos y 3 monasterios. Ellos son:

- Iglesia de la Compañía.
- Iglesia mayor de la Catedral.
- Iglesia de la Merced.
- Iglesia de la Recoleta.
- Iglesia de San Agustín.
- Iglesia de San Francisco.
- Iglesia de la Tercera Orden de San Francisco.
- Iglesia de San Lázaro.
- Iglesia de Santa Marta.
- Iglesia de Santa Rosa.
- Iglesia de Santa Teresa.
- Iglesia de Santa Catalina.

- Iglesia de San Antonio.
- Capilla de los Sacramentinos
- Capilla del Santo Refugio.
- Capilla de los Sagrados Corazones.
- Capilla del Solar.
- Monasterio de Santa Rosa.
- Monasterio de Santa Teresa.
- Monasterio de Santa Catalina.
- Convento de la Merced.
- Convento de la Recoleta.
- Convento de San Agustín.
- Convento de San Francisco.
- Convento de Santo Domingo.

- **Arquitectura doméstica.** Existen 246 casonas que fueron declaradas monumentos. Desgraciadamente 5 de ellas fueron demolidas y convertidas en mercadillos y playas de estacionamiento. De estas casonas algunas son verdaderas joyas, que en la actualidad sirven de sede a instituciones culturales, financieras y comerciales. Dentro de ellas se encuentran:

- Casa del Moral.
- Casa Tristán del pozo.
- Casa de la Moneda.
- Casa Goyeneche.

- **Arquitectura civil pública.** Existen 10 edificaciones que desde su origen se dedicaron a fines cívicos, ellos son:

- Teatro Fénix.
- Teatro Municipal.
- Estación del Ferrocarril.
- Hospital Goyeneche.
- Hospital de Sacerdotes de San Pedro.
- Mercado de San Camilo.
- Molino de Santa Catalina.
- Instituto Chávez de la Rosa.
- Puente Bolognesi (antiguo Puente Real).
- Puente Grau.

- **Arquitectura militar.** Arequipa fue una ciudad sin murallas y sin cuarteles. La arquitectura de origen militar son apenas dos casas de reclusión:

- La Cárcel de Siglo XX.
- El Fundo El Fierro, que fue penal de mujeres.

### 3. Características Técnicas de las edificaciones históricas

La mayor parte de los edificios históricos están contruidos con un material pétreo, constituido por el enfriamiento de lava volcánica de EL MISTI, de gran densidad y características peculiares. La matriz del material es de color blanco y contiene numerosos guijarros de color gris.

Debido a esta matriz blanca, se origina el nombre de Ciudad Blanca que recibe la Ciudad de Arequipa. Se utiliza en adoquines o bloques de esta lava, conocidos como "sillares" asentados con un mortero o material de junta que es una mezcla de la molienda del material de lava, arena gruesa, un material cementante (cal, yeso, cemento o mezclas), y agua.

La Mampostería de piedra, así constituida, tiene gran resistencia a la compresión, pero muy baja capacidad frente a los esfuerzos cortantes y de tracción, asociados a las sollicitaciones sísmicas. Una variable importante en el comportamiento de la mampostería de sillar arequipeño, es la adherencia entre bloques a través de las virtudes adherentes del mortero de junta.

Es en las juntas donde se inician y concentran las fisuras. Estas generalmente tienen patrones escalonados, siguiendo las juntas, para formar las típicas fisuras diagonales o en aspa, de las fuerzas de corte sísmico que aparecen en los muros. Pocas veces este padrón de fisuración corta los bloques mismos. Esto indica la falta de monolitismo en las paredes y techos (muchas veces abovedados) y las zonas críticas de la mampostería.

La calidad de esta mampostería es muy variable, en la medida en que lo es, la composición del mortero de junta. Desafortunadamente, las construcciones menos antiguas son más débiles. Ello se debe no solo a las propiedades reológicas de los morteros, sino a que se ha ido perdiendo en el tiempo, la tecnología que se utilizaba para elaborarlos. Se detecta un vacío importante en la investigación local para optimizar la composición y tratamiento de estos morteros, que el Dpto. de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú pretende cubrir.

Más adelante, se analizará algunos casos de fallas en Monumentos Históricos de Arequipa, contruidos, con esta mampostería.

## 4. Monumentos Históricos Afectados.

### Casona en calle Rivero # 526

Un ejemplo de vivienda afectada en el Centro Histórico es la casa ubicada en la calle Rivero # 526 la cual es una construcción típica de paredes de sillar y techos de bóveda del mismo material (Foto 01).

El ala a la derecha del patio central sufrió el colapso de los muros perimetrales con el consiguiente desplome de las bóvedas (Foto 02). El ala ubicada a la izquierda del patio central ha sufrido fisuras tanto en los muros como en los arcos. La fachada de la vivienda (al igual que muchas otras) no ha sufrido daños visibles lo cual no refleja con exactitud el daño sufrido en el centro histórico en general.

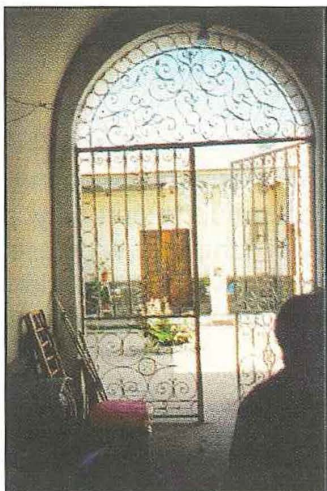


FOTO 1



FOTO2

### Iglesia Catedral

La imponente catedral, símbolo y orgullo de la Ciudad de Arequipa ha sido el monumento cultural más afectado sufriendo el desplome de la torre izquierda, quedando la torre de la derecha en una situación de equilibrio precario, a tal punto que se ha convertido en el símbolo del terremoto del 23 de junio (fotos 03 y 04).

La torre colapsada cayó dentro de la nave de la catedral produciendo el desplome de una de las cúpulas del techo (foto 05). Los arcos adyacentes a la fachada de la Iglesia han sufrido fisuras que hacen necesario su refuerzo.

La estructura principal de la Iglesia, muros y pilares no ha sufrido daño significativo.

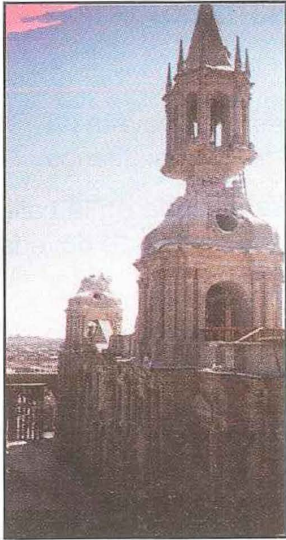


FOTO 3

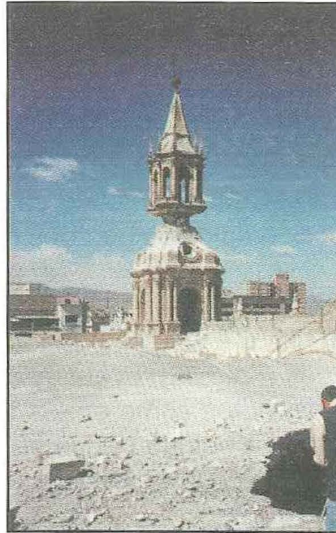


FOTO 4

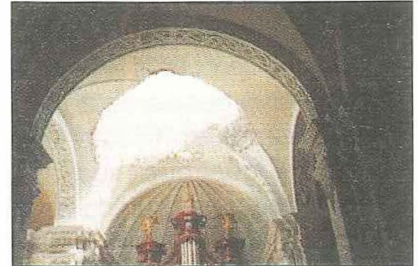


FOTO 5

### Iglesia Santa Marta

Es una edificación de una sola nave rectangular la cual tiene al lado derecho una construcción de un piso que ha ayudado ejerciendo la función de contrafuerte con mayor efectividad que el lado izquierdo de la nave donde tanto la torre y el contrafuerte de ese lado han sufrido daños importantes (foto 06 y 07). El interior de la nave no ha sufrido daños mayores salvo en la parte cercana a la fachada la cual ha sufrido diversas fisuras (foto 08).

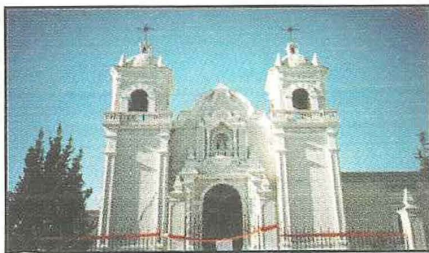


FOTO 6

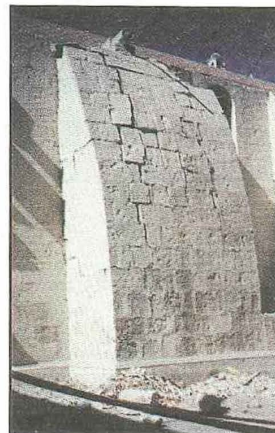


FOTO 7

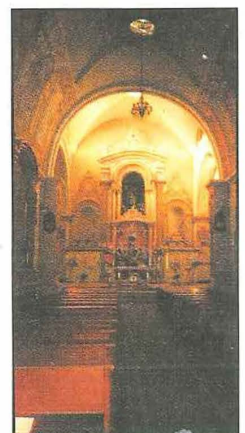


FOTO 8

## 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

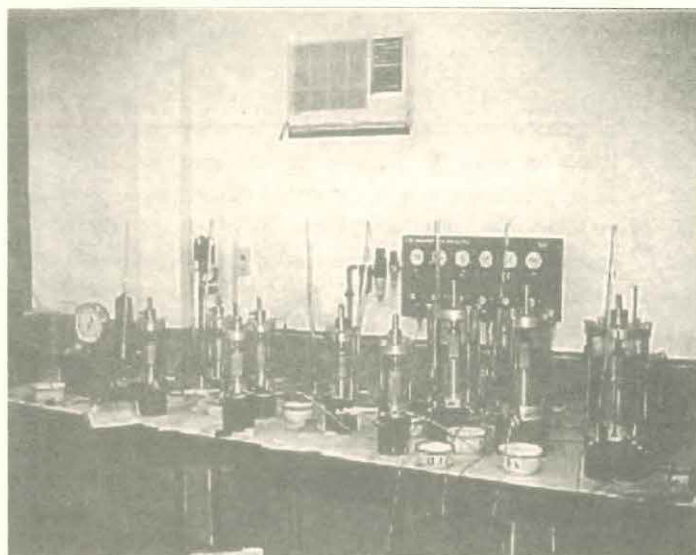
e-mail: [civil@pucp.edu.pe](mailto:civil@pucp.edu.pe)

<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)