



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

**EFFECTOS DE LA EDAD DE LOS ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA SOBRE SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y DIAGONAL**

*Angel San Bartolomé*  
*Alvaro Pérez*

**COMPORTAMIENTO A CARGA LATERAL CÍCLICA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO**

*Angel San Bartolomé*  
*Erika Vicente*  
*Rafael Mendoza*  
*Pedro Solano*

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA VIGA DE ALBAÑILERÍA Y UNA VIGA DE CONCRETO**

*Angel San Bartolomé*  
*Fabián Portocarrero*

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN PÓRTICO DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDO CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO**

*Angel San Bartolomé*  
*Alejandro Muñoz*  
*Dante Chumpitazi*

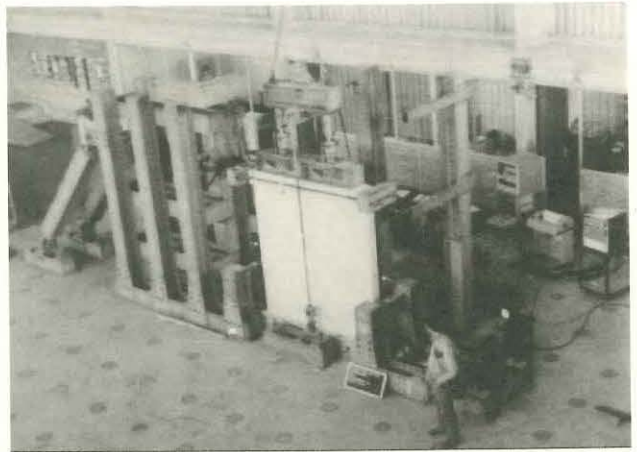
**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECÍMENES CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO TIPO GRAPA**

*Angel San Bartolomé*  
*Humberto Pehovaz*

# 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**

**EFFECTOS DE LA EDAD DE LOS ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA SOBRE SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y DIAGONAL**

*Angel San Bartolomé*  
*Alvaro Pérez*

**COMPORTAMIENTO A CARGA LATERAL CÍCLICA DE MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO**

*Angel San Bartolomé*  
*Erika Vicente*  
*Rafael Mendoza*  
*Pedro Solano*

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA VIGA DE ALBAÑILERÍA Y UNA VIGA DE CONCRETO**

*Angel San Bartolomé*  
*Fabián Portocarrero*

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN PÓRTICO DE ALBAÑILERÍA ARMADA CONSTRUIDO CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO**

*Angel San Bartolomé*  
*Alejandro Muñoz*  
*Dante Chumpitazi*

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECÍMENES CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO TIPO GRAPA**

*Angel San Bartolomé*  
*Humberto Pehovaz*



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

**EFFECTOS DE LA EDAD DE LOS ESPECÍMENES DE  
ALBAÑILERÍA SOBRE SU RESISTENCIA A  
COMPRESIÓN AXIAL Y DIAGONAL**

*Angel San Bartolomé*  
*Alvaro Pérez*

*DI-SIC-2003-01*  
*Lima, febrero 2003*

# EFFECTOS DE LA EDAD DE LOS ESPECÍMENES DE ALBAÑILERÍA SOBRE SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y DIAGONAL

Por: Ángel San Bartolomé y Alvaro Pérez

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## RESUMEN

La edad estándar para ensayar los especímenes de albañilería es 28 días, sin embargo, muchas veces se necesita realizar los ensayos a una menor edad, por lo que este proyecto tuvo el objetivo de determinar coeficientes de corrección de la resistencia a compresión axial y diagonal de la albañilería con edades de 3, 7, 14 y 21 días, que permitan predecir la resistencia asociada a la edad nominal de 28 días. Con esta finalidad se ensayaron 30 pilas y 30 muretes, empleando dos tipos de unidades de albañilería: ladrillo de arcilla y bloque de concreto vibrado.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el proyecto de norma E-070 (Ref.3) se plantea evaluar la resistencia a fuerza cortante de los muros de albañilería en función de la resistencia a compresión diagonal de muretes, allí se presenta resistencias para varios tipos de albañilería tomando como edad nominal 28 días, sin embargo, cuando en obra se pretende corroborar los resultados especificados en los planos estructurales, o cuando se utiliza una albañilería no indicada en la Ref.3, se deberá realizar ensayos de control a la edad estándar, la que se considera excesiva. Por ello es necesario que a partir de ensayos a edades menores que la nominal (3, 7, 14 y 21 días), se pueda estimar la resistencia estándar de la albañilería, para lo cual habrá que establecer factores de corrección.

Con la finalidad mencionada, se construyeron especímenes con ladrillos de arcilla y bloques de concreto, con un espesor de junta de 1 cm, empleándose mortero embolsado 1:4, a fin de que su dosificación se mantenga constante y no interfiera en los resultados. Los especímenes con bloques de concreto fueron rellenos con grout (concreto embolsado) con  $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$ .

## 2. CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Se construyeron 3 especímenes por cada edad en estudio. El proceso constructivo seguido se detallan a continuación.

### 2.1. Especímenes con Ladrillos de Arcilla

Las unidades, previamente escogidas y limpias, se regaron por un tiempo de 25 minutos un día antes del asentado, para que la succión en los ladrillos esté dentro de los límites recomendados en la Ref.1. Los muretes (Fotos 1 y 2) fueron de 60x60 cm de lado y 12 cm de espesor, mientras que las pilas tuvieron una altura equivalente a 5 hiladas (50 cm).



Foto 1  
Construcción de muretes



Foto 2  
Asentado de unidades

## 2.2. Especímenes con Bloques de Concreto

Los bloques (fabricados con una Rosacometa) se asentaron en su estado natural, previa limpieza, por lo que a la mezcla de mortero embolsado se le añadió cal hidratada y normalizada para hacerla más retentiva (Ref.2), obteniéndose una relación cemento: cal: arena de 1: ½: 4. Al día siguiente del asentado (Fotos 3 y 4), se limpiaron los alvéolos de los residuos de mortero que cayeron en su interior, para luego rellenarlos con grout compactado con una varilla (Foto 5, la edad se contabilizó a partir de este instante). Los muretes fueron de 80x80 cm de lado y 14 cm de espesor, mientras que las pilas tuvieron una altura equivalente a 3 hiladas (60 cm).

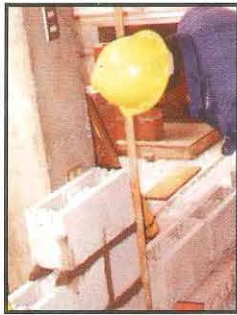


Foto 3  
Verificación de la altura de la hilada



Foto 4  
Colocación de cuerda para la alineación de la hilada



Foto 5  
Vaciado del grout

## 3. ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL

El equipo de ensayos consta de perfiles metálicos, sobre los que se montan una gata hidráulica en la esquina inferior y una celda de carga en la esquina superior diagonalmente opuesta del murete (Fotos 6 y 7). La carga se aplicó a una velocidad de 1 ton/minuto (Ref.3) hasta la rotura del murete, luego la carga última fue dividida entre el área bruta de la diagonal cargada, para así obtener la resistencia a compresión diagonal de cada murete (vm).



Foto 6  
Equipo de ensayo en muretes con bloques de concreto

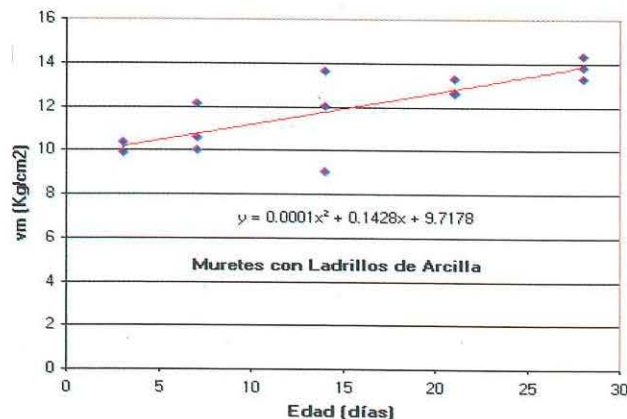


Foto 7  
Equipo de ensayo en muretes con ladrillos de arcilla

### 3.1. Muretes con Ladrillos de Arcilla

En la Fig.1 se muestra la variación de la resistencia “vm” con la edad del espécimen, así como la curva de ajuste (línea de tendencia) respectiva.

Fig.1  
Resultados de Ensayos de Compresión Diagonal de Muretes con Ladrillos de Arcilla



Luego, utilizando la ecuación correspondiente a la línea de tendencia, se obtuvieron las resistencias para cada edad, las que relacionadas con la resistencia asociada a los 28 días, constituyen los coeficientes de corrección que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1  
Coeficientes de Corrección por Edad de los Muretes con Ladrillos de Arcilla

Edad (días)	3	7	14	21	28
Resistencia en la línea de tendencia	10.15	10.77	11.74	12.76	13.79
Factores de corrección de resistencia	1.35	1.25	1.15	1.05	1.00

En la Fig.1 se aprecia que la resistencia crece con la edad, debido al incremento de la adhesión entre el mortero y las unidades, lo que se reflejó en el modo de falla: desde una falla por adherencia en la interfase ladrillo-mortero en los primeros días de edad (Foto 8), hasta una falla por tracción diagonal, atravesando los ladrillos, a los 28 días de edad (Foto 9).



Foto 8  
Murete con ladrillo de arcilla. Edad: 3 días



Foto 9  
Murete con ladrillo de arcilla. Edad: 28 días

### 3.2. Muretes con Bloques de Concreto

Por problemas ocurridos con los materiales empleados en la construcción de los especímenes con 28 días de edad, que dieron lugar a resistencias muy bajas, los especímenes originales fueron reemplazados por un espécimen teórico cuya resistencia fue adoptada agregando 5% a la resistencia promedio de los especímenes con 21 días de edad, luego empleando la ecuación de la línea de tendencia (Fig.2), las resistencias para las distintas edades se determinaron para después hallar los factores de corrección que aparecen en la Tabla 2.

Fig.2  
Resultados de Ensayos de Compresión Diagonal de Muretes con Bloques de Concreto

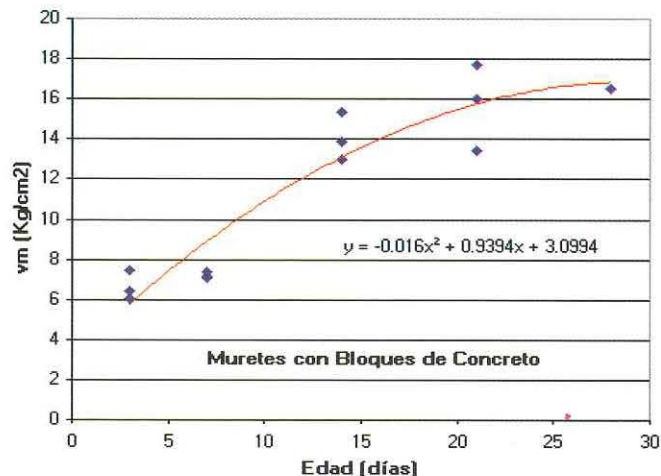


Tabla 2  
Coeficientes de Corrección por Edad de Muretes con Bloques de Concreto

Edad (días)	3	7	14	21	28
Resistencia en la línea de tendencia	5.77	8.89	13.11	15.77	16.85
Factores de corrección de resistencia	2.90	1.85	1.25	1.05	1.00

La resistencia estuvo determinada en gran parte por la adherencia entre las unidades, el mortero y el grout. La falla en los muretes de menor edad se presentó de manera escalonada (Foto 10), mientras que en los muretes de mayor edad, la falla fue diagonal (Foto 11), debido a que la adherencia bloque-mortero-grout, y por lo tanto la resistencia del murete, se incrementó.

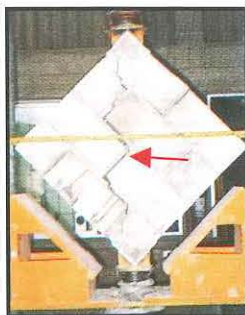


Foto 10  
Murete de Bloques  
de 3 días

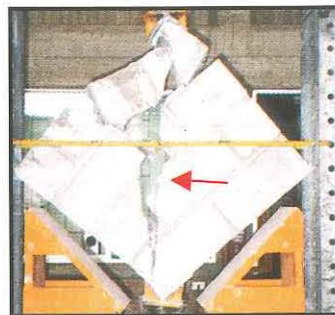


Foto 11  
Murete de Bloques  
de 21 días

#### 4. ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL

El equipo de ensayo consistió de una gata colocada en la parte inferior y una celda de carga en la parte superior, montadas sobre un marco compuesto por perfiles metálicos (Fotos 12 y 13).

La velocidad de carga fue de 5 ton/minuto (Ref.3). El ensayo se realizó hasta la rotura de la pila, anotándose en cada caso la carga última, la que dividida entre el área transversal bruta proporciona la resistencia a compresión axial de cada pila ( $f_m$ ).

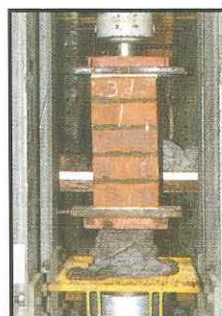


Foto 12  
Pilas con ladrillos de  
arcilla



Foto 13  
Pilas con bloques de  
concreto

##### 4.1. Pilas con Ladrillos de Arcilla

A partir de los resultados de los ensayos se obtuvo la Fig.3, con su línea de tendencia respectiva.

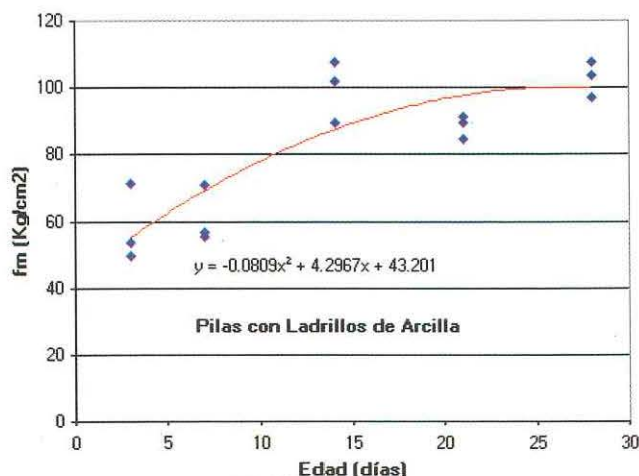


Fig.3  
Resultados de ensayos de  
compresión axial en pilas  
con ladrillos de arcilla

Luego, utilizando la ecuación correspondiente a la línea de tendencia, se obtuvieron las resistencias para cada edad, las que relacionadas con la resistencia asociada a los 28 días, constituyen los coeficientes de corrección que aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3  
Coeficientes de Corrección por Edad de las Pilas con Ladrillos de Arcilla

Edad (días)	3	7	14	21	28
Resistencia en la línea de tendencia	55.36	69.31	87.50	97.75	100.08
Factores de corrección de resistencia	1.80	1.40	1.15	1.00	1.00

La falla en las pilas se produce por la interacción ladrillo-mortero. Al comprimirse la pila, el mortero que es menos rígido que el ladrillo, se expande lateralmente en mayor proporción, pero, como debe existir compatibilidad de desplazamientos laterales, se producirán tracciones laterales en el ladrillo que originan grietas verticales en la pila. En la Fig.3 se aprecia el incremento de la resistencia conforme se incrementa la edad de la pila.



Foto 12  
Pila de ladrillos de arcilla de 28 días

#### 4.2. Pilas con Bloques de Concreto

Tal como se explicó en el acápite 3.2, los resultados correspondientes a las pilas con 28 días de edad tuvieron que descartarse, reemplazándolos en este caso por una pila teórica con resistencia 5% mayor que el valor promediado de las pilas con 21 días de edad. En la Fig.4 aparece la línea de tendencia respectiva y en la Tabla 4 los factores de corrección.

Fig.4  
Resultados de Ensayos de Compresión Axial en Pilas con Bloques de Concreto

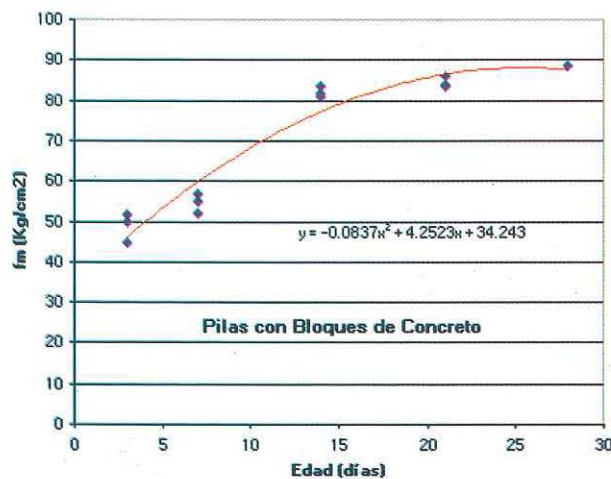


Tabla 4  
Factores de Corrección por Edad de las Pilas con Bloques de Concreto

Edad (días)	3	7	14	21	28
<b>Resistencia en la línea de tendencia</b>	46.25	59.91	77.37	86.63	87.69
<b>Factores de corrección de resistencia</b>	1.85	1.45	1.10	1.00	1.00

En este caso la falla es una combinación de los efectos producidos tanto en las juntas de mortero como en el grout. El mortero ocasiona el mismo efecto que en las pilas con ladrillos de arcilla: agrietamiento vertical, mientras que el grout al ser comprimido se expande lateralmente provocando el desprendimiento de las caras laterales de los bloques (Fotos 13 y 14). Por lo tanto, el incremento en la resistencia de la pila se debe al incremento de la rigidez y resistencia del mortero y del grout.

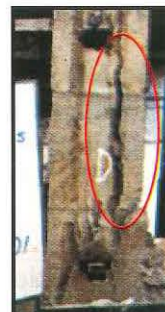


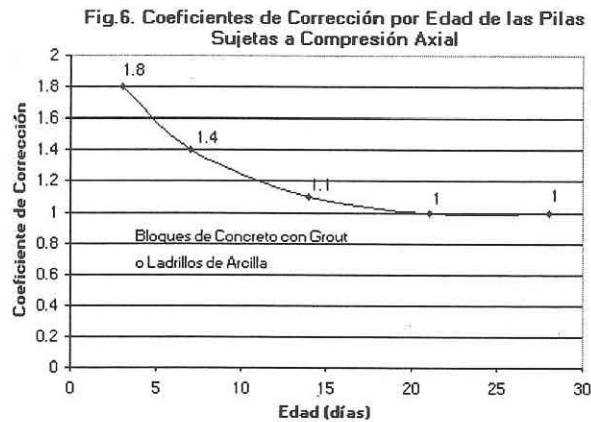
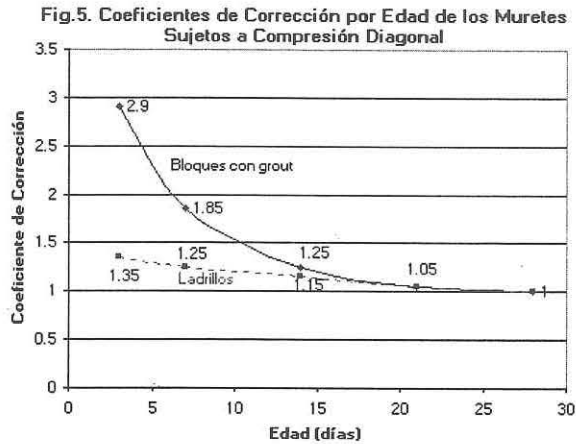
Foto 13  
Pila de Bloques  
Edad: 28 días



Foto 14  
Pila de Bloques  
Edad: 21 días

## 5. CONCLUSIONES

- Como era obvio, las resistencias a compresión axial de las pilas y a compresión diagonal de los muretes, se incrementan con la mayor edad del espécimen. Sin embargo, los factores de corrección para normalizar la resistencia a una edad nominal de 28 días no son únicos, sino que dependen del tipo de ensayo (Figs. 5 y 6), y en el caso del ensayo de compresión diagonal, dependen además del tipo de unidad de albañilería que se utilice (Fig.5).



- En la Fig.5 se observa que la albañilería con ladrillos de arcilla adquiere a los 3 días de edad un gran porcentaje (74%) de su resistencia a fuerza cortante nominal, a diferencia del 34% alcanzado por la albañilería con bloques de concreto vibrado rellenos con grout.
- En la Norma E-070 vigente (Ref.4), se especifica que la resistencia a compresión axial de las pilas ensayados a los 7 días de edad, puede incrementarse en un factor de 1.1 para obtener la resistencia a la edad nominal de 28 días, en este proyecto se obtuvo para los 7 días de edad un factor de 1.4 que difiere 27% respecto al especificado en la Ref.4.
- En las Figs.5 y 6, se observa que a partir de una edad de 14 días, los factores de corrección tratan de uniformizarse, mientras que para edades menores (3 y 7 días, donde incluso el manipuleo para aplicar el capping puede afectar al espécimen) estos factores son muy elevados. Adicionalmente, en los ensayos de compresión diagonal pudo observarse que la forma de falla dependía de la edad del espécimen (Fotos 8 vs.9 y 10 vs. 11). Por estas razones se concluye que la edad mínima que deben tener los especímenes de albañilería (pilas o muretes) es 14 días.

- **Coefficientes de Corrección de Resistencia**

En la Tabla 5 se presenta los factores de corrección con la finalidad de escalar resultados de ensayos realizados a edades menores que la nominal, pero mayores que 14 días, ya que como se indicó en la conclusión anterior, los resultados para las edades de 3 y 7 días no son confiables.

Tabla 5  
Factores de Corrección de Resistencia por Edad de Pilas y Muretes

EDAD		14 días	21 días
<b>Muretes en Compresión Diagonal</b>	<b>Ladrillos de Arcilla</b>	1.15	1.05
	<b>Bloques de Concreto</b>	1.25	1.05
<b>Pilas en Compresión Axial</b>	<b>Ladrillos de Arcilla y Bloques de Concreto</b>	1.10	1.00

- **Línea Futura de investigación**

Es recomendable realizar más ensayos para así obtener mejores valores de los factores de corrección por edad de las probetas, ya que en este trabajo se tuvo el inconveniente de no contar con una mayor cantidad de materiales, por lo que la muestra para cada edad fue pequeña (3 especímenes), mientras que en la Ref.3 se especifica 5 especímenes por cada tipo de ensayo.

En el caso de los especímenes con bloques de concreto vibrado, fabricados con una máquina Rosacometa, se recomienda realizar ensayos utilizando unidades que no presenten las irregularidades que tuvieron las empleadas en este trabajo (con superficies de asentado muy diferentes, una lisa y la otra rugosa), que afectaron la adherencia bloque-mortero; aparte que los especímenes con 28 días de edad habían sido construidos con materiales defectuosos (bolsas de mortero y de grout caducadas), por lo que esos resultados fueron eliminados reemplazándolos por un espécimen teórico que siguiendo la línea de tendencia obtenida con los especímenes de 3, 7, 14 y 21 días de edad, le correspondía una resistencia aproximadamente igual a 1.05 veces la resistencia promedio asociada a los especímenes con 21 días de edad.

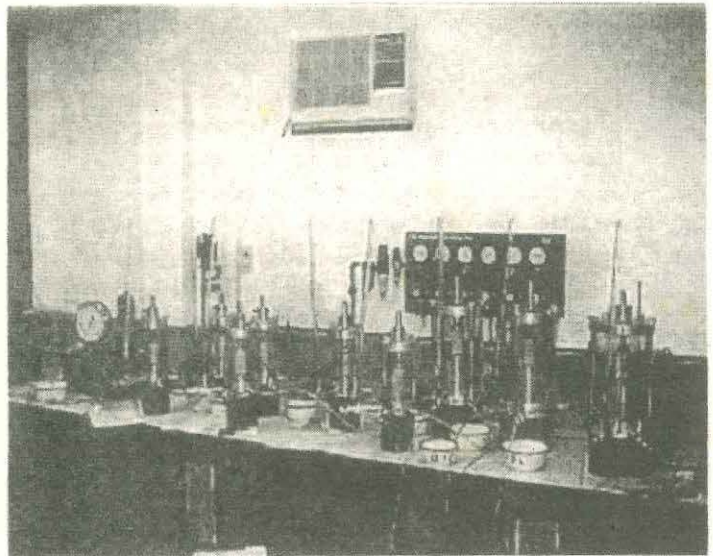
## 6. REFERENCIAS

1. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural, por Ángel San Bartolomé. Fondo Editorial PUCP, 1994.
2. Albañilería Estructural, por Héctor Gallegos. Fondo Editorial PUCP, 1990.
3. Propuesta de Norma de Albañilería E-070. Presentado por Ángel San Bartolomé a SENCICO en 1999. Documento en revisión por el Comité Técnico de Albañilería.
4. Norma Peruana de Albañilería E-070. ININVI, 1982.

# 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)