

# MEJORA DE LA ADHERENCIA BLOQUE-MORTERO

Por: Angel San Bartolomé, César Romero y Juan Carlos Torres  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## RESUMEN

Con el objeto de mejorar la adherencia entre el mortero y los bloques de concreto vibrado, mediante el empleo de aditivos (líquido y en polvo), se realizaron ensayos de compresión axial y de compresión diagonal en prismas de albañilería, lográndose mejoras significativas en la adherencia cuando se utilizó aditivo en polvo en el mortero, sin que se altere la resistencia a compresión de la albañilería. El proyecto se ejecutó en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica y fue financiado parcialmente por la empresa Firth Industries Perú S.A.

## 1. INTRODUCCIÓN

La adherencia entre los bloques de concreto vibrado y el mortero se ve desmejorada cuando el mortero endurece rápidamente debido a la succión de los bloques, por lo que tradicionalmente se adiciona cal aérea hidratada al mortero, para que éste retenga el agua un mayor tiempo, sin embargo, el problema de la adherencia bloque-mortero continúa persistiendo (Ref.3).

La alternativa estudiada en este proyecto para mejorar la adherencia bloque-mortero consistió en emplear morteros aditivados, para lo cual se utilizaron los aditivos existentes en el mercado local (líquido y en polvo) en reemplazo de la cal. Adicionalmente, otra alternativa analizada fue la de reducir la succión de los bloques humedeciendo sus caras de asentado con una brocha con agua, e hidratar al cemento del mortero humedeciendo las juntas horizontales y verticales con una brocha, tres horas después de haberse construido la albañilería.

Por otro lado, conociéndose que los ensayos de compresión diagonal en muretes cuadrados miden en forma indirecta la adherencia bloque-mortero (Ref.3), se adoptó esta técnica de ensayo para analizar los parámetros (P) que aparecen en la Tabla 1, adoptándose al parámetro PI (técnica tradicional de construcción) como patrón de comparación.

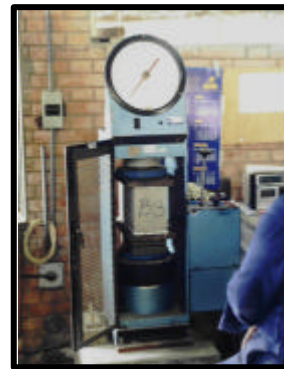
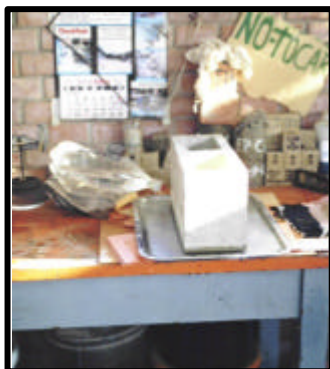
| TABLA 1. PARÁMETROS ANALIZADOS |   |
|--------------------------------|---|
| <b>PI</b>                      | Método tradicional de construcción. Bloques secos y mortero con cal.  |
| <b>PII</b>                     | Bloques humedecidos con brocha y mortero con cal. Las juntas de mortero se curaron con una brocha 3 horas después de haber construido la albañilería. |
| <b>PIII</b>                    | Bloques secos y mortero con aditivo líquido Flex-Con en reemplazo de la cal.  |
| <b>PIV</b>                     | Bloques secos y mortero con aditivo en polvo (mezcla de Vinnapas 5010 con Culminal 8564) en sustitución de la cal.                                    |

Por cada parámetro se construyeron 4 muretes de 80x80 cm, 3 pilas con una altura de 60 cm y 5 probetas cúbicas de mortero (5 cm de lado). Las pilas y las probetas cúbicas se ensayaron a compresión, para determinar si la resistencia a compresión se alteraba por el uso de aditivos.

## 2. BLOQUE DE CONCRETO VIBRADO

El bloque de concreto vibrado es una unidad de albañilería modular, compuesta por una mezcla de cemento Pórtland, arena graduada, confitillo (piedra de ¼”) y agua, donde las proporciones de los componentes varían de acuerdo a la resistencia que se desee. En este proyecto se utilizaron bloques de concreto Firth-Serie 15 (Foto 1), con dimensiones 39 x 19 x 14 cm y 50% de área de vacíos (dos celdas).

**FOTO 1**  
*Bloque de concreto vibrado. Ensayos de succión (izquierda) y compresión (derecha).*



Adicionalmente a los ensayos de clasificación normalizados (variación de dimensiones, compresión, absorción y succión), se realizó un ensayo de succión luego de haber humedecido con una brocha la superficie de asentado del bloque. Los resultados aparecen en la Tabla 2.

| TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE                       |                                    |        |        |
|---|------------------------------------|--------|--------|
| Variación de dimensiones                                  | Largo                              | Ancho  | Altura |
|   | 0.17 %                             | 0.34 % | 0.54 % |
| Resistencia a compresión ( $f'_{b}$ )<br>sobre área bruta | 67 kg/cm <sup>2</sup>              |        |        |
| Absorción   | 6.7 %                              |        |        |
| Densidad  | 2220 kg/m <sup>3</sup>             |        |        |
| Succión natural   | 15.7 gr / 200 cm <sup>2</sup> -min |        |        |
| Succión. Bloque humedecido                                | 12.1gr / 200 cm <sup>2</sup> -min  |        |        |

De la Tabla 2 se desprende que el bloque cumple con los requisitos para ser considerado como tipo P según la Ref.1, es decir, puede ser usado en la construcción de muros portantes. Respecto a los prismas construidos según el parámetro PII, debe indicarse que el humedecimiento de las caras de asentado de los bloques no era necesario, porque la succión natural estuvo comprendida dentro de los límites especificados por la Ref.1 (10 a 20 gr / 200 cm<sup>2</sup> -min).

## 3. MORTERO

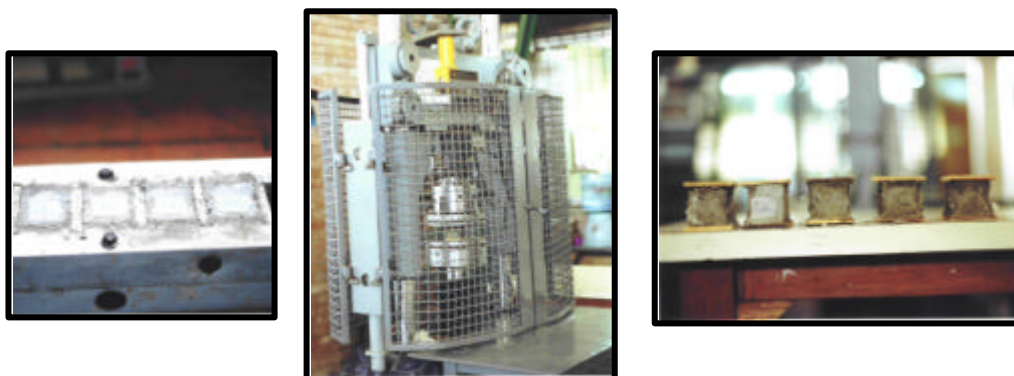
Para los cuatro parámetros en estudio (Tabla 1), se mantuvo constante la proporción volumétrica cemento-arena gruesa (1 : 3). Esta proporción corresponde a la especificada por los fabricantes de los aditivos, mientras que generalmente se utiliza la proporción 1: ½: 4 (cemento-cal-arena). En el caso de los especímenes PI y PII, se agregó ¼ de volumen de cal aérea hidratada a la

mezcla 1:3, en tanto que para los especímenes PIII y PIV, la cal fue reemplazada por el aditivo respectivo. En los cuatro casos, el mortero fue preparado en una mezcladora.

El aditivo líquido empleado se denomina **Flex-Con**, este aditivo es de base acrílica y es formulado para mejorar la adherencia y aumentar las resistencias mecánica y química, tanto en morteros para reparación como en concreto. Este aditivo se usó en la construcción de los especímenes PIII, para lo cual se le diluyó en el agua de la mezcla en una relación aditivo-agua 1:6, que fue menos concentrada a la especificada por el fabricante (1:3) para morteros de reparaciones, donde se requiere mayor resistencia. Cabe indicar que una desventaja de este aditivo es que una vez que se ha preparado el mortero, el tiempo de uso es media hora.

El aditivo en polvo, empleado en la construcción de los especímenes PIV, está compuesto por dos componentes: Vinnapas y Culminal. El componente **Vinnapas 5010** es un polímero que se complementa con el cemento, y es responsable de mejorar la adherencia bloque-mortero. El componente **Culminal 8564** es una celulosa que mejora la retención de agua evitando que el mortero endurezca rápidamente, este componente aumenta la trabajabilidad y la plasticidad del mortero. El mezclado del aditivo con el cemento y la arena primeramente se realizó en seco en una mezcladora, con la siguiente dosificación en peso: 22.9% de cemento, 75% de arena, 0.1% de Culminal (celulosa), 2% de Vinnapas (polímero), para luego agregar agua.

**FOTO 2**  
*Cubos de mortero.*



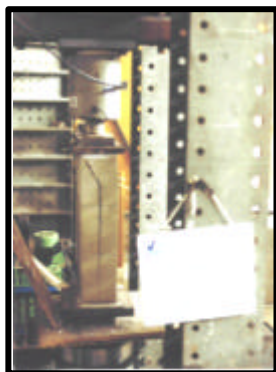
Para determinar la resistencia a compresión del mortero, se fabricaron 5 probetas cúbicas (5 cm de lado, Foto 2) por cada parámetro en estudio. Estas probetas se curaron en agua durante 28 días, para luego ser ensayadas; los resultados aparecen en la Tabla 3. Se determinó que la resistencia a compresión del mortero se reduce drásticamente al emplear aditivos, en comparación con el caso donde sólo se usa cal. Estos resultados deben tomarse como referenciales ya que lo más importante es la resistencia de la albañilería (acápite 4).

| <b>TABLA 3. ENSAYOS DE COMPRESIÓN DEL MORTERO (kg/cm<sup>2</sup>)</b> |                 |             |            |
|---|-----------------|-------------|------------|
| <b>PARÁMETRO</b>  | <b>PI y PII</b> | <b>PIII</b> | <b>PIV</b> |
| <b>PROMEDIO</b>   | 361             | 241         | 162        |
| <b>DESV. ESTÁNDAR</b>   | 43 (12%)        | 31 (13%)    | 7 (4%)     |
| <b>RESISTENCIA</b>  | <b>318</b>      | <b>210</b>  | <b>155</b> |

#### 4. ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS

Por cada parámetro en estudio (Tabla 1), se construyeron 3 pilas compuestas por 3 bloques enteros, asentados uno sobre otro sin traslaparlos ni rellenarlos con concreto fluido (grout). Estas pilas tuvieron una altura de 60 cm y un espesor de 14 cm, lo que proporciona una esbeltez de 4.3, por lo que según la Ref.1, las resistencias fueron corregidas por un factor de 0.97.

Luego de cumplirse 28 días de edad, las pilas se ensayaron a compresión axial (Foto 3) a una velocidad de carga de 5 ton/min (Ref.1), lo que permitió obtener la resistencia característica a compresión de la albañilería ( $f'm$ ) sobre área bruta. Los resultados aparecen en la Tabla 4.



**FOTO 3**

*Ensayo de compresión axial de pilas.*

| TABLA 4. ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS   |  |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|
| PARÁMETRO   | P I  | P II  | P III | P IV  |
| <p><b>Nota:</b><br/>la resistencia unitaria se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta, además fue corregida por esbeltez</p> | PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )                         |       |       |       |
|   | 56.21  | 57.61 | 53.13 | 61.57 |
|   | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg/cm <sup>2</sup> )              |       |       |       |
|   | 3.38   | 3.18  | 2.77  | 3.42  |
|   | DISPERSIÓN PORCENTUAL DE RESULTADOS                    |       |       |       |
|   | 6%   | 6%    | 5%    | 6%    |
|   | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA $f'm$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |       |       |
|   | 53   | 54    | 50    | 58    |

En la Tabla 4 puede observarse que los resultados ( $f'm$ ) no presentan mayor variación entre uno y otro parámetro, contrario a lo que ocurrió con las probetas cúbicas de mortero (Tabla 3), donde los aditivos redujeron drásticamente la resistencia a compresión del mortero; quizás esto puede deberse a que las probetas cúbicas de mortero se curaron en una poza de agua durante 28 días a diferencia de las pilas, o también a que el mortero aditivado necesitaba entrar en contacto con los bloques para que eleven su resistencia (Ref.2), mientras que las probetas cúbicas fueron preparadas en moldes metálicos impermeables (Foto 2).

Se concluye entonces que la resistencia a compresión de la albañilería ( $f'm$ ) no se ve afectada por el uso de aditivos en el mortero (parámetros PIII y PIV), ni por el empleo de bloques humedecidos en la superficie de asentado o por el curado de las juntas (parámetro PII).

## 5. ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES

Por cada parámetro (Tabla 1), se construyeron 4 muretes cuadrados de 80 cm de lado y 14 cm de espesor, con las celdas vacías (sin grout). Se usaron bloques enteros y medios bloques de modo de traslaparlos entre las hiladas consecutivas y darle al murete el mismo aparejo que se emplea en los muros reales. Las juntas horizontales de mortero cubrieron los bordes longitudinales de los bloques, mientras que las verticales fueron cintas de mortero aplicadas en los bordes de las tapas extremas de cada bloque (Foto 6); ambas juntas tuvieron 1 cm de grosor.

Luego de cumplirse 28 días de edad, los muretes fueron ensayados a compresión diagonal, con una velocidad de carga igual a 1 ton/min (Ref.1). Los resultados aparecen en la Tabla 5, debiéndose indicar que la resistencia característica a compresión diagonal ( $v'm$ ) fue calculada restando una desviación estándar a la resistencia promedio; este valor es empleado en la Ref.1 para predecir la resistencia al corte en los muros a escala natural.

Por otro lado, cabe destacar que cuando la falla del murete es escalonada (a través de las juntas, Foto 6), la adherencia bloque-mortero es pequeña al igual que la resistencia  $v'm$ , mientras que cuando la falla corta los bloques (Foto 7), la adherencia bloque-mortero es alta al igual que la resistencia  $v'm$ . Esta fue la razón por la que se seleccionó la técnica de ensayos de compresión diagonal en este proyecto.

| TABLA 5. ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES  |  |             |             |             |
|---|--|-------------|-------------|-------------|
| PARÁMETRO   | P I  | P II        | P III       | P IV        |
| <b>Nota:</b><br>la resistencia unitaria se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal | PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )                         |             |             |             |
|   | 6.14   | 5.59        | 2.88        | 8.85        |
|   | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg/cm <sup>2</sup> )              |             |             |             |
|   | 0.29   | 0.34        | 0.32        | 0.81        |
|   | DISPERSIÓN PORCENTUAL DE RESULTADOS                    |             |             |             |
|   | 5%   | 6%          | 11%         | 9%          |
|   | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA $v'm$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |             |             |             |
|   | <b>5.85</b>  | <b>5.25</b> | <b>2.56</b> | <b>8.04</b> |

Relacionando los resultados obtenidos (Tabla 5, Fotos 4 a 7, y Gráfico 1) respecto al patrón de comparación (PI, técnica de construcción tradicional), se tiene:

- En el caso del parámetro II (bloques y juntas humedecidas), la resistencia  $v'm$  se redujo ligeramente (10%), lo que implica que el cambio en el proceso constructivo no originó ninguna mejora en la adherencia bloque-mortero. Esto era de esperarse debido a que la succión del bloque en su estado original (Tabla 2) estuvo comprendida dentro de los límites exigidos por la Ref. 1 (10 a 20 gr/200cm<sup>2</sup>-min), y cuando se humedeció al bloque, la succión disminuyó hasta alcanzar un valor cercano al límite inferior especificado por la Ref.1.

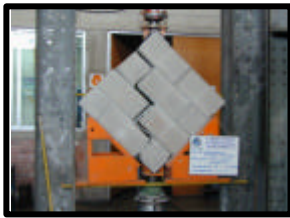
- La situación más desfavorable correspondió al Parámetro III (aditivo líquido), ya que la resistencia  $v'm$  se redujo en 56% y el tipo de falla fue escalonada (Foto 6). Posiblemente esto se debió a que se utilizó una menor cantidad de aditivo que el especificado por el fabricante.
- Cuando se utilizó aditivo en polvo (Parámetro IV), la resistencia  $v'm$  se elevó en 37% y el tipo de falla predominante fue por tracción diagonal (Foto 7), cortando los bloques.



**FOTO 4**  
**Parámetro I**  
 $v'm = 5.85 \text{ kg/cm}^2$



**FOTO 5**  
**Parámetro II**  
 $v'm = 5.25 \text{ kg/cm}^2$

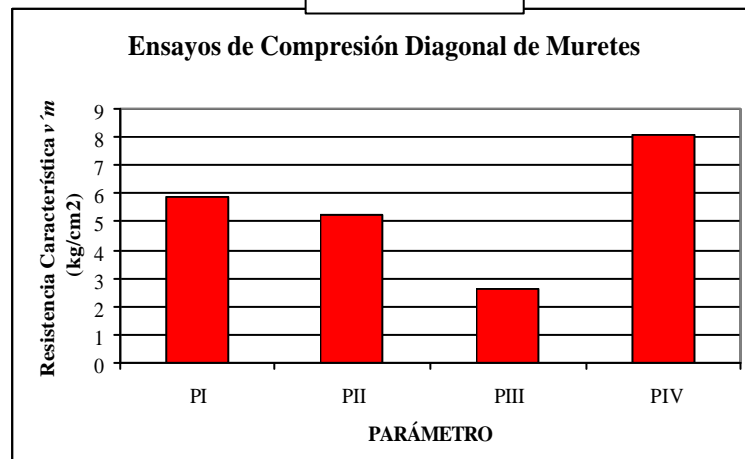


**FOTO 6**  
**Parámetro III**  
 $v'm = 2.56 \text{ kg/cm}^2$



**FOTO 7**  
**Parámetro IV**  
 $v'm = 8.04 \text{ kg/cm}^2$

**GRÁFICO 1**



## 6. ANÁLISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD

El objetivo final del proyecto fue analizar la viabilidad de emplear en nuestro medio aditivos en el mortero (Parámetros III y IV), para lo cual se hizo un estudio costo-beneficio respecto al empleo de mortero convencional (Parámetro I, técnica de construcción tradicional). El análisis del Parámetro II (bloques y juntas humedecidas) fue omitido, ya que resultó ser prácticamente similar (en costo y resistencia) al Parámetro I.

El análisis de costos se realizó contemplando la construcción de un metro cuadrado de un muro de albañilería simple (sin refuerzo interno ni grout de relleno), con mortero normal y aditivado. Cabe señalar que por cada bolsa de mortero 1:3 (de 40 kg de peso), se adicionó: a) 1.5 kg de cal aérea hidratada (S/. 1.50/kg), para el Parámetro I; b) 1 litro de Flex-Con (S/. 13.04/litro), para el Parámetro II; y, c) 0.04 kg de Culminal (S/. 45.43/kg) con 0.8 kg de Vinnapas (S/. 22.72/kg), para el Parámetro IV. Los rendimientos empleados fueron: construcción de 12 m<sup>2</sup> de muro por día, y uso de 12.5 bloques con 0.42 bolsas de mortero por metro cuadrado de muro.

Para determinar la viabilidad de emplear aditivos en el mortero, debe analizarse la relación costo-beneficio, para lo cual, tomando como base el método constructivo tradicional (Parámetro I), se comparó el incremento de la resistencia característica a compresión diagonal  $v'm$ , que es equivalente al incremento de la adherencia bloque-mortero, con el incremento del costo respectivo. Dicha comparación se aprecia en la Tabla 6, de la cual se puede concluir que mientras con el uso de aditivo en polvo (aún poco comercial en nuestro país) el costo se incrementa en 18%, la resistencia lo hace en 37%, por lo que resulta viable su uso.

Debe resaltarse además que un incremento en la resistencia al corte de los muros implica una menor densidad de muros en un edificio de albañilería armada, y que de producirse industrialmente el mortero con aditivo en polvo, su costo se reduciría. Adicionalmente, en el costo del muro no se consideró el refuerzo interno ni el grout de relleno, que debe ser similar para el muro construido con mortero convencional o aditivado.

| <b>PARÁMETRO</b>  | <b>I</b> | <b>III</b> | <b>IV</b> |
|---|----------|------------|-----------|
| Resistencia a compresión diagonal $v'm$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 5.85     | 2.56       | 8.04      |
| Resistencia $v'm$ normalizada                                 | 1        | 0.44       | 1.37      |
| Costo en soles por m <sup>2</sup> de muro                     | 41.52    | 46.05      | 48.97     |
| Costo normalizado   | 1        | 1.11       | 1.18      |

## 7. CONCLUSIONES

- Según la Ref.1, el bloque empleado clasificó como Tipo P, es decir, puede ser utilizado en la construcción de muros portantes en una edificación. La succión del bloque en su estado natural estuvo comprendida entre los límites especificados por la Ref.1, por lo que no necesitaba ningún tratamiento antes de asentarlos, excepto la limpieza.
- Respecto al mortero aditivado, la resistencia a compresión de las probetas cúbicas se redujo drásticamente (34% cuando se usó aditivo líquido y 51% cuando se empleó aditivo en polvo), lo cual podría deberse a que las probetas se prepararon en moldes impermeables, en tanto que en la Ref.2, para el caso de “Morteros de Larga Vida”, se indica que los morteros aditivados tienen que entrar en contacto con un material absorbente para que puedan fraguar.

Desde el punto de vista estructural la pérdida de resistencia indicada carece de relevancia, en vista de que lo más importante es la resistencia de la albañilería.

- En los resultados de los ensayos de compresión axial en pilas ( $f'm$ ), no se presentaron variaciones entre los diferentes parámetros en estudio, por lo que se puede concluir que la resistencia de la albañilería no depende de la resistencia del mortero (con o sin aditivos), sino que está más influenciada por la acción de conjunto bloque-mortero.
- Respecto al comportamiento de la albañilería en el ensayo de compresión diagonal, la situación más desfavorable correspondió al caso donde se empleó aditivo líquido, ya que la resistencia  $v'm$  se redujo en 56% y la falla fue escalonada. Posiblemente esto se debió a que se utilizó una menor cantidad de aditivo que el especificado por el fabricante, por lo que habría que hacer más investigaciones para comprobar esta afirmación.
- Con el empleo del aditivo en polvo se logró cumplir con el objetivo del proyecto, que era incrementar la adherencia bloque-mortero, lo que a su vez trajo por consecuencia un incremento sustancial (37%) de la resistencia a tracción diagonal de la albañilería. Este incremento de resistencia conlleva a una disminución en la densidad de muros portantes de carga sísmica en una edificación de albañilería armada.
- El análisis costo-beneficio dio como resultado que era viable el uso del aditivo en polvo en el mortero, puesto que el incremento en el costo (18%) de la construcción de un metro cuadrado de albañilería simple (sin refuerzo ni grout de relleno) fue menor que el incremento en la resistencia a fuerza cortante (37%), a pesar de que los componentes Vinnapas y Culminal no son todavía muy comerciales en nuestro país.
- Por especificación de los fabricantes de aditivos, en este proyecto se utilizó un mortero con dosificación volumétrica cemento-arena 1:3 (para los 4 parámetros en estudio), por lo que es necesario continuar este trabajo empleando una menor cantidad de cemento, para comprobar si el aditivo en polvo resulta eficaz en las dosificaciones convencionales 1:4 y 1:5.

## 8. REFERENCIAS

1. Proyecto de norma técnica de albañilería E-070. Documento elaborado por Angel San Bartolomé, actualmente en revisión por el Comité Técnico de SENCICO.
2. Tesis de Julio César Carhuamaca Huanri. "Morteros de Larga Vida". Pontificia Universidad Católica del Perú, 2000.
3. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Por A. San Bartolomé. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial PUCP, 1994.