



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA EN  
COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA POR  
EFECTOS DE ESBELTEZ”**

**ÁREA DE ESTRUCTURAS  
INVESTIGACIÓN**

Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil

Presentado por

**DANTE EDDO BONILLA MANCILLA**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

## RESUMEN DE TESIS

El material más usado en la construcción de viviendas en el Perú es la albañilería y una de sus propiedades estructurales más importante es la resistencia a compresión. Para conocer la resistencia a compresión de la albañilería ( $f'_m$ ) se construyen prismas o pilas, asentando unidades de albañilería una sobre otra con mortero, para después someterlas a ensayos de compresión axial.

Las pilas pueden tener diferentes alturas, dependiendo del número de unidades de albañilería que se use en su construcción; por este motivo se tienen diferentes relaciones altura – espesor del prisma (esbeltez). La Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (norma peruana) usa para fines estructurales pilas que tengan una esbeltez estándar igual a 5, como es imposible que todos los prismas tengan esta esbeltez, la norma establece coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) para pilas que tengan esbelteces mayores que 2 y menores que 5.

Utilizando materiales, mano de obra y técnicas de construcción peruanas se hallaron de manera experimental los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ). Para esto, se ensayaron a compresión axial 72 pilas hechas con ladrillos de arcilla.

Estos coeficientes fueron comparados con los coeficientes de las normas peruanas, extranjeras y con los coeficientes hallados de forma analítica usando el método de elementos finitos. Se concluyó, finalmente, que los valores  $C_{ce}$  dados por la norma E.070 son muy parecidos a los coeficientes hallados en esta investigación.



Dedicado a mis padres Alcira y Humberto, a mis hermanos Jhanet y Beto; gracias por su comprensión y continuo apoyo.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>01</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>OBJETIVOS</b>	<b>03</b>
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>ESTUDIO PRELIMINAR</b>	<b>04</b>
<b>3.1 COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE <math>f'_m</math> POR ESBELTEZ ESPECIFICADAS POR LAS NORMAS DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>04</b>
<b>3.1.1 NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA (SENCICO 2004)</b>	<b>05</b>
<b>3.1.2 NORMA TÉCNICA PERUANA 339.613:2003 MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA (INDECOPI 2003)</b>	<b>05</b>
<b>3.1.3 NORMA CHILENA OFICIAL NCH.2123.OF.97 (NCh – 1997)</b>	<b>06</b>
<b>3.1.4 NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR – 1998)</b>	<b>07</b>
<b>3.1.5 NORMAS TÉCNICAS MEXICANAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA (UNAM – 2003)</b>	<b>07</b>

<b>3.1.6</b>	<b>BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR MASONRY STRUCTURES REPORTED BY THE MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE (ACI 530.1 – 2002)</b>	<b>08</b>
<b>3.1.7</b>	<b>STANDARD TEST METHOD FOR CONSTRUCTING AND TESTING MASONRY PRISMS USED TO DETERMINE COMPLIANCE WITH SPECIFIED COMPRESSIVE STRENGTH OF MASONRY (ASTM C1314 – 2003)</b>	<b>08</b>
<b>3.1.8</b>	<b>CUADRO COMPARATIVO DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ INDICADOS POR LAS DISTINTAS NORMAS PARA LAS PILAS A CONSTRUIR EN ESTE PROYECTO</b>	<b>09</b>
<b>3.2</b>	<b>APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1</b>	<b>MODELO DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>11</b>
<b>3.2.2</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3</b>	<b>PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>PLANO DE ESPECÍMENES</b>	<b>20</b>
	<b>CAPÍTULO 4</b>	
	<b>DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>23</b>
	<b>CAPÍTULO 5</b>	
	<b>CONTROL DE MATERIALES</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	<b>25</b>

5.1.1	VARIACIÓN DIMENSIONAL	27
5.1.2	ALABEO	28
5.1.3	SUCCIÓN	28
5.1.4	ABSORCIÓN	30
5.1.5	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ( $f'_b$ )	32
5.2	MORTERO	36
5.2.1	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CUBOS DE MORTERO ( $f'_{\text{mortero}}$ )	38
<b>CAPÍTULO 6</b>		
<b>CONSTRUCCIÓN DE LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA (PILAS)</b>		<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 7</b>		
<b>TÉCNICA DE ENSAYO</b>		<b>45</b>
7.1	PREPARACIÓN PARA EL ENSAYO	45
7.2	PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN EL ENSAYO	46
<b>CAPÍTULO 8</b>		
<b>RESULTADO DE LOS ENSAYOS</b>		<b>48</b>

8.1 RESULTADOS NUMÉRICOS 48

8.2 FORMAS DE FALLA DE LAS PILAS 50

## CAPÍTULO 9

### PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS

EXPERIMENTALES 56

9.1 DEPURACIÓN DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS 56

9.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS PILAS DE  
ALBAÑILERÍA 57

9.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A  
COMPRESIÓN AXIAL DE LA ALBAÑILERÍA ( $f'_m$ ) 57

9.4 CÁLCULO DE  $f'_m$  PARA LA ESBELTEZ NORMALIZADA  
A 5 ( $f'_m (E=5)$ ) 57

9.5 COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR  
ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) 58

9.6 CURVA DE AJUSTE PARA LOS COEFICIENTES DE  
CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) 58

## CAPÍTULO 10

### COMPARACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES DE

CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) 61

## CAPÍTULO 11

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65

#### 11.1 CONCLUSIONES 65

#### 11.2 RECOMENDACIONES 67

### REFERENCIAS 69

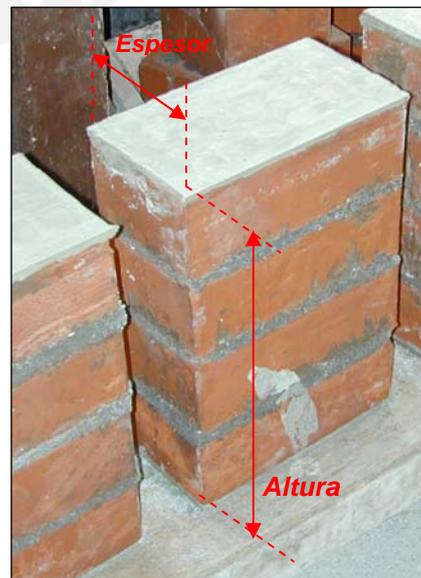


# 1 INTRODUCCIÓN

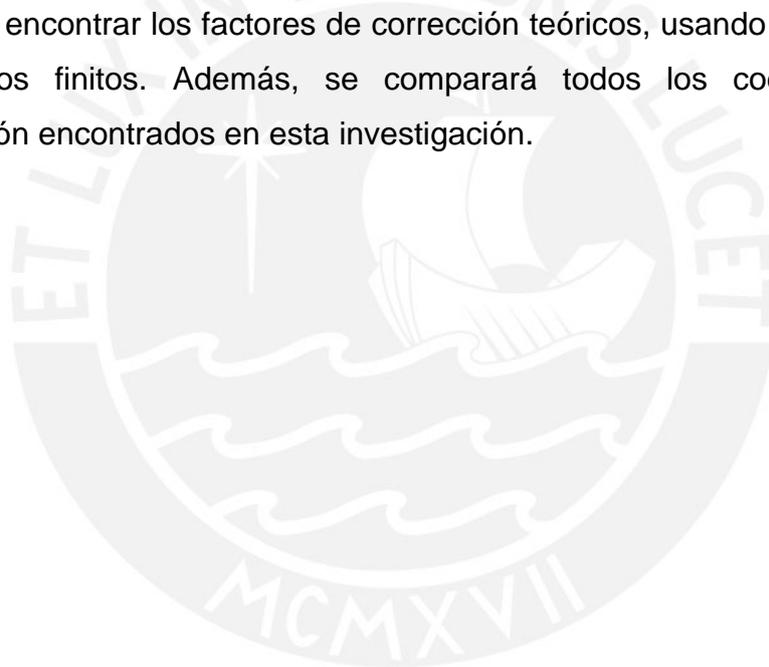
Las pilas de albañilería son prismas compuestos por dos o más unidades de albañilería (ladrillos) enteras, asentadas una sobre otra mediante mortero. La altura de los prismas no debe ser excesiva, a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte desde la obra hacia el laboratorio. Estas pilas, a la edad de 28 días, son ensayadas a compresión axial y los resultados se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de los edificios y para controlar la calidad de la albañilería en la construcción.

Sin embargo, la resistencia característica a compresión axial de las pilas ( $f'_m$ ) depende de la esbeltez, que es la relación que existe entre la altura y el espesor del prisma (figura 1.1). La norma anterior de albañilería E.070 (ININVI 1982) y la actual Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004), establecen un valor nominal de esbeltez igual a 5. Además establecen coeficientes de corrección para esbelteces menores que cinco. Estos coeficientes son los mismos en ambas normas y se aplican multiplicando a la resistencia a compresión axial obtenida del ensayo, para de este modo estimar la resistencia que se obtendría con la esbeltez nominal.

Figura 1.1. Fotografía de un prisma de albañilería, donde se aprecia el espesor y la altura del prisma.



Los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez que proporciona la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) no tienen un respaldo experimental. Además, otra norma nacional INDECOPI 2003, proporciona otros valores para los coeficientes de corrección, esto debido a que la norma INDECOPI 2003 toma los valores de la norma ASTM C1314 – 2003. Y cuando se recurre a las normas de otros países, como la Norma Colombiana NSR – 1998, la Norma Mexicana de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería – 2003, etc., se obtienen diferentes valores para las mismas esbelteces. Es por eso que en esta investigación se pretende encontrar de forma experimental los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez adecuados a nuestra realidad, como también encontrar los factores de corrección teóricos, usando el método de elementos finitos. Además, se comparará todos los coeficientes de corrección encontrados en esta investigación.



## 2 OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden lograr en este trabajo son los siguientes:

- Determinar experimentalmente los coeficientes de corrección de la resistencia a compresión de los prismas de albañilería ( $f'_m$ ) por efectos de la esbeltez. El rango de esbelteces a estudiar se encuentra especificado por la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) y está comprendido entre 2 y 5. De este modo se permite que las pilas puedan ser fácilmente construidas en obra, almacenadas y transportadas hacia un laboratorio.
- Determinar analíticamente, utilizando el método de elementos finitos, los coeficientes de corrección de la resistencia a compresión de los prismas de albañilería ( $f'_m$ ) por efectos de esbeltez, usando también el rango de esbelteces especificado por la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004).
- Realizar comparaciones entre los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez obtenidos en esta investigación de manera experimental y analítica, con aquellos presentados por las otras normas. Con estas comparaciones se determinará que juego de coeficientes, son los que se ajustan a nuestra realidad.

Cabe mencionar que en nuestro trabajo sólo se utilizó ladrillos de arcilla (artesanal e industrial), por lo que esta investigación se encuentra limitada a este tipo de materia prima.

### 3 ESTUDIO PRELIMINAR

En este capítulo se presentan los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez de las normas peruanas y extranjeras, así como los coeficientes de corrección obtenidos en forma analítica. Después se muestra un cuadro comparativo de los coeficientes de corrección que cada una de las normas proporciona. Finalmente se presentan las dimensiones y especificaciones de las pilas a construir.

#### 3.1 COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ ESPECIFICADAS POR LAS NORMAS DE ALBAÑILERÍA

Las normas de albañilería a simple vista establecen diferentes coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez, esto se debe principalmente a que cada norma toma un valor nominal de esbeltez diferente.

La norma peruana SENCICO 2004 establece una esbeltez nominal igual a 5, con la finalidad de que los platos de carga del equipo de ensayo no influyan en la zona central de la albañilería restringiendo su expansión lateral.

Entonces para poder comparar los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez de las diferentes normas, se normalizará a una esbeltez igual a 5.

A continuación se presentan los coeficientes dados por las diversas normas de albañilería.

### 3.1.1 NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA (SENCICO 2004)

La norma peruana NTE E.070 establece que las pilas de albañilería no tendrán menos de 3 hiladas o 40 cm de altura (lo que sea mayor) y tendrán una relación altura entre espesor (esbeltez) no menor de 2 ni mayor que 5, de preferencia se debe utilizar una esbeltez igual a 5.

Para corregir el valor de  $f'_m$  se debe multiplicar por un coeficiente que depende de la esbeltez del prisma que se muestra a continuación.

FACTORES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ – SENCICO 2004						
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor (*)	0.73	0.80	0.86	0.95	0.98	1.00

(\*) Interpolación linealmente para valores intermedios de esbeltez

La norma peruana también establece un número mínimo de 3 pilas para poder determinar el valor de  $f'_m$ .

Cabe indicar que los factores de corrección de esta norma son los mismos que aquellos proporcionados por la Norma E.070 de 1982 (ININVI).

### 3.1.2 NORMA TÉCNICA PERUANA 339.613:2003 MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA (INDECOPI 2003)

Esta norma peruana adopta los mismos coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez, la misma esbeltez nominal, el mismo número de prismas a ensayar y el mismo rango de esbelteces que la norma ASTM C1314 (ver el acápite 3.1.7).

### 3.1.3 NORMA CHILENA OFICIAL NCh.2123.OF.97 (NCh – 1997)

La norma chilena, en el anexo B de NCh.1928: Confección y Ensayo de Prismas de Albañilería, indica:

- Espesor: El espesor del prisma debe ser igual al espesor de los muros y vigas de la estructura.
- Longitud: La longitud del prisma debe ser mayor o igual a la longitud de la unidad de albañilería.
- Altura: La altura del prisma debe cumplir con las siguientes condiciones:
  - Incluir un mínimo de tres hiladas.
  - El coeficiente entre la altura y el espesor debe ser mayor o igual a 3.

De aplicar esta norma y utilizar las unidades de albañilería empleadas en este trabajo de investigación, se obtendría el modelo de la figura 3.1.

Donde:

- Espesor = 0.13 m
- Altura = 0.40 m

Esbeltez = 3.0

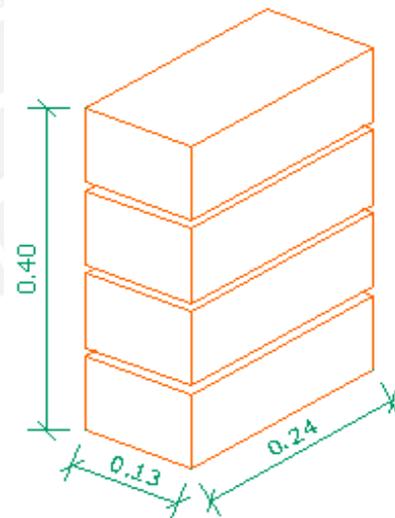


Figura 3.1. Modelo de Prisma de esbeltez igual a 3.

Bajo las condiciones citadas, se aplica un factor de corrección por esbeltez igual a 1. La norma chilena establece un coeficiente de corrección de  $f'_m$  por esbeltez igual a 1 ( $C_{ce} = 1$ ) para esbelteces iguales o mayores que 3.

Además, se tiene que construir 5 pilas para poder determinar el valor de  $f'_m$ .

### 3.1.4 NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR – 1998)

La norma colombiana establece ensayar 3 pilas de albañilería para hallar el valor de  $f'_m$  usando una relación altura – espesor mayor que 1.5 y menor que 5. Además, los prismas deben tener un mínimo de 300 mm de altura.

Los coeficientes de corrección por esbeltez dados en esta norma están normalizados a una esbeltez igual a 2.

Estos coeficientes son iguales a los que indica la norma ASTM C1314 (acápite 3.1.7), con la única excepción que no se permite pilas con esbelteces inferiores a 1.5.

### 3.1.5 NORMAS TÉCNICAS MEXICANAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA (UNAM – 2003)

Estas normas establecen el ensayo de 9 pilas como mínimo para obtener el valor de  $f'_m$ . Además, las pilas deben estar conformadas por lo menos por tres unidades de albañilería. La relación altura a espesor de la pila está comprendida entre 2 y 5.

Los coeficientes de corrección por esbeltez están normalizados a una esbeltez de 4, por lo que se procede a normalizarlos hacia una esbeltez de 5, para compararlos con los valores especificados por la norma peruana E.070.

<b>FACTORES DE CORRECCIÓN DE <math>f'_m</math> POR ESBELTEZ - NORMA MEXICANA</b>				
Relación altura a espesor de la pila	2.0	3.0	4.0	5.0
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05
Factor Normalizado (*)	0.71	0.86	0.95	1.00

(\*) Interpolar linealmente para valores intermedios de esbeltez

### **3.1.6 BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR MASONRY STRUCTURES REPORTED BY THE MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE (ACI 530.1 – 2002)**

El comité del ACI también toma los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez de la norma ASTM C1314 (ver el acápite 3.1.7).

### **3.1.7 STANDARD TEST METHOD FOR CONSTRUCTING AND TESTING MASONRY PRISMS USED TO DETERMINE COMPLIANCE WITH SPECIFIED COMPRESSIVE STRENGTH OF MASONRY (ASTM C1314 – 2003)**

En esta norma se establece que el número mínimo de pilas a ensayar para obtener el valor de  $f'_m$ , es 3. Además, cada prisma debe tener una altura mínima de 2 unidades, con una relación altura-espesor comprendida entre 1.3 y 5.0.

Los valores de corrección por esbeltez según la norma ASTM C1314, están normalizados a una esbeltez de 2, por lo que se procedió a normalizarlos hacia una esbeltez de 5, para compararlos con los valores de la norma peruana E.070.

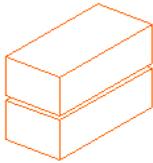
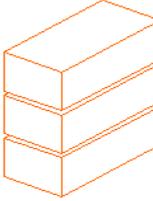
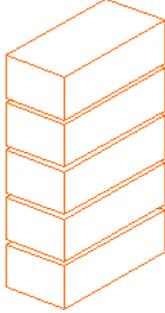
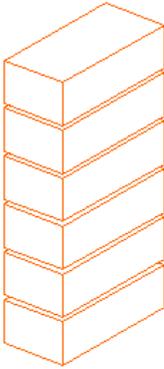
FACTORES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ - NORMA ASTM C1314							
Esbeltez	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22
Factor Normalizado(*)	0.61	0.70	0.82	0.85	0.88	0.94	1.00

(\*) Interpolar linealmente para valores intermedios de esbeltez

### 3.1.8 CUADRO COMPARATIVO DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ INDICADOS POR LAS DISTINTAS NORMAS PARA LAS PILAS A CONSTRUIR EN ESTE PROYECTO

A continuación se muestra la tabla 01, donde se aprecia los esquemas de las pilas a construir, señalando sus dimensiones y la esbeltez respectiva. También se muestra los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez, dadas por las diferentes normas consultadas en esta investigación. Estos coeficientes están normalizados a una esbeltez igual a 5 y fueron obtenidos por interpolación y extrapolación lineal de los valores indicados en los acápites 3.1.1 (norma E.070), 3.1.5 (norma mexicana) y 3.1.7 (norma ASTM).

**TABLA 01**  
**COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ SEGÚN**  
**LAS NORMAS DE ALBAÑILERÍA**

Característica de los prismas a construir.					
Notación	E2	E3	E4	E5	E6
Número de hiladas	2	3	4	5	6
Altura	20.00 cm	30.00 cm	40.00 cm	50.00 cm	60.00 cm
Espesor	13.00 cm	13.00 cm	13.00 cm	13.00 cm	13.00 cm
Esbeltez	1.54	2.31	3.08	3.85	4.62
Factores de Corrección de $f'_m$ por Esbeltez					
Norma E.070	0.67	0.77	0.87	0.94	0.98
Norma Mexicana	0.64	0.76	0.87	0.94	0.98
Norma ASTM	0.71	0.84	0.88	0.93	0.98

En la tabla 01 se puede apreciar lo siguiente:

- Las tres normas presentan valores muy parecidos para esbelteces iguales o mayores que 3. Para la esbeltez de 4.62 (E6), el coeficiente de corrección es el mismo.
- Para esbelteces menores que 3, los coeficientes de corrección de la norma E.070 y mexicana son similares, pero distintas a los de la norma ASTM.

## 3.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA

El método de elementos finitos es una técnica matemática para obtener soluciones numéricas aproximadas que predicen la respuesta de sistemas físicos sujetos a influencias externas. El método de elementos finitos tiene sus fundamentos en el análisis de redes y en el análisis estructural.

Los prismas de albañilería modelados tienen un comportamiento linealmente elástico.

Para modelar las pilas o prismas de albañilería a compresión axial se define a la pila como una malla formada por cuadrados (red) sometida a sollicitaciones exteriores, en donde se debe de cumplir: el equilibrio de fuerzas y momentos, las relaciones de compatibilidad de desplazamiento y las relaciones esfuerzo-deformación (leyes constitutivas). Estas condiciones son usadas para generar un sistema de ecuaciones donde los desplazamientos son las incógnitas y a partir de los desplazamientos poder hallar los esfuerzos, etc.

### 3.2.1 MODELO DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA

Para modelar las pilas de albañilería se usó el programa SAP2000 (Structural Analysis Program) en la versión 9.0.1. En el modelo se utilizó un solo material, debido a que se desconoce las propiedades del ladrillo y del mortero, más aún, cuando ellos interactúan succionando el ladrillo al material cementante del mortero. La red adoptada estuvo conformada por elementos cuadrados de 1 cm de lado, con un espesor de 24 cm, igual al largo nominal de las unidades de albañilería (figura 3.2).

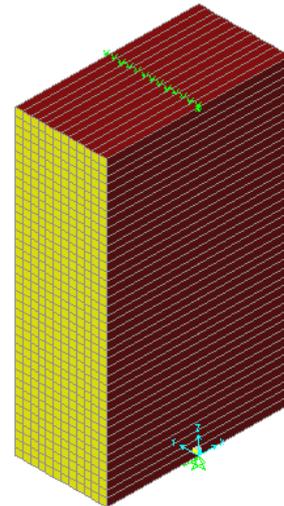


Figura 3.2. Prisma modelado en el programa SAP 2000.

Para modelar las pilas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las esbelteces por analizar se determinaron de acuerdo a la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004), en la tabla 10: Factores de Corrección de  $f'_m$  por Esbeltez.
- Las dimensiones de la base del prisma fueron de 12 por 24 cm. Se tomó estas dimensiones debido a que son muy parecidas a las dimensiones nominales de las unidades de albañilería.
- Conocidas las esbelteces y el espesor del prisma, se halló las alturas de cada prisma. La cara del prisma que se modela es la que presenta mayor esbeltez. Se modeló un prisma de albañilería por cada esbeltez especificada en la tabla 10 de la norma SENCICO 2004, dando en total 6 prismas modelados.
- Se aplicó la misma fuerza axial a todas las pilas. En los nudos extremos superiores, se aplicó 2000 Kg y en los nudos internos superiores 4000 Kg, lo que proporcionó en total una fuerza de compresión de 48000 Kg.

- Para el material albañilería se definió un módulo de elasticidad (E) igual a  $32500 \text{ Kg /cm}^2$  y un módulo de Poisson ( $\nu$ ) igual a 0.25. Según lo especificado en la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004).
  
- En cada una de las 6 pilas modeladas se buscó cumplir con las siguientes condiciones:
  - Que toda la parte superior del prisma descienda la misma cantidad.
  - Los esfuerzos ( $\sigma_{11}$ ) y las deformaciones ( $\delta$ ) en la dirección perpendicular a la dirección longitudinal del prisma, deben presentar simetría vertical y horizontal respecto al centro del prisma.
  - La parte inferior del prisma no debe desplazarse en ninguna dirección.

### 3.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Al aplicar la misma fuerza de compresión, tener el mismo material y la misma sección en cada uno de los 6 prismas, se puede apreciar el efecto de la esbeltez en cada prisma, mediante los esfuerzos de tracción máximos ( $\sigma_{11 \text{ máx}}$ ) en la dirección perpendicular a la dirección longitudinal del prisma. El esfuerzo de tracción es el que produce la rotura del prisma, debido a que el material albañilería resiste poca tracción en comparación a lo que resiste a compresión. Estas variaciones de  $\sigma_{11 \text{ máx}}$  permiten hallar los coeficientes teóricos de corrección de  $f'_m$  por esbeltez (Cce).

También se halla las deformaciones horizontales ( $\delta$ ) en la parte extrema central de cada prisma, para saber cómo se van deformando y cuál es el efecto de la esbeltez en la deformación.

A continuación se muestra la tabla 02, donde se aprecian los diagramas de esfuerzos de tracción ( $\sigma_{11}$ ) en la dirección perpendicular a la longitudinal del prisma, así como el valor máximo de tracción. Además, se muestra la tabla 03 en donde se observa las deformaciones horizontales ( $\delta$ ) de los modelos de las pilas de albañilería. En ambas tablas y para todos los prismas, el esfuerzo de compresión promedio actuante ( $\sigma$ ) es único:  $166.67 \text{ Kg/cm}^2$ .

El esfuerzo de compresión promedio actuante ( $\sigma$ ) se halló dividiendo la fuerza de compresión actuante en cada nudo superior de la malla entre el área perpendicular a la fuerza de compresión del prisma, tal como se muestra a continuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2000 \times 2 + 4000 \times 11}{12 \times 24} = \frac{48000 \text{ Kg}}{288 \text{ cm}^2} = 166.67 \text{ Kg/cm}^2$$





### 3.2.3 PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS

Conocido el esfuerzo de tracción máximo ( $\sigma_{11 \text{ máx}}$ ), en la dirección transversal a la dirección longitudinal del prisma, de cada uno de los 6 prismas modelados (tabla 02), se procedió a hallar los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) como se puede apreciar en la tabla 04. El procedimiento que se siguió en la tabla 04, se describe a continuación:

- **RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS PILAS ( $\sigma_{11 \text{ máx}}$ ) Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DE LAS PILAS ( $f'_m$ )**

El valor de  $\sigma_{11}$  y  $f'_m$  están directamente relacionados, mientras más resista en compresión ( $f'_m$ ) el prisma de albañilería, el valor del esfuerzo de tracción en la cara transversal ( $\sigma_{11}$ ) se incrementará.

Cuando la pila está sometida a una fuerza axial de compresión, no solo se comprime sino que también se expande lateralmente, debido al efecto de Poisson. Asumiéndose que la albañilería se agrieta cuando alcanza un valor determinado del esfuerzo de tracción lateral ( $\sigma_{11}$ ), puede determinarse por proporciones (trabajando en el rango linealmente elástico) la resistencia a compresión  $f'_m$  de cada modelo.

En este caso se asumió que  $f'_m$  era  $100 \text{ Kg/cm}^2$  para la pila más esbelta ( $P_6$  con  $E=5$ , tabla 04), donde el esfuerzo de tracción lateral era mínimo ( $\sigma_{11} = 0.8027 \text{ Kg/cm}^2$ ) y luego, por proporciones de los valores  $\sigma_{11}$ , se obtuvo  $f'_m$  para las pilas menos esbeltas. Estos valores aparecen en la tabla 04.

- **CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) ANALÍTICOS**

Con los valores obtenidos de  $f'_m$  para cada esbeltez, se calculó  $C_{ce}$  dividiendo el valor de  $f'_m$  para la esbeltez normalizada a 5 ( $f'_{m(E=5)}$ ) entre el valor de  $f'_m$  de la esbeltez correspondiente:

$$C_{ce} = \frac{f'_{m(E=5)}}{f'_m}$$

Los resultados analíticos de  $C_{ce}$  aparecen en la tabla 04.

Cabe destacar que mediante este procedimiento, los valores de  $C_{ce}$  fueron bastante parecidos para esbelteces comprendidas entre 2.5 y 5.0, notándose una fuerte variación cuando la esbeltez fue 2.



### 3.3 PLANO DE ESPECÍMENES

Después de recolectar información de las diversas normas nacionales y extranjeras, se decidió construir prismas de albañilería de 2, 3, 4, 5 y 6 hiladas para las 2 primeras series y prismas de 2, 3, 4 y 5 hiladas para las 2 últimas series. En total se construyeron 72 pilas, con ladrillos procedentes de 3 fábricas distintas, siguiéndose las siguientes especificaciones generales:

- 15 horas antes del asentado, se humedecerán los ladrillos durante un lapso de 30 minutos.
- El mortero tendrá una proporción volumétrica 1: 0: 4 (cemento: cal: arena).
- Las juntas horizontales de los prismas de albañilería serán de 1 cm de espesor.
- Los prismas se construirán a nivel y plomo.

Cada prisma construido se nombra indicando el número de hiladas que tiene, y el número de espécimen que representa dentro de los 4 especímenes construidos con la misma esbeltez. Es decir, si el prisma tiene 3 hiladas y es el segundo construido de la misma esbeltez, se identificará como E3-2.

A continuación se presentan los planos de cada prisma construido, donde cabe indicar que las dimensiones y la esbeltez que se muestran son valores nominales, los valores reales aparecen en la tabla 09.





## 4 DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

El ladrillo de arcilla es el más usado en nuestro país en la construcción de viviendas, por este motivo se utilizaron estas unidades de albañilería en esta investigación. La norma peruana E.070 de albañilería define como unidad de albañilería sólida a aquellas unidades que tengan como máximo 30% de área vacía del total del área de asiento. Las unidades sólidas son usadas para la construcción de muros portantes, otros tipos de unidades de albañilería (hueca, alveolar y tubular) no se deben usar en la zona sísmica 3 para la construcción de muros portantes, de acuerdo con la norma E.070 de albañilería vigente.

En esta investigación se usaron materiales, mano de obra y procesos constructivos peruanos; para así obtener los coeficientes de corrección por esbeltez de  $f'_m$  acordes con nuestra realidad.

La construcción de las pilas y los ensayos de las unidades de albañilería comenzaron en el mes de Diciembre del 2004, en la primera serie se utilizaron ladrillos King Kong V30 (INFES) de la fábrica Rex S.A. Al realizar los ensayos con estas unidades de albañilería, se obtuvieron resultados aceptables en los ensayos de alabeo, absorción, succión y variación dimensional; pero, en el ensayo más importante, el de compresión, se obtuvo una dispersión de resultados elevada (22%, ver tabla 05). Por este motivo se construyó una segunda serie de pilas en el mes de Junio del 2005.

Para la segunda serie de pilas también se usaron los ladrillos King Kong V30 (INFES) de la fábrica Rex S.A., en esta serie se acentuó las diferencias en las resistencia a compresión de las unidades de albañilería, obteniéndose hasta 33% de diferencia en los resultados, (tabla 05).

Debido a los malos resultados obtenidos en las dos primeras series, se decidió analizar otras dos series realizadas en el mes de Setiembre. En la tercera serie se utilizó el ladrillo King Kong industrial proveniente de la fábrica Lark S.A. y en la cuarta serie se usó el ladrillo King Kong artesanal de la fábrica Fortaleza. Estas unidades de albañilería también clasifican como sólidas, por lo tanto, se pueden usar para construir muros portantes.

Para los ladrillos de la tercera serie (Lark), la dispersión de resultados del ensayo de compresión fue 11% (tabla 05), mientras que para los ladrillos de la cuarta serie (Fortaleza) esta dispersión fue 21%, pese a ser del tipo artesanal.

Cabe señalar que en la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) se acepta que las unidades industriales presenten como máximo hasta 20% de dispersión en los resultados del ensayo de compresión, y hasta 40% para los ladrillos artesanales, por tanto, la segunda serie hecha con ladrillos Rex es inaceptable, pero, aún así, se construyeron y ensayaron las pilas correspondientes.

<b>TABLA 05</b>					
<b>DISPERSIÓN PORCENTUAL DE RESULTADOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN</b>					
Serie	Fábrica	Fabricación	Dispersión	Máxima Dispersión de la Norma E.070	Calificación
1	Rex	Industrial	22%	20%	Medianamente aceptable
2	Rex	Industrial	33%	20%	Inaceptable
3	Lark	Industrial	11%	20%	Aceptable
4	Fortaleza	Artesanal	21%	40%	Aceptable

## 5 CONTROL DE MATERIALES

El material albañilería esta compuesto por dos materiales: la unidad de albañilería (ladrillo) y el mortero. Si se tiene una buena calidad en los materiales que forman la albañilería, se tendrá una buena albañilería. Por este motivo se realizan pruebas o ensayos a cada uno de los materiales que forman la albañilería, para este modo garantizar sus propiedades estructurales.

### 5.1 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

Se utilizó para las dos primeras series el ladrillo de arcilla industrial denominado King Kong INFES 18 huecos, provenientes de la ladrillera Rex (figura 5.1) con dimensiones nominales de 9 x 13 x 24 cm y perforaciones circulares perpendiculares a la cara de asiento que proporcionan 30% de vacíos.

Figura 5.1. Fotografía de las unidades de albañilería de la ladrillera Rex.



Para la tercera serie se utilizó el ladrillo de arcilla industrial King Kong 30% de la ladrillera Lark S.A. con dimensiones nominales de 9 x 12.5 x 23 cm y perforaciones circulares perpendiculares a la cara de asiento que proporcionan 30% de vacíos (figura 5.2). Para la cuarta

serie se usó el ladrillo de arcilla artesanal de la ladrillera Fortaleza S.A. con dimensiones nominales de 9 x 12 x 21 cm macizo (figura 5.3).



Figura 5.2. Fotografía de las unidades de albañilería industrial de la ladrillera Lark.

Figura 5.3. Fotografía de las unidades de albañilería artesanal de la ladrillera Fortaleza.



En las cuatro series se realizó una selección y limpieza de las unidades, eliminando aquellas que presentaban rajaduras o esquinas dañadas, buscando de esta manera uniformizar las unidades de albañilería.

Para determinar las propiedades de las unidades de albañilería, se realizó los siguientes ensayos normados por la norma INDECOP: NTP 399.613 Método de Muestreo y Ensayo de Ladrillos de Arcilla Usados en Albañilería.

### 5.1.1 VARIACIÓN DIMENSIONAL

Es importante analizar la variación dimensional, porque esta característica de las unidades de albañilería define la altura de las hiladas que se refleja en el mayor o menor espesor de la junta de mortero. La variación de la junta por encima de lo estrictamente necesario por adhesión, que es de 10 a 15 mm, conduce a una albañilería menos resistente a compresión y a fuerza cortante.

La variación dimensional se determinó para cada arista (cuadro 5.1.1) de las 10 unidades de albañilería seleccionadas por cada serie. Esta variación dimensional se obtuvo como el cociente entre la desviación estándar y el valor promedio de la muestra, multiplicado por 100. Para determinar la dimensión de cada arista del espécimen se realizaron 4 medidas en la parte intermedia de la superficie correspondiente y se tomó el valor promedio de estas medidas.

$$\text{Variación Dimensional} = \frac{\text{Desviación Estándar } (\sigma)}{\text{Promedio}} \times 100$$

CUADRO 5.1.1. VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
▪ Largo	▪ Ancho	▪ Altura
		

### 5.1.2 ALABEO

El efecto del alabeo es semejante al de la variación dimensional, es decir produce el aumento o disminución en el espesor de las juntas de mortero, que influye en la resistencia a compresión y a fuerza cortante de la albañilería.

El alabeo se midió con una cuña metálica (cuadro 5.1.2) graduada al milímetro, introduciéndola en el punto de mayor concavidad o convexidad correspondiente a la superficie de asentado del espécimen.



### 5.1.3 SUCCIÓN

La succión es la medida de la rapidez con la que el ladrillo absorbe agua del mortero y es la característica fundamental para definir la adherencia mortero-unidad en la albañilería. Esta propiedad define tanto la resistencia a tracción como la resistencia a fuerza cortante de la albañilería.

Cuando se presenta una alta succión, el agua del mortero es absorbida rápidamente por la unidad de albañilería inferior, produciendo la deformación y el endurecimiento del mortero, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la unidad superior. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

La Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) recomienda que la succión al instante de asentarse esté comprendida entre 10 y 20 gramos por minuto en un área de 200 cm<sup>2</sup>; debido a esta recomendación es indispensable en el proceso constructivo, que las unidades de arcilla sean regadas durante 30 minutos, entre 10 y 15 horas antes del asentado.

El ensayo de succión emplea testigos secados al horno cuando se trata de ensayos de investigación, y unidades en su estado natural cuando se trata de ensayos de campo.

La succión se halla mediante la expresión:

$$Succión = \frac{(W_h - W_s)}{A} \times 200$$

Donde:

$W_s$  = Peso seco de la unidad de albañilería (gr).

$W_h$  = Peso después del ensayo (gr).

$A$  = Área de contacto de la unidad con el agua (cm<sup>2</sup>).

El proceso que se sigue en este ensayo se ilustra en el cuadro 5.1.3.

**CUADRO 5.1.3.  
PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA SUCCIÓN EN LAS UNIDADES  
DE ALBAÑILERÍA**

		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En un recipiente nivelado, verter agua en forma constante para mantener el nivel del agua en el recipiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Colocar el ladrillo en el recipiente, manteniendo el nivel del agua constante en la bandeja, de tal modo que la cara de asiento esté en contacto con una película de agua de 3mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Después de 1 minuto retirar el ladrillo, secarlo con un paño húmedo y pesarlo (<math>W_h</math>).</li> </ul>

#### 5.1.4 ABSORCIÓN

La absorción es la medida de transferencia del agua desde un medio externo a una unidad de albañilería (ladrillo). Una absorción elevada (más de 22%) indica que el ladrillo es poroso y de baja resistencia a la acción de la intemperie.

La absorción de cada espécimen se mide como la relación que existe entre el peso del agua absorbida por la unidad de albañilería

después de haberla sumergido durante 24 horas en una poza de agua y su peso en estado seco multiplicada por 100.

La absorción se halla mediante la expresión:

$$Absorción = \frac{(W_a - W_s)}{W_s} \times 100$$

Donde:

$W_a$  = Peso de la unidad de albañilería saturada luego de 24 horas de inmersión en agua (gr).

$W_s$  = Peso seco de la unidad de albañilería (gr).

El proceso que se sigue en este ensayo se ilustra en el cuadro 5.1.4.

<b>CUADRO 5.1.4.</b> <b>PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA ABSORCIÓN EN LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>		
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se sumerge 5 ladrillos secos en una batea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se mide la temperatura del agua, al comienzo y al final del ensayo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Después de 24 horas retirar los ladrillos de la batea, secarlos con un paño húmedo y pesarlos (<math>W_a</math>).</li> </ul>

### 5.1.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ( $f'_b$ )

La resistencia a compresión es la principal propiedad de las unidades de albañilería. Los valores altos señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición, los valores bajos en cambio señalan unidades que producirán albañilería poco resistente y poco durable.

La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ( $f'_b$ ) se obtiene restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra. La resistencia de cada espécimen se calcula dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la superficie de asiento. Este ensayo se realiza a una velocidad de carga de 5 ton/min.

La resistencia característica a la compresión  $f'_b$  se halla con las siguientes fórmulas:

$$C = \frac{P}{A}$$

$$f'_b = \bar{C} - \sigma$$

Donde:

$C$  = Resistencia a compresión del espécimen (Kg/cm<sup>2</sup>).

$P$  = Carga de rotura (Kg).

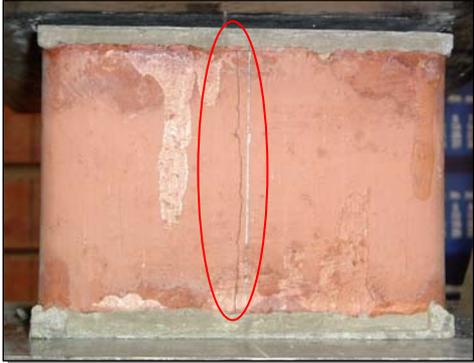
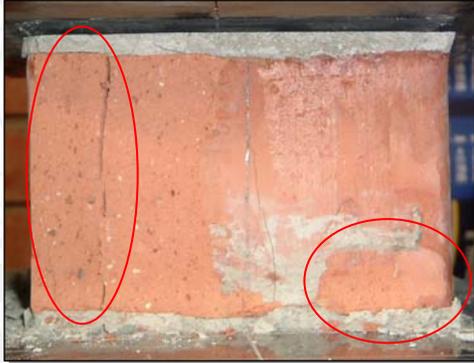
$A$  = Promedio de las áreas brutas superior e inferior (cm<sup>2</sup>).

$f'_b$  = Resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\bar{C}$  = Promedio de la resistencia a la compresión de la muestra (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\sigma$  = Desviación estándar de la muestra (Kg/cm<sup>2</sup>).

En el cuadro 5.1.5 se ilustra las formas de falla en los especímenes utilizados en esta investigación.

<b>CUADRO 5.1.5.</b>	
<b>FORMAS DE FALLAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Falla por agrietamiento vertical central del ladrillo.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Falla por desmembramiento del ladrillo</b></li> </ul>
	

Para clasificar a las unidades de albañilería según la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) se utilizan los resultados de los ensayos: variación dimensional, alabeo y compresión, estos resultados, así como los de succión y absorción se muestran en la tabla 06.



Se puede apreciar en la tabla 06:

- Los resultados de la variación dimensional y el alabeo mostrados en la tabla 06, presentan valores muy bajos; tanto así, que todas las unidades, incluyendo la artesanal, podrían ser clasificadas como ladrillo tipo V (mayor calidad) de acuerdo con la norma E.070. Por tanto, los resultados de los ensayos de resistencia a compresión ( $f'_b$ ), son los que determinan la clasificación de las unidades de albañilería.
- La norma oficializada recientemente NTE E.070 Albañilería (SENCICO 2004) establece que el coeficiente de variación del ensayo de compresión para unidades de albañilería industriales, tiene que ser menor o igual a 20%. En los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de las unidades de albañilería  $f'_b$ , realizados en los meses de Diciembre del 2004 (serie 1) y Junio del 2005 (serie 2) no se cumple con este criterio. Pero la norma de albañilería ININVI 1982 vigente hasta octubre del 2005, establecía como criterio de aceptación de las unidades que el coeficiente de variación debe ser menor o igual a 30%; con lo cual se aceptaba los resultados de la serie 1, pero no los de la serie 2.
- Llama la atención que unidades de la misma fábrica (Rex) y de las mismas características, presenten para lotes fabricados en distintas fechas resultados tan distintos, clasificando en un caso como tipo V y luego como tipo III.
- En los ensayos de resistencia a compresión  $f'_b$  realizados en el mes de Setiembre del 2005, se aprecia que el coeficiente de variación para las unidades artesanales es de 21%, que es menor al 40% establecido como criterio de aceptación por la norma vigente de albañilería E.070. También se aprecia un

coeficiente de variación del 11% para las unidades industriales; este coeficiente también cumple con el criterio de aceptación de la norma E.070.

- Los valores de succión obtenidos fueron mayores que 20 g/200cm<sup>2</sup>-min, esto determinó la necesidad de regar las unidades de albañilería por espacio de 30 minutos, unas 15 horas antes de ser asentadas de acuerdo con la norma E.070. Se riega los ladrillos de arcilla, con el objetivo de disminuir la elevada succión y tratar de que al instante de asentarlos su superficie esté relativamente seca, para que succione el cementante del mortero, y su núcleo saturado para que el agua existente en el núcleo sirva para curar el mortero.
- La norma E.070 (SENCICO 2004) establece que la absorción en las unidades de arcilla debe ser menor al 22% como criterio de aceptación, este criterio es cumplido por todas las unidades de albañilería utilizadas en esta investigación.

## 5.2 MORTERO

El mortero está constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino, a los cuales se añade la máxima cantidad de agua para que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin que se produzca segregación del agregado. El mortero cumple la función de adherir y corregir las imperfecciones de las unidades de albañilería en el proceso constructivo, para que al final se forme un conjunto durable denominado albañilería.

El mortero tiene propiedades en su estado plástico y en su estado endurecido. En el estado plástico la propiedad esencial del mortero es su trabajabilidad, que es la cualidad de poder ser manipulado con el badilejo y de adherirse a las superficies de las unidades de albañilería,

logrando un contacto íntimo y completo que corrige las irregularidades de las unidades de albañilería. En su estado endurecido las propiedades principales son la adhesión con las unidades de albañilería y la resistencia a compresión.

Se utilizó mortero en proporción volumétrica 1: 0: 4 (cemento: cal: arena); el cemento utilizado fue Pórtland tipo I (Cemento Andino) y la arena fue gruesa, natural, y libre de materia orgánica y sales. Estas características del mortero se mantuvieron en las cuatro series realizadas para este trabajo de investigación.

Figura 5.3. Fotografía donde se observa la mezcla del cemento con la arena gruesa.



Según la NTE E.070 Albañilería (SENCICO 2004); nuestro mortero es del tipo P2, que es empleado para la construcción de muros portantes.

### 5.2.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CUBOS DE MORTERO ( $f'_{\text{mortero}}$ )

Se tomaron 5 probetas cúbicas de mortero de 5 cm de arista, por cada jornada de construcción de las pilas. Estas probetas fueron curadas en agua y después de 28 días de edad fueron ensayadas a compresión axial (figura 5.4) a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina universal de 1 mm /min.

Figura 5.4. Fotografía del cubo de mortero al momento de ser ensayado en la máquina universal.



A continuación se muestra los pasos que se siguieron en la fabricación de los prismas de mortero, hasta antes de ser ensayadas.

- **PASO 1:**

Se toma una muestra del mortero que es usado en la construcción de las pilas.



- **PASO 2:**

Después de limpiar y engrasar las celdas del molde metálico, se vierte el mortero hasta que llegue a cubrir aproximadamente las 2/3 de altura de cada una de las 5 celdas.



- **PASO 3:**



Con la ayuda de un pisón se procede a dar golpes perpendiculares al molde en cada celda, dando 32 golpes, en 2 series de 16.

- **PASO 4:**

Se vierte una segunda capa de mortero en cada celda, hasta que rebase su altura, después se apisonar dándole 32 golpes. Entre los pasos 3 y 4 se dan 64 golpes, con lo cual se logra compactar el mortero.



- **PASO 5:**

Después de unos minutos se enrasa la superficie para darle la forma de cubos al mortero. En el molde se dejan las probetas por 24 horas, para después desmoldarlas y sumergirlas en una poza de agua hasta la fecha de ensayo.



- **PASO 6:**



Luego de 28 días, las probetas de mortero se retiran del agua para ser medidas y ensayadas.

La resistencia a compresión del mortero ( $f'_{mortero}$ ), se halla restando una desviación estándar ( $\sigma$ ) al promedio de la muestra. La resistencia de cada probeta prismática se calcula dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la superficie de asiento.

Para hallar la resistencia a compresión del mortero se usa las siguientes fórmulas:

$$\text{Resistencia de la probeta de mortero } (R_{mortero}) = \frac{\text{Carga de rotura}}{\text{Área}}$$

$$f'_{\text{mortero}} = \bar{R}_{\text{mortero}} - \sigma$$

Donde:

$f'_{\text{mortero}}$  = Resistencia a compresión del mortero (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\bar{R}_{\text{mortero}}$  = Promedio de la resistencia a compresión del mortero de la muestra (Kg /cm<sup>2</sup>).

$\sigma$  = Desviación estándar de la muestra (Kg /cm<sup>2</sup>).

Los resultados promedios obtenidos de los ensayos a compresión, así como los coeficientes de variación, se muestran en la tabla 07.

<b>TABLA 07</b> <b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS CÚBICAS DE MORTERO</b>						
Serie	Fecha	Proporción Volumétrica	Compresión Axial (Kg/cm <sup>2</sup> )			Coeficiente de Variación
			Promedio	$\sigma$	$f'_{\text{mortero}}$	
1	Diciembre 2004	1: 0 : 4	199	32	167	16%
2	Junio 2005	1: 0 : 4	243	33	210	13%
3 y 4	Setiembre 2005	1: 0 : 4	151	8	143	5%

De la tabla 07 se aprecia que el coeficiente de variación es menor a 20%, límite superior establecido por la NTE E.070 Albañilería (SENCICO 2004).

## **6 CONSTRUCCIÓN DE LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA (PILAS)**

El parámetro principal de las pilas de albañilería a definir en esta investigación es la altura, esta característica se definió usando el rango de esbelteces especificado en la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004). Además, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Facilidad constructiva, empleando un número entero de unidades.
- Almacenamiento en obra de las pilas.
- Facilidad en el transporte desde la obra hasta el laboratorio.
- Maniobrabilidad en el laboratorio, al momento de colocar el refrentado a las pilas y en la instalación de las pilas en la máquina de ensayo.

Con estas consideraciones se construyeron pilas de 2, 3, 4, 5 y 6 hiladas, para las dos primeras series hechas con ladrillos Rex industrial. Y para las dos últimas series hechas con unidades artesanales (Fortaleza) e industriales (Lark) se construyeron pilas de 2, 3, 4 y 5 hiladas. Por cada serie y por cada altura, se construyeron 4 pilas, lo que dio lugar aun total de 72 pilas.

En todos los prismas se mantuvo constante los materiales así como la mano de obra, además cada prisma se ensayó a los 28 días de edad, con lo cual también se mantuvo constante el tiempo de fraguado.

Para la construcción de las pilas por cada serie de ladrillos, se adquirieron 250 unidades de albañilería, luego de eliminar las unidades rajadas por el transporte y otras que presentaban un color no uniforme, se seleccionaron 80 unidades para la construcción de los prismas. Por

motivos de rendimiento de la máquina de compresión se planificó la construcción de 4 prismas diarios. Por lo tanto, la construcción de los 20 prismas (que corresponde a una serie de ladrillos) se realizó en 5 días de trabajo.

Para la construcción de las pilas se siguieron los siguientes pasos:

- **PASO 1:**

15 horas antes de la construcción de los prismas de albañilería se procedió a regar los ladrillos de arcilla durante media hora.



- **PASO 2:**



Las unidades se asentaron una sobre otra con las superficies limpias de polvo y sin agua libre. El asentado se realizó presionando verticalmente las unidades sin bambolearlas.

- **PASO 3:**

Los prismas se construyeron verificando su verticalidad con una plomada y un nivel.



- **PASO 4:**



El espesor de las juntas de mortero fue de 1 cm y se controló este grosor con una regla de madera (escantillón), previamente a esta regla se le hacen unas marcas que indican la altura de cada una de la hiladas a colocar.

Con todos los prismas se tuvo mucho cuidado al momento de transportarlos, solo se movieron para el proceso de refrentado una semana antes del ensayo y el mismo día del ensayo, teniendo cuidado de no causar daños.

## 7 TÉCNICA DE ENSAYO

En este capítulo se describirán los procedimientos empleados antes y en el día del ensayo de las pilas de albañilería.

### 7.1 PREPARACIÓN PARA EL ENSAYO

Las pilas de albañilería antes de ser ensayadas fueron medidas. Se midió solamente la altura, ya que el ancho y el largo de las pilas son iguales al ancho y largo de los ladrillos. La altura es la medida comprendida entre los bordes de la cara superior e inferior del prisma. Para determinar la altura se promediaron cuatro medidas provenientes de medir la altura en cada cara lateral del prisma.

Para eliminar las irregularidades de las superficies en contacto con los cabezales del equipo de ensayo, se utilizó un refrentado superior e inferior (figura 7.1), compuesto por una mezcla de yeso y cemento; este refrentado se realizó una semana antes del día del ensayo, para así evitar posibles problemas por falta de resistencia debido a un recubrimiento reciente. El refrentado de yeso y cemento es una mezcla muy rica en cemento, por este motivo el tiempo de fraguado de la mezcla es muy corto.



Figura 7.1. Refrentado de yeso cemento.

El procedimiento de refrentado con yeso – cemento comienza con el relleno de las perforaciones del prisma con papel, después se pasa una brocha con un sellador por toda la superficie donde va a ir el refrentado, para después colocar perfiles de aluminio o tripley en las cuatro caras superiores del prisma. La función de los perfiles es servir como encofrado del recubrimiento. Finalmente se esparció uniformemente la mezcla con la ayuda de un badilejo y se la dejó secar por un día, para después proceder de la misma manera con el recubrimiento del otro extremo del prisma.

El refrentado superior e inferior del prisma deben ser paralelos, además el espesor promedio de la capa de revestimiento no excederá de 3 mm, según el NTP 339.605. Método de Ensayos para la Determinación de la Resistencia en Compresión de Prismas de Albañilería.

## 7.2 PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN EL ENSAYO

El día del ensayo, se procedió a una última limpieza de las pilas de albañilería con una brocha para retirar el polvo, luego fueron trasladadas hacia el lugar del ensayo.

El equipo de ensayo consta de un pórtico metálico de reacción, que sirve de apoyo a una celda de carga en su extremo superior y a una gata hidráulica que se aloja en la parte inferior del pórtico, accionada por una bomba eléctrica. Para realizar los ensayos se usó una celda de carga y una gata hidráulica de 200 toneladas de capacidad. Los prismas a ensayar presentaban diferentes alturas, debido a esto se redujo el espacio libre entre el cabezal superior (celda de carga) e inferior (gata hidráulica) a razón de 10 centímetros por cada esbeltez.

Los platos de carga superior e inferior siempre fueron lo suficientemente grandes para albergar a las caras extremas del prisma,

sobrepasando la distancia mínima de 6 mm que debe existir entre el borde libre del prisma y el borde del plato de carga (según el NTP 339.605).

Para instalar cada prisma en la máquina de ensayo, se limpiaron los platos de carga superior e inferior para eliminar posibles residuos de otros ensayos, para luego colocar el prisma encima del plato de carga inferior, luego, se alineó los ejes centroidales del espécimen con el centro de la máquina de ensayo (figura 7.2).

Figura 7.2. Pila instalada en el dispositivo de ensayo.



El ensayo de compresión axial fue de carga controlada, a una velocidad de 5 ton/min. Las cargas fueron aplicadas hasta provocar la rotura de las pilas, instante donde se registró la carga máxima que puede soportar la pila de albañilería.

## 8 RESULTADO DE LOS ENSAYOS

Después de ensayar las pilas de albañilería se obtiene datos cuantitativos como las cargas de rotura y cualitativos como las formas de falla de las pilas, que a continuación se describen.

### 8.1 RESULTADOS NUMÉRICOS

En la tabla 08: Cargas Máximas Obtenidas en Cada Pila Ensayada, se puede apreciar:

- El tipo de unidad con el que se construyeron las pilas.
- El número de serie y las fábricas de procedencia de los ladrillos.
- Las dimensiones y el número de hiladas de cada pila.
- La esbeltez de cada prisma de albañilería, que es la relación que existe entre la altura y el lado menor del prisma.
- Las cargas máximas soportadas por cada prisma, mostrando también el promedio ( $P_{prom}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_{est. des.}$ ) de los 4 prismas con la misma esbeltez, para después restarle al promedio una desviación estándar y mostrar la carga máxima característica ( $P_{prom} - \sigma$ ).
- Por último se muestra la dispersión porcentual de los 4 prismas ensayados con la misma esbeltez. Esta dispersión se halló dividiendo una desviación estándar entre la resistencia promedio, expresada en porcentaje.



## 8.2 FORMAS DE FALLA DE LAS PILAS

La falla ideal de las pilas de albañilería es una grieta vertical que atraviesa a todas las unidades y al mortero, esta falla es producida por la tracción lateral (figura 8.1). Por el contrario las fallas por trituración son indeseables porque son fallas muy frágiles (figura 8.2), este tipo de fallas son producidas por lo general cuando se utiliza unidades huecas.

Figura 8.1. Falla ideal de la pila de albañilería.

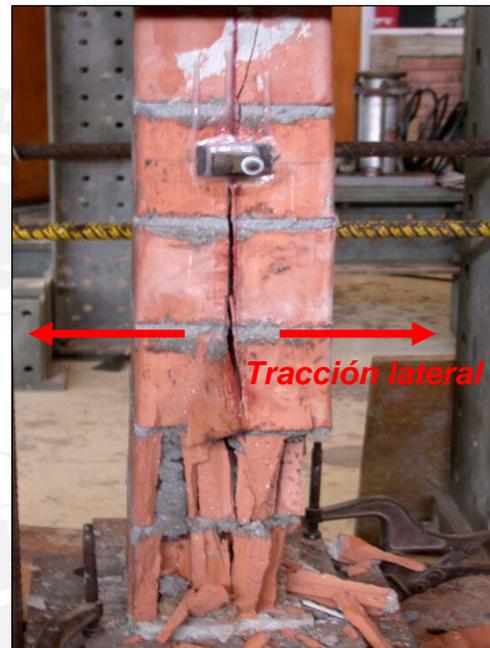


Figura 8.2. Falla por trituración de la pila de albañilería.

En los cuadros 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3 y 8.2.4 se muestra las formas de falla de las pilas ensayadas a compresión axial. En todos los casos la falla fue frágil.

En las fallas de las pilas construidas con ladrillos de arcilla industrial se observó lo siguiente:

- Que las pilas construidas con 4, 5 y 6 hiladas presentaron una grieta vertical que atravesó los ladrillos y el mortero, en la cara más esbelta del prisma (vista de perfil), para inmediatamente después deslaminarse las caras laterales de las pilas.
- Las pilas construidas con 2 y 3 hiladas colapsaron de un momento a otro, sin formar ninguna grieta vertical. La falla en estas pilas fue más frágil que la de las pilas esbeltas, escuchándose un mayor ruido al colapsar.

Todas las pilas construidas con ladrillos de arcilla artesanal presentaron grietas verticales, que atravesaron a dos ladrillos y al mortero presente entre estos ladrillos, para después desviarse hacia una de las caras del prisma. También, estas pilas no se deslaminaron después de la formación de las grietas, esto se debe principalmente a que los ladrillos no presentan perforaciones.

En el cuadro 8.2.2 para la pila construida con 5 hiladas (E5), se observa que la falla del prisma se produjo por aplastamiento del ladrillo superior, producto de la baja resistencia a compresión de esa unidad frente al resto de unidades usadas en ese prisma. Este resultado era previsible, debido a que el coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las unidades de albañilería ( $f'_b$ ) fue de 33%.









## 9 PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos obtenidos de los ensayos realizados (tabla 08) fueron procesados, de acuerdo a los pasos que se mencionan a continuación, con la finalidad de obtener los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ). El resultado del procesamiento de los resultados experimentales aparece en la tabla 09.

### 9.1 DEPURACIÓN DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS

Los resultados inconsistentes (de color azul en la tabla 08) fueron eliminados de tal modo que por lo menos queden 3 pilas o ninguna por cada serie que consta de 4 pilas de igual esbeltez. Los resultados inconsistentes son aquellos valores máximos o mínimos que no guardan coherencia con los resultados esperados. Por ejemplo:

- Toda la serie 2, hecha con ladrillos Rex en el mes de Junio, fue eliminada debido a que las pilas de mayor esbeltez soportaron mayor carga axial que las pilas de menor esbeltez. Esto pudo deberse a la alta dispersión de resultados (33%) que tuvo el ladrillo Rex en el ensayo de compresión de la unidad.
- La serie 4, hecha con ladrillos artesanales Fortaleza de cuatro hiladas ensayada en el mes de Setiembre, fue eliminada porque su coeficiente de variación (31%) fue mayor que 20%. La Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004) establece que el coeficiente de variación debe ser igual o menor a 20%.

## 9.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA

La resistencia a compresión de cada pila se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta cargada.

El área bruta de los prismas es igual al área de asentado de las unidades de albañilería. El ancho y el largo de las unidades de albañilería se muestran en la tabla 06.

## 9.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN AXIAL DE LA ALBAÑILERÍA ( $f'_m$ )

El valor de  $f'_m$  se halló para cada una de las esbelteces, como el valor promedio de la resistencia de las pilas de albañilería menos una desviación estándar de la muestra.

## 9.4 CÁLCULO DE $f'_m$ PARA LA ESBELTEZ NORMALIZADA A 5 ( $f'_m (E=5)$ )

La esbeltez normalizada que utiliza la NTE E.070 Albañilería es igual 5. Como ninguno de los prismas construidos presentaba dicha esbeltez, se procedió a predecir dicho valor mediante una interpolación lineal de los valores depurados. Estos valores aparecen de color azul en la tabla 09.

## 9.5 COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ )

El coeficiente de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) para cada serie construida de igual esbeltez (2 hiladas, 3 hiladas, etc.), se halló dividiendo el valor de  $f'_m$  para la esbeltez normalizada a 5 ( $f'_{m(E=5)}$ ) entre el valor de  $f'_m$  hallado para dicha esbeltez.

$$C_{ce} = \frac{f'_{m(E=5)}}{f'_m}$$

## 9.6 CURVA DE AJUSTE PARA LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ )

Utilizando los valores de  $C_{ce}$  hallados y sus valores correspondientes de esbeltez ( $E$ ), se trazó una curva polinómica de ajuste (ver gráfico 9.1.). Obteniendo la siguiente ecuación cuadrática como curva de tendencia:

$$C_{ce} = -0.0056E^2 + 0.1141E + 0.5701$$

**GRÁFICO 9.1. COEFICIENTE DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) OBTENIDOS DE FORMA EXPERIMENTAL**

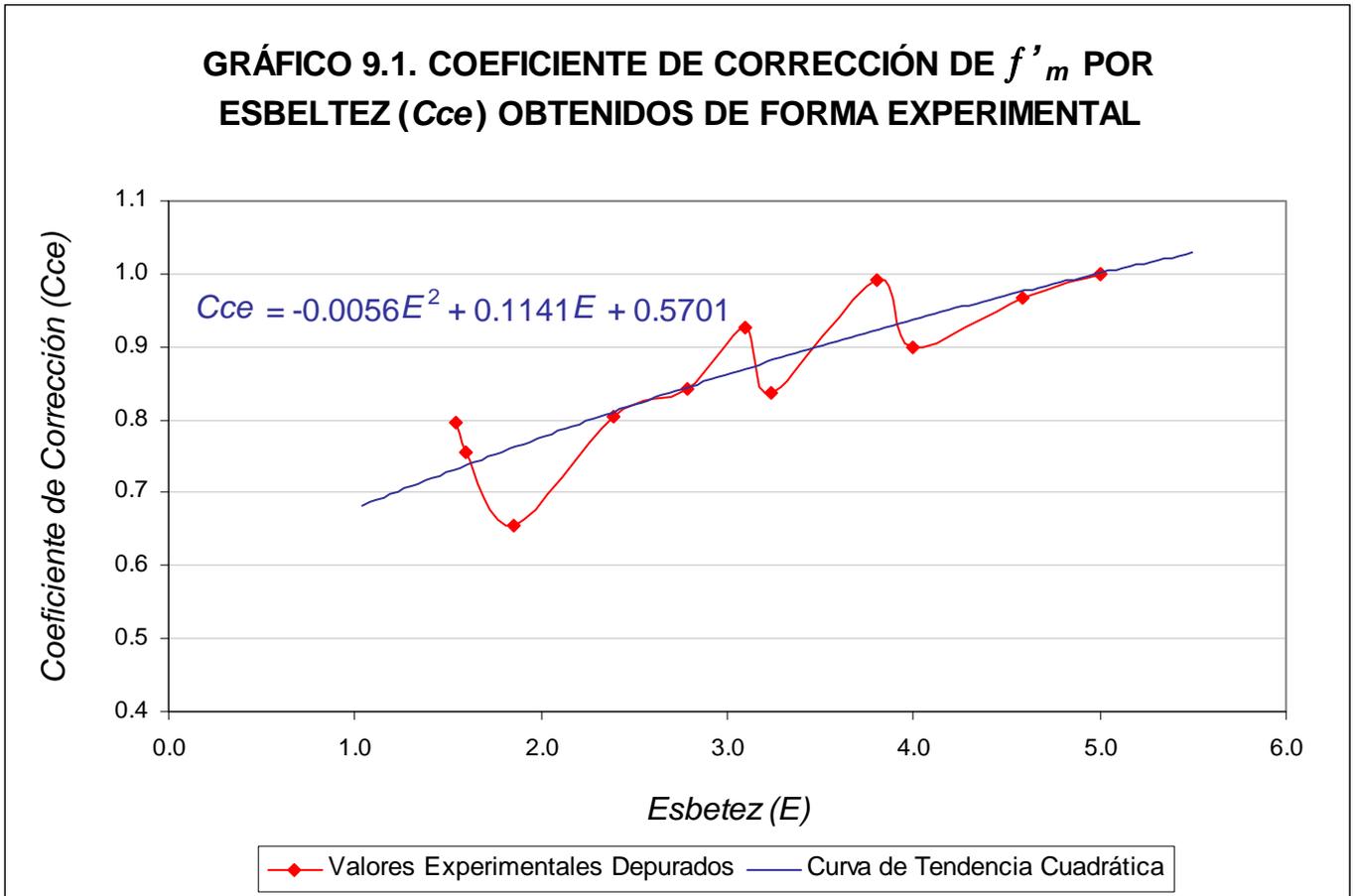


Gráfico 9.1. Coeficiente de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) obtenidos de forma experimental.

Evaluando los coeficientes  $C_{ce}$  con la ecuación encontrada para las esbelteces especificadas en la NTE E070 Albañilería (SENCICO 2004), se obtiene la tabla 10.

TABLA 10						
COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) – ECUACIÓN EXPERIMENTAL						
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
$C_{ce}$	0.78	0.82	0.86	0.94	0.97	1.00



## 10 COMPARACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ )

Para poder comparar los Coeficientes de Corrección de  $f'_m$  por Esbeltez ( $C_{ce}$ ) obtenidos de la curva de ajuste (ecuación experimental), norma E.070 (SENCICO 2004), normas extranjeras (mexicana y ASTM) y usando el método de elementos finitos, tienen que estar normalizados a una misma esbeltez. Debido a esto se toma la esbeltez normalizada de la NTE E.070 Albañilería (SENCICO 2004) que es igual a 5. Estos valores ya normalizados aparecen en la gráfica 10.1 y en la tabla 11.

En la tabla 11 también se puede apreciar la diferencia porcentual entre los valores obtenidos de la curva de ajuste de los valores experimentales y el resto de valores obtenidos de las diferentes normas, así como de los obtenidos por el método de elementos finitos. Para realizar las comparaciones solo se utilizó los  $C_{ce}$  dados por cada norma, Sin interpolar para otras esbelteces.





Se puede apreciar de la Gráfica 10.1 y la tabla 11 lo siguiente:

- Los valores de  $C_{ce}$  obtenidos por el método de elementos finitos presentan una marcada diferencia porcentual con los valores de  $C_{ce}$  obtenidos de forma experimental. Observándose en el caso más crítico, para una esbeltez igual a 2, una diferencia de 22%.
- Sin considerar los valores de  $C_{ce}$  hallados por el método de elementos finitos, los demás son muy parecidos para esbelteces comprendidas entre 3 y 5; por el contrario, para esbelteces menores que 3, los valores de  $C_{ce}$  sufren variaciones significativas.
- El valor de  $C_{ce}$  hallado con la ecuación experimental para una esbeltez de 1.3 es mayor en 14% que el valor dado por la norma ASTM. Esto podría deberse a que el menor valor de esbeltez que se obtuvo al construir las pilas fue de 1.54 (pila de 2 hiladas), con lo cual la ecuación de ajuste pierde precisión para valores menores de 1.54 de esbeltez.

## 11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en este trabajo, se presentan a continuación:

### 11.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se vierten en este capítulo se limitan al caso de pilas construidas con ladrillos de arcilla, de fabricación artesanal e industrial. Estas conclusiones son:

1. La curva de tendencia de los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez de las pilas de albañilería ensayadas a compresión axial, mostraron una mejor aproximación hacia los valores dados por la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería (SENCICO 2004), en comparación con los de la norma ASTM C1314, 2003 y con los coeficientes obtenidos de manera analítica. Por esto se debe de usar los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) de la norma de albañilería peruana (SENCICO 2004).
2. La norma nacional NTP 399.613 (INDECOPI 2003) al igual que la norma extranjera ACI 530.1 y la colombiana NSR 98, utilizan los factores  $C_{ce}$  especificados por la norma ASTM C1314, 2003, en tanto que los coeficientes  $C_{ce}$  de la norma E.070 (SENCICO 2004) se asemejan más a los de la norma mexicana UNAM, 2003.
3. Los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) obtenidos usando el método de elementos finitos no reflejan el verdadero comportamiento de los prismas; debido a que fueron modelados con las características de un sólo material, cuando en la realidad están compuestas por 2 tipos de materiales: el mortero y la unidad

de albañilería. Reflejar la interacción entre estos materiales es imposible por: 1) La penetración aleatoria del mortero en los alvéolos de las unidades de albañilería, 2) La absorción de los cementantes del mortero en los poros de las unidades de albañilería, que forman cristales en la interfase mortero - unidad de albañilería y producen el engrape mecánico entre estos dos materiales, y 3) El desconocimiento de las propiedades de la capa de mortero (1 cm de grosor), luego de haberse producido la transferencia de agua y de cementantes hacia los ladrillos.

4. Comparando los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) obtenidos experimentalmente con los coeficientes dados por las normas extranjeras y nacionales mencionadas en este informe, se determinó que para esbelteces mayores que 3 y menores que 5, los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez ( $C_{ce}$ ) son numéricamente muy parecidos, obteniendo una diferencia porcentual máxima igual a 2%. Por lo tanto se debería exigir que la esbeltez mínima de los prismas de albañilería (pilas) sea igual a 3, como lo exige la norma Chilena. Cabe indicar que para la norma chilena  $C_{ce} = 1$ , sin embargo, de acuerdo a los experimentos hechos, en este trabajo, para una esbeltez de 3,  $C_{ce} = 0.86$ , con lo cual en esa norma se estaría obteniendo un error de 14% para la esbeltez citada.
5. La norma nacional INDECOPI 2003, que se basa en la norma ASTM C1314, utiliza una esbeltez nominal igual a 2 ( $C_{ce}$  es igual a 1 para la esbeltez igual a 2), a diferencia de la norma SENCICO 2004, que establece una esbeltez nominal igual a 5. Comprobándose experimentalmente que los valores  $C_{ce}$  son muy sensibles para esbelteces menores que 3, se debe de exigir que se utilice una esbeltez estándar igual a 5.

6. La resistencia a compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ) depende directamente de la resistencia a compresión de las unidades de albañilería ( $f'_b$ ). Valores muy dispersos de  $f'_b$  darán valores incoherentes de  $f'_m$ , como por ejemplo: que las pilas de mayor esbeltez resistan más carga axial que las pilas de menor esbeltez. Debido a esto se considera que es una buena medida, establecida en la norma SENCICO 2004, la de establecer como criterio de aceptación de las unidades de albañilería industriales, un Coeficiente de Variación igual o menor a 20%; reduciendo así en 10% el criterio de aceptación establecido en la norma anterior ININVI 1982.

## 11.2 RECOMENDACIONES

Al concluir este trabajo de investigación se presenta la siguiente recomendación para que sea tomada en cuenta en las futuras normas de albañilería.

Los coeficientes de corrección de  $f'_m$  por esbeltez deben ser los especificados por la norma E.070 (SENCICO 2004), pero que solo se permita relaciones altura entre espesor del prisma (esbeltez) mayores o iguales a 3 y menores que 5, esto debido principalmente a:

- La forma de falla de las pilas con esbelteces menores que 3 es por trituración del ladrillo y no por tracción lateral, que es la falla ideal de la albañilería. En los especímenes de poca esbeltez los cabezales de la máquina de ensayo influyen en toda la altura del prisma, reduciendo su deformación lateral con lo cual se incrementa la resistencia de la albañilería, a diferencia de las pilas con mayor esbeltez, donde el tercio central de la altura de la pila no tiene restricciones para deformarse lateralmente, salvo la que proporciona la misma albañilería.

- Los resultados obtenidos experimentalmente de los coeficientes de corrección de  $f'_m$  para esbelteces menores a 3, presentan marcadas diferencias con los Coeficientes dados por las diferentes normas de albañilería.
- Para construir pilas que tengan una esbeltez igual a 3, usando materiales peruanos, se necesitaría asentar 4 ladrillos (aproximadamente 40 cm de altura), las pilas con estas dimensiones son fáciles de construir, transportar y almacenar.



## REFERENCIAS

- ACI 530.1, 2002. Building Code Requirements for Masonry Structures Reported by the Masonry Standards Joint Committee.
- ASTM C1314, 2003. Standard Test Method for Constructing and Testing Masonry Prisms Used to Determine Compliance with Specified Compressive Strength of Masonry.
- INDECOPI, 2004. NTP 399.613. Unidades de Albañilería. Método de Muestreo y Ensayo de Ladrillos de Arcilla Usados en Albañilería. Perú.
- ININVI, 1982. Norma E.070 Albañilería Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda. Perú.
- INDECOPI, 2003. NTP 399.605. Método de Ensayo para la Determinación de la Resistencia a Compresión de Prismas de Albañilería. Perú.
- NCh, 1997. Norma Chilena Oficial 2121. Of97. Albañilería Confinada – Requisitos de diseño y Cálculo. Instituto Nacional de Normalización. Chile.
- NSR, 1998. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Título D – Mampostería Estructural. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Colombia.
- SENCICO, 2004. Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería. Comité Técnico de la Norma E.070.
- UNAM, 2003. Normas Técnicas Mexicanas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. México.

## ÍNDICE DE TABLAS

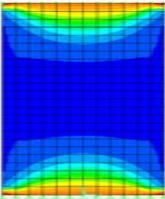
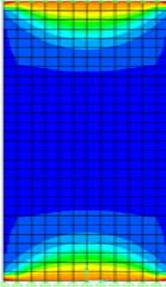
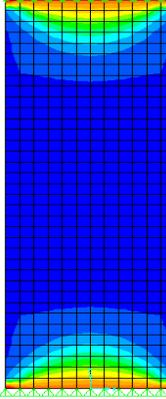
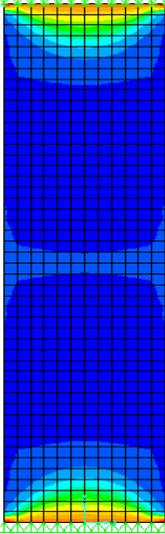
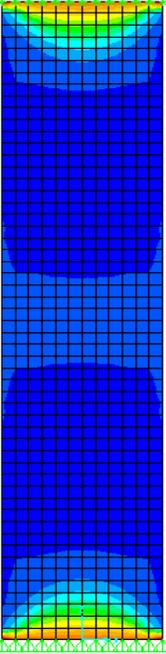
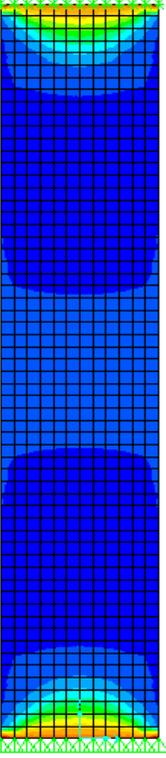
<b>TABLA 01.</b> Coeficientes de Corrección de $f'_m$ por Esbeltez según las Normas de Albañilería	10
<b>TABLA 02.</b> Esfuerzo de Tracción ( $\sigma_{11}$ ) en la Dirección Perpendicular a la Longitudinal de las Pilas de Albañilería Modeladas por el Programa SAP2000	15
<b>TABLA 03.</b> Deformación Horizontal ( $\delta$ ) de las Pilas de Albañilería Modeladas por el Programa SAP2000	16
<b>TABLA 04.</b> Cálculo de los Coeficientes de Corrección de $f'_m$ por Esbeltez ( $C_{ce}$ ) por el Método de Elementos Finitos	19
<b>TABLA 05.</b> Dispersión Porcentual de Resultados en el Ensayo de Compresión	24
<b>TABLA 06.</b> Características de las Unidades de Albañilería	34
<b>TABLA 07.</b> Resistencia a Compresión de las Probetas Cúbicas de Mortero	41
<b>TABLA 08.</b> Cargas Máximas Obtenidas en cada Pila Ensayada	49
<b>TABLA 09.</b> Evaluación del Coeficiente de Corrección de $f'_m$ por Esbeltez ( $C_{ce}$ )	60
<b>TABLA 10.</b> Coeficientes de Corrección de $f'_m$ por Esbeltez ( $C_{ce}$ ) – Ecuación Experimental	59

**TABLA 11.** Comparación de los Coeficientes de Corrección de  $f'_m$   
por Esbeltez ( $C_{ce}$ )



**TABLA 02**

**ESFUERZO DE TRACCIÓN ( $\sigma_{11}$ ) EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A LA LONGITUDINAL DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA MODELADAS POR EL PROGRAMA SAP2000**

Escala Gráfica	-52.0 -48.0 -44.0 -40.0 -36.0 -32.0 -28.0 -24.0 -20.0 -16.0 -12.0 -8.0 -4.0 0.0					
<p>Diagrama de esfuerzos horizontales (<math>\sigma_{11}</math>) en el modelo de los prismas de albañilería</p>						
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Esfuerzo ( $\sigma_{11}$ ) máximo	1.3059 Kg/cm <sup>2</sup>	0.8360 Kg/cm <sup>2</sup>	0.8299 Kg/cm <sup>2</sup>	0.8126 Kg/cm <sup>2</sup>	0.8030 Kg/cm <sup>2</sup>	0.8027 Kg/cm <sup>2</sup>



**TABLA 03**  
**DEFORMACIÓN HORIZONTAL ( $\delta$ ) DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA MODELADAS POR EL PROGRAMA**  
**SAP2000**

Escala Gráfica	-7.20 -6.00 -4.80 -3.60 -2.40 -1.20 0.00 1.20 2.40 3.60 4.80 6.00 7.20 8.40E-3					
Diagrama de las deformación horizontal ( $\delta$ ) en el modelo de los prismas de albañilería						
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Deformación máxima ( $\delta$ )	0.007780 cm	0.007780 cm	0.007780 cm	0.007780 cm	0.007780 cm	0.007780 cm



**TABLA 04**

**CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ ) POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Pila Modelada	Esbeltez ( $E$ )	Dimensiones de las Pilas (cm)			Fuerza de Compresión (Kg)	$\sigma_{11}$ máx tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_m$ supuesto (Kg/cm <sup>2</sup> )	$C_{ce}$
		Ancho	Largo	Altura				
P <sub>1</sub>	2.0	12	24	24	48000	1.3059	162.69	0.61
P <sub>2</sub>	2.5	12	24	30	48000	0.8360	104.15	0.96
P <sub>3</sub>	3.0	12	24	36	48000	0.8299	103.39	0.97
P <sub>4</sub>	4.0	12	24	48	48000	0.8126	101.23	0.99
P <sub>5</sub>	4.5	12	24	54	48000	0.8030	100.04	1.00
P <sub>6</sub>	5.0	12	24	60	48000	0.8027	<b>100.00</b>	1.00

**TABLA 06**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA**

	<i>Fecha:</i>	<b>Diciembre 2004</b>	<b>Junio 2005</b>	<b>Setiembre 2005</b>	
	<i>Fábrica:</i>	<b>Rex – Serie 1</b>	<b>Rex – Serie 2</b>	<b>Lark – Serie 3</b>	<b>Fortaleza – Serie 4</b>
	<i>Unidad:</i>	<b>King Kong Industrial</b>	<b>King Kong Industrial</b>	<b>King Kong Industrial</b>	<b>King Kong Artesanal</b>
<b>Dimensiones Promedio</b>	<b>Largo</b>	240 mm	241 mm	243 mm	212 mm
	<b>Ancho</b>	132 mm	133 mm	131 mm	119 mm
	<b>Altura</b>	90 mm	91 mm	93 mm	98 mm
<b>Variación Dimensional</b>	<b>Largo</b>	1 %	1 %	1 %	1 %
	<b>Ancho</b>	0 %	0 %	1 %	1 %
	<b>Altura</b>	2 %	1 %	3 %	2 %
<b>Alabeo</b>		1 mm	1 mm	2 mm	1 mm
<b>Resistencia a Compresión <math>f'_b</math></b> <i>(*)Coeficiente de Variación</i>		180 Kg/cm <sup>2</sup> 22 %	107 Kg/cm <sup>2</sup> 33 %	213 Kg/cm <sup>2</sup> 11 %	83 Kg./cm <sup>2</sup> 21 %
<b>Tipo de Unidad de Albañilería según la Norma E.070 Albañilería</b>		Ladrillo V	Ladrillo III	Ladrillo V	Ladrillo II
<b>Succión</b>		32 g/200 cm <sup>2</sup> -min	26 g/200 cm <sup>2</sup> -min	-	-
<b>Absorción</b>		14 %	13 %	15 %	12 %

*(\*) El coeficiente de Variación o Dispersión Porcentual de resultados se halla dividiendo una desviación estándar entre el promedio de la muestra, expresado en porcentaje.*

**TABLA 08**  
**CARGAS MÁXIMAS OBTENIDAS EN CADA PILA ENSAYADA**

Unidad	Serie	Fábrica	Hiladas	Dimensiones de las pilas (mm)			Esbeltez	Carga máxima soportada por los prismas (KN)						Dispersión Porcentual	
				Altura	Espesor	Ancho		P1	P2	P3	P4	P <sub>prom</sub>	$\sigma$ des. est.		P <sub>prom</sub> - $\sigma$
Artesanal	Serie 4	Fortaleza	2H	220	119	212	1.85	<b>183.75</b>	<b>186.76</b>	<b>181.74</b>	<b>167.68</b>	179.98	8.46	171.53	4.7%
			3H	332			2.79	<b>130.26</b>	<b>141.01</b>	<b>158.53</b>	<b>136.54</b>	141.59	12.13	129.46	8.6%
			4H	438			3.68	<b>141.84</b>	<b>174.16</b>	<b>90.77</b>	<b>97.99</b>	<b>126.19</b>	<b>39.14</b>	<b>87.05</b>	<b>31.0%</b>
			5H	546			4.59	<b>123.50</b>	<b>164.67</b>	<b>154.63</b>	<b>124.51</b>	141.83	20.99	120.84	14.8%
Industrial	Serie 1	Rex	2H	205	133	241	1.54	<b>322.41</b>	<b>499.37</b>	<b>371.43</b>	<b>434.95</b>	407.04	76.89	330.15	18.9%
			3H	310			2.33	<b>227.19</b>	<b>247.63</b>	<b>257.02</b>	<b>267.41</b>	<b>249.81</b>	<b>17.11</b>	<b>232.70</b>	<b>6.8%</b>
			4H	412			3.10	<b>317.45</b>	<b>333.90</b>	<b>351.40</b>	<b>330.39</b>	333.29	14.00	319.29	4.2%
			5H	505			3.80	<b>329.79</b>	<b>443.62</b>	<b>418.19</b>	<b>314.77</b>	376.59	63.86	312.73	17.0%
			6H	640			4.81	<b>415.10</b>	<b>417.86</b>	<b>327.70</b>	<b>312.29</b>	368.24	56.07	312.17	15.2%
	Serie 2	Rex	2H	204	133	241	1.53	<b>303.41</b>	<b>337.56</b>	<b>332.54</b>	<b>424.99</b>	<b>349.63</b>	<b>52.45</b>	<b>297.17</b>	<b>15.0%</b>
			3H	304			2.29	<b>450.13</b>	<b>466.21</b>	<b>243.16</b>	<b>292.37</b>	<b>362.97</b>	<b>111.94</b>	<b>251.02</b>	<b>30.8%</b>
			4H	411			3.09	<b>516.50</b>	<b>386.79</b>	<b>494.36</b>	<b>285.33</b>	<b>420.75</b>	<b>106.58</b>	<b>314.16</b>	<b>25.3%</b>
			5H	510			3.83	<b>324.64</b>	<b>408.59</b>	<b>408.21</b>	<b>348.27</b>	<b>372.43</b>	<b>42.64</b>	<b>329.78</b>	<b>11.5%</b>
			6H	644			4.84	<b>209.08</b>	<b>407.43</b>	<b>412.11</b>	<b>519.85</b>	<b>387.12</b>	<b>129.55</b>	<b>257.56</b>	<b>33.5%</b>
	Serie 3	Lark	2H	210	131	243	1.60	<b>415.93</b>	<b>441.08</b>	<b>480.32</b>	<b>514.54</b>	462.97	43.41	419.56	9.4%
			3H	313			2.39	<b>386.76</b>	<b>380.73</b>	<b>471.26</b>	<b>466.23</b>	426.25	49.18	377.07	11.5%
			4H	425			3.24	<b>379.89</b>	<b>454.30</b>	<b>456.30</b>	<b>389.90</b>	420.10	40.86	379.24	9.7%
			5H	524			4.00	<b>398.83</b>	<b>442.08</b>	<b>352.57</b>	<b>371.68</b>	391.29	38.82	352.47	9.9%



**TABLA 09**  
**EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ )**

Unidad	Serie	Fábrica	Hiladas	Esbeltez	Carga máxima (KN)			Dispersión Porcentual	$f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$C_{ce}$
					P <sub>prom</sub>	$\sigma$ des. est.	P <sub>prom - <math>\sigma</math></sub>			
Artesanal	Serie 4	Fortaleza	2H	1.85	179.98	8.46	171.53	4.7%	69.33	0.656
			3H	2.79	145.36	11.62	133.74	8.0%	54.06	0.842
			5H	4.59	134.21	17.69	116.52	13.2%	47.10	0.966
				<b>5.00</b>					<b>45.51</b>	<b>1.000</b>
Industrial	Serie 1	Rex	2H	1.54	435.25	63.97	371.28	14.7%	119.51	0.797
			4H	3.10	333.29	14.00	319.29	4.2%	102.77	0.927
			5H	3.80	354.25	55.88	298.37	15.8%	96.04	0.992
			6H	4.81	351.70	55.45	296.25	15.8%	95.36	0.999
		<b>5.00</b>					<b>95.23</b>	<b>1.000</b>		
	Serie 3	Lark	2H	1.60	462.97	43.41	419.56	9.4%	134.40	0.756
			3H	2.39	441.42	47.40	394.02	10.7%	126.22	0.805
			4H	3.24	420.10	40.86	379.24	9.7%	121.48	0.837
			5H	4.00	391.29	38.82	352.47	9.9%	112.91	0.900
			<b>5.00</b>					<b>101.63</b>	<b>1.000</b>	

**TABLA 11**  
**COMPARACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE  $f'_m$  POR ESBELTEZ ( $C_{ce}$ )**

Método o Norma	Esbeltez							
	1.30	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	4.50	5.00
Elementos Finitos	-	-	0.61	0.96	0.97	0.99	1.00	1.00
Norma E.070	-	-	0.73	0.80	0.86	0.95	0.98	1.00
Norma Mexicana	-	-	0.71	-	0.86	0.95	-	1.00
ASTM	0.61	0.70	0.82	0.85	0.88	0.94	-	1.00
<b>Ecuación Experimental</b>	<b>0.71</b>	<b>0.73</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.86</b>	<b>0.94</b>	<b>0.97</b>	<b>1.00</b>
Diferencia Porcentual entre la Ecuación Experimental y los Resultados del Análisis con Elementos Finitos y las Normas de Albañilería								
Elementos Finitos	-	-	21.8%	-17.1%	-12.8%	-5.3%	-3.1%	0.0%
Norma E.070	-	-	6.4%	2.4%	0.0%	-1.1%	-0.5%	0.0%
Norma Mexicana	-	-	9.0%	-	0.0%	-1.1%	-	0.0%
ASTM	14.1%	4.1%	-5.1%	-3.7%	-2.3%	0.0%	-	0.0%