

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA TRADICIONAL Y OTRO CARAVISTA

Por: Ángel San Bartolomé y José Ordóñez

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

La partida de tarrajeo en los muros de albañilería confinada tiene una incidencia importante en el costo de las viviendas. Para eliminar esta partida se requiere que la albañilería sea caravista y para reducir aún más los costos, puede emplearse ladrillos de arcilla del tipo King Kong industrial. Sin embargo, el uso de arena fina en el mortero y el bruñado de las juntas en el sistema caravista, reduce la resistencia a fuerza cortante de los muros. Por consiguiente, en este proyecto se pretende analizar mediante ensayos de carga lateral cíclica, la posibilidad de emplear muros caravista en la construcción de viviendas de hasta dos pisos.

1. INTRODUCCIÓN

Mediante el uso de muros de albañilería confinados del tipo caravista se pretende eliminar la partida de tarrajeo, la misma que tiene una incidencia importante en el costo de los muros confinados tradicionales. Para ello es necesario cuantificar experimentalmente la posible reducción de resistencia a fuerza cortante que tengan los muros caravista en comparación con la existente en los muros tradicionales, lo que permitirá decidir si la solución caravista es aplicable en la construcción de viviendas de hasta dos pisos.

La construcción de muros de albañilería caravista exige el uso de juntas bruñadas hechas con mortero de arena fina. Por otro lado, en la Ref.1 se indica que pequeños muretes de albañilería construidos con mortero de arena fina, ensayados a compresión diagonal, tuvieron una reducción significativa (44%) de la resistencia al corte en comparación con los muretes construidos con mortero de arena gruesa. De esta manera, en este proyecto fue necesario realizar ensayos de carga lateral cíclica en muros a escala natural, ya que de persistir esa gran reducción de resistencia, la solución albañilería caravista no procedería.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS

Para el desarrollo del proyecto se construyeron dos muros de albañilería confinada (Fig.1), con la misma geometría, el mismo refuerzo (en cada columna se utilizó 4 ϕ 1/2" y estribos de 1/4": 1 a 5 cm, 4 a 10 cm y el resto a 20 cm), el mismo ladrillo (King Kong industrial de buena apariencia), y la misma calidad del concreto ($f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$). Los parámetros que variaron fueron:

- La conexión albañilería-columna. El muro tradicional (MT) tuvo una conexión dentada, mientras que en el caravista (MC) la conexión fue a ras, con la adición de mechas de anclaje de 6 mm de diámetro espaciadas cada tres hiladas.
- La arena del mortero. En el muro tradicional MT se utilizó arena gruesa y en el caravista MC se empleó arena fina.
- Las juntas. En el muro tradicional MT las juntas fueron solaqueadas (a ras) y en el caravista MC fueron bruñadas. En ambos casos las juntas tuvieron 1 cm de espesor y la proporción volumétrica cemento-arena del mortero de asentado fue 1:4.

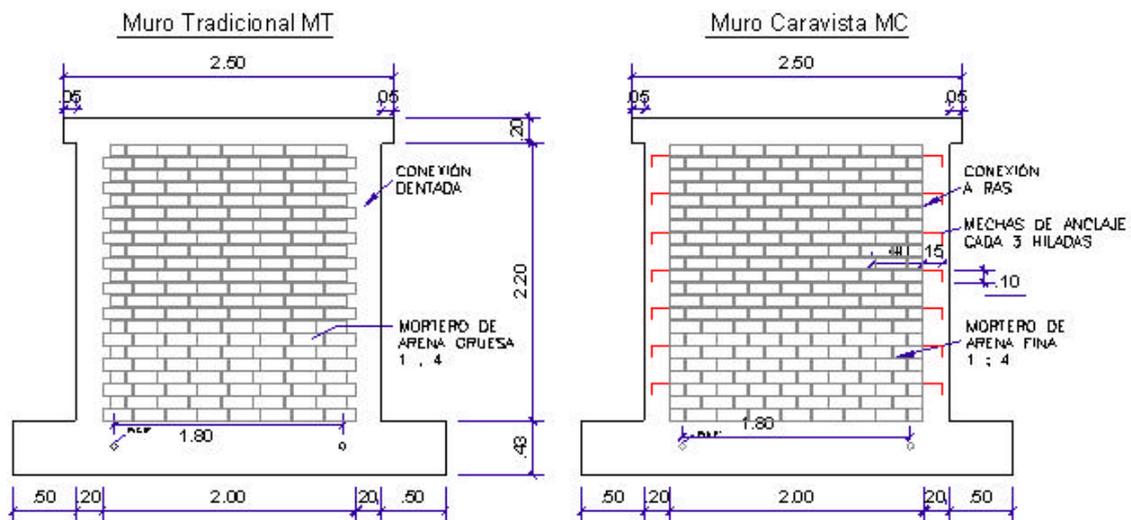


Fig.1. Características de los muros. Medidas en metros, espesor: 13 cm.

3. MATERIALES EMPLEADOS

Las características de los materiales empleados fueron:

- Ladrillo. Se utilizaron ladrillos de arcilla King Kong de 18 huecos, fabricados industrialmente, con dimensiones de 24x13x9 cm y resistencia a compresión $f^b = 101 \text{ Kg/cm}^2$ sobre área bruta. Esta unidad calificó como hueca ya que las perforaciones cubrieron el 45% del área bruta.
- Arena. La arena gruesa, empleada en MT, tuvo una granulometría comprendida entre los límites de la Ref.4, mientras que la granulometría de la arena fina, empleada en MC, fue uniforme y no cumplió con dichos límites. Los módulos de fineza fueron 2.63 y 1.03 para la arena gruesa y fina, respectivamente.
- Mortero. La proporción volumétrica cemento - arena (gruesa o fina) fue 1 : 4.
- Cemento. Se utilizó cemento Pórtland tipo I.
- Acero de Refuerzo. Se utilizó acero corrugado de grado 60.
- Concreto. La resistencia nominal a compresión fue $f^c = 175 \text{ Kg/cm}^2$.

4. ENSAYOS DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

4.1 Pilas

Para obtener la resistencia característica a compresión axial f^m y el módulo de elasticidad E_m de la albañilería, se construyeron seis pilas: tres del tipo caravista y tres del tipo tradicional. Estas pilas se ensayaron a una velocidad de carga de 5 ton/min. Las fallas típicas se muestran en la Fig.2 y los resultados (sobre área bruta) fueron los siguientes:

- Pila Tradicional $f^m = 83 \text{ Kg/cm}^2$ $E_m = 44260 \text{ Kg/cm}^2 = 533 f^m$
- Pila Caravista $f^m = 48 \text{ Kg/cm}^2$ $E_m = 28870 \text{ Kg/cm}^2 = 601 f^m$

Cabe destacar que en el sistema caravista las pilas fallaron por las caras externas de los ladrillos debido a las bruñas empleadas en las juntas (Fig.2).

Fig.2
Pila Tradicional (izquierda) y Pila Caravista (derecha).



4.2 Muretes.

Para determinar la resistencia al corte $v'm$ de la albañilería, se construyeron tres muretes del tipo tradicional y tres muretes del tipo caravista. Estos muretes fueron ensayados a compresión diagonal a una velocidad de carga de 1 ton/min. Las formas de falla típicas se muestran en la Fig.3 y los resultados fueron:

- Murete tradicional: $v'm = 11.6 \text{ Kg/cm}^2$
- Murete caravista: $v'm = 8.8 \text{ Kg/cm}^2$

Fig.3
Murete tradicional (izquierda) y murete caravista (derecha).



5. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS

Ambos muros se construyeron en dos jornadas de trabajo. El tiempo empleado en asentar los ladrillos fue parecido; sin embargo, para realizar el bruñado a las juntas de mortero del sistema caravista hubo que emplear un tiempo adicional. Contemplando estos factores, se obtuvo un rendimiento de $9 \text{ m}^2/\text{día}$ para MT y $7.2 \text{ m}^2/\text{día}$ para MC en una jornada de ocho horas.

En el muro MT se empleó una conexión dentada albañilería-columna (Fig.4), mientras que en el muro MC la conexión fue a ras con la adición de mechas de anclaje.

Fig.4
Construcción del muro tradicional MT (izquierda) y del muro caravista MC (derecha).



Cabe destacar que el muro caravista lució mejor aspecto estético que el muro tradicional, según se muestra en la Fig.5.

Fig.5
Muro MT
(izquierda) y
MC (derecha).



6. ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA

6.1. Técnica de Ensayo

Los muros MT y MC fueron ensayados a carga lateral cíclica (V), sin carga vertical, controlando el desplazamiento horizontal (D) de la viga solera en 9 fases, según se indica en la Tabla 1. El número de ciclos que se aplicó en cada fase fue el necesario para lograr estabilizar los lazos histeréticos V-D. La carga lateral fue aplicada mediante un actuador dinámico, mientras que los desplazamientos fueron medidos con LVDT, según se muestra en la Fig.6.



Fig.6

Tabla 1. Fases y número de ciclos del ensayo.

FASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D (mm)	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15	17.5
Ciclos	2	2	2	2	3	3	4	3	3

6.2. Comportamiento de los Muros

- En la fase 1 los muros tuvieron un comportamiento elástico.
- En la fase 2 se formaron fisuras de tracción por flexión en la base de ambos muros.
- En la fase 4 se inició el agrietamiento diagonal en los dos muros.
- En la fase 6 las grietas diagonales alcanzaron una abertura de 5 mm.
- En la fase 7 (asociada a una distorsión de 0.005, correspondiente al límite de reparación de la Ref.4), algunos ladrillos empezaron a triturarse y las grietas alcanzaron una abertura de 9mm.
- En la fase 8 se inició la trituración de los nudos del pórtico de confinamiento.
- En la fase 9, algunas grietas diagonales alcanzaron aberturas de hasta 18 mm. En MT se produjo el pandeo del refuerzo vertical en uno de los talones.

En la Fig.7, se muestra el patrón de agrietamiento que tuvieron ambos muros.

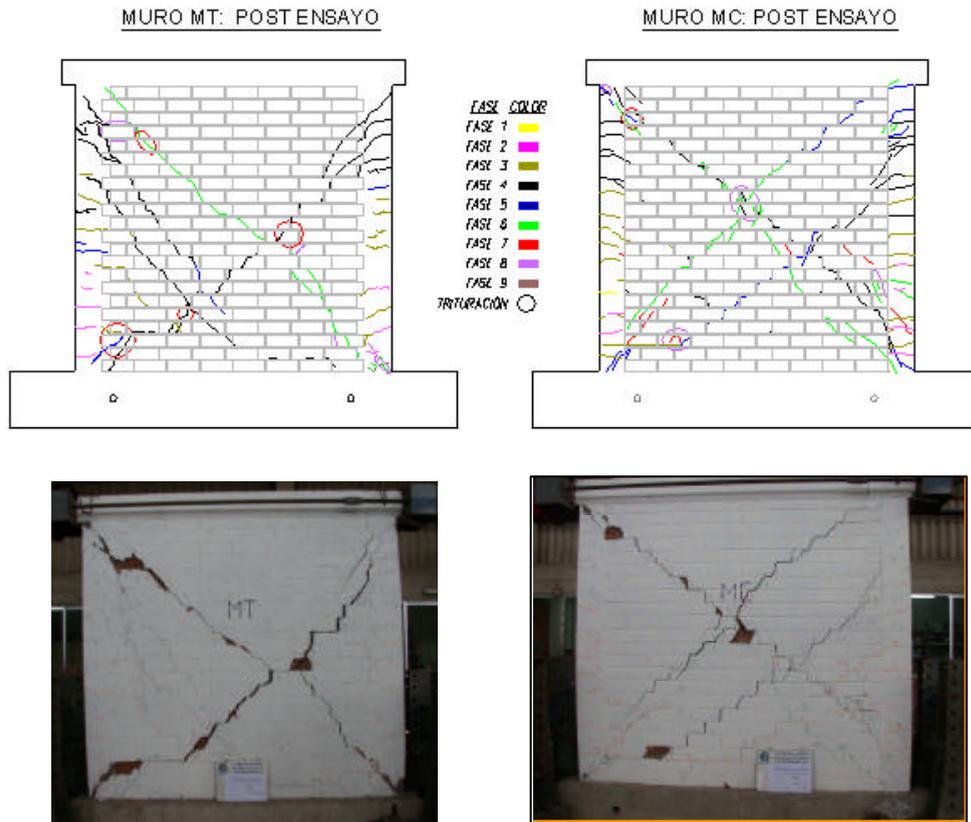
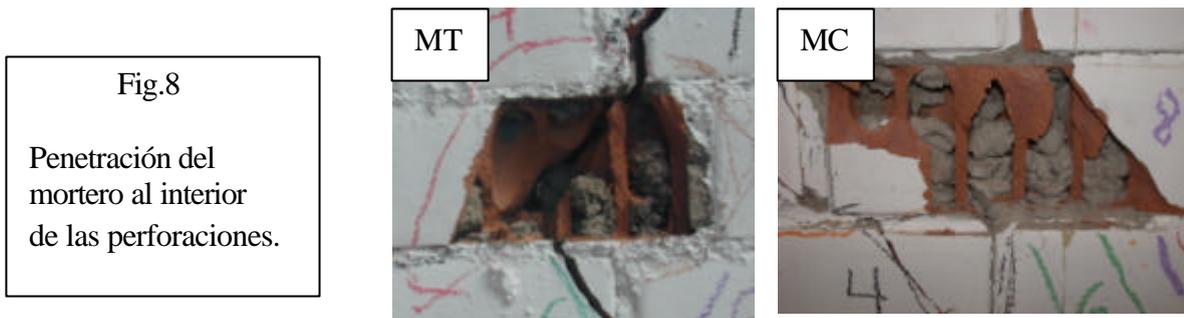


Fig.7. Patrón de agrietamiento en MT (izquierda) y MC (derecha).

Cabe destacar que MT mostró más daños que MC debido, debido a que en el muro caravista MC el mortero de arena fina penetró en mayor grado en el interior de las perforaciones del ladrillo (Fig.8), convirtiendo prácticamente al ladrillo hueco en sólido.



6.3 Análisis Gráfico

Las figuras 9 y 10 muestran los lazos histeréticos V-D para los muros MT y MC, respectivamente, mientras que en la Fig.11 se ha dibujado la envolvente promedio correspondientes a las ramas positivas y negativas del primer ciclo de cada muro. En la Fig.9 se aprecia que a partir de la fase 6 del ensayo, el muro MT pierde considerablemente su capacidad resistente, mientras que en MC (Fig.10) la capacidad resistente se mantiene a medida que aumentan los desplazamientos. Esto se debe al mayor deterioro que tuvo MT respecto a MC, producido a su vez porque el mortero de arena fina utilizado en MC convirtió a los ladrillos huecos en sólidos (Fig.8).

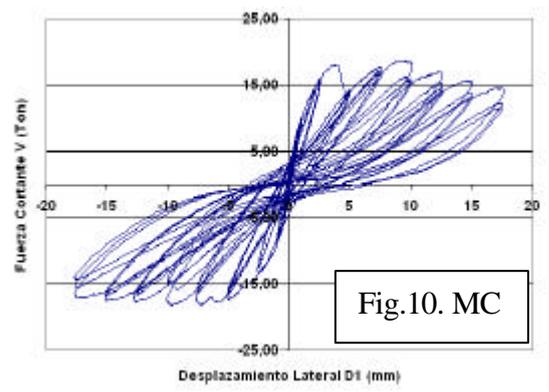
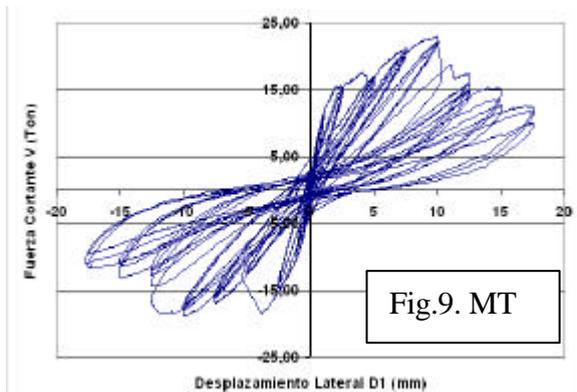
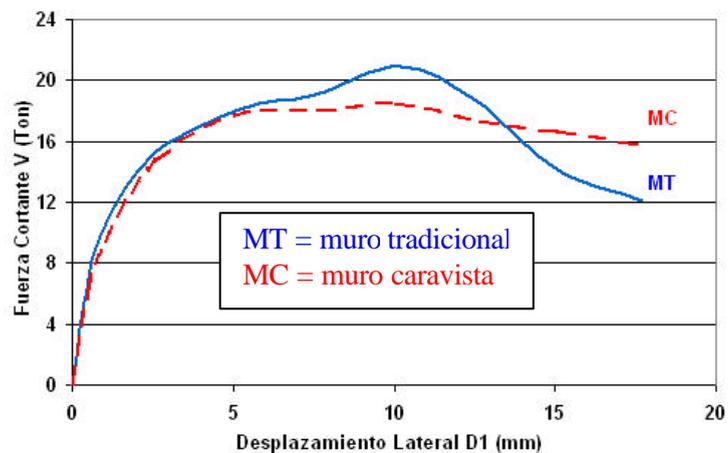


Fig.11
Envolvente V-D
promedio del
primer ciclo.



7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 2 se efectúa una comparación de los resultados experimentales obtenidos para el sistema tradicional (MT) y el caravista (MC), adicionalmente se indica los porcentajes de reducción de resistencia y de rigidez de MC respecto a MT.

Tabla 2. Comparación de Resultados Experimentales.				
Espécimen	Descripción	Tradicional MT	Caravista MC	Reducción (%)
Ladrillo	Resistencia a compresión f'_b (Kg/cm ²)	101	101	---
Mortero	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	154	72	53
Pilas	Compresión axial f'_m (Kg/cm ²)	83	48	42
	Módulo de elasticidad E_m (Kg/cm ²)	44260	28870	35
Muretes	Compresión diagonal v'_m (Kg/cm ²)	11.6	8.8	24
Muros	Rigidez lateral inicial K_o (ton/m)	12154	10930	10
	Fisura de tracción por flexión V_f (ton)	9.45	8.39	11
	Agrietamiento diagonal V_R (ton)	18.6	13.9	25
	Resistencia máxima V_m (ton)	23.0	18.7	19

En la Tabla 2 puede apreciarse que la resistencia a compresión axial de la albañilería (f'_m) caravista se reduce drásticamente (42%) con relación al sistema tradicional; sin embargo, esto no tiene mayor incidencia en la investigación, debido a que el sistema caravista propuesto se piensa aplicar en viviendas de hasta 2 pisos, donde las cargas de gravedad actuantes en los muros son pequeñas. También puede apreciarse que el porcentaje de reducción de resistencia al

agrietamiento diagonal del sistema caravista respecto al sistema tradicional, es similar (25%) en muretes y muros, lo cual indica que el ensayo de compresión diagonal en muretes puede predecir en forma adecuada la resistencia a fuerza cortante de los muros. Empleando la expresión de la Ref.4 para muros no esbeltos y sin carga axial: $VR = 0.5 \sqrt{t} L$, donde “t” es el espesor del muro (13 cm) y “L” su longitud (240 cm), se obtiene los siguientes resultados teóricos que difieren en 2% respecto a los valores experimentales:

- $VR (MT) = 0.5 \times 11.6 \times 13 \times 240 = 18096 \text{ Kg} = 18.1 \text{ ton}$
- $VR (MC) = 0.5 \times 8.8 \times 13 \times 240 = 13728 \text{ Kg} = 13.7 \text{ ton}$

8. COSTOS

El análisis de costos se realizó incluyendo el caso en que se utilice ladrillos del tipo caravista, con dimensiones 23x12.5x6.5 cm. Los costos por metro cuadrado de albañilería fueron:

- El costo del muro tradicional MT, incluyendo tarrajeo con mortero 1:6, pero sin considerar otro tipo de acabado (imprimante, pintura, etc.) fue S/. 50.5 por m².
- El costo del muro hecho con ladrillos del tipo caravista fue S/. 46.7 por m².
- El costo del muro caravista MC con ladrillo King Kong industrial fue S/.37.4 por m².

Es decir, con el sistema caravista propuesto (MC) se logra un ahorro de 26% respecto al muro tradicional MT, y un ahorro de 20% respecto al muro hecho con ladrillos del tipo caravista.

9. CONCLUSIONES

Esta investigación aplica para viviendas de hasta 2 pisos y las conclusiones que se vierten se encuentran limitadas por el tipo de ladrillo empleado (con 45% de huecos), cuyas perforaciones fueron prácticamente rellenas por el mortero de arena fina empleado en el sistema caravista, convirtiendo prácticamente a la unidad de albañilería hueca en sólida.

- La construcción de muros de albañilería confinada utilizando ladrillos del tipo King Kong industrial de buena apariencia, asentados con mortero de arena fina y juntas bruñadas, permiten lograr un acabado del tipo caravista. En consecuencia, es posible eliminar la partida de tarrajeo empleada en los muros tradicionales, lográndose un ahorro de 26% por metro cuadrado de albañilería, sin incluir el costo de imprimante, pintura, etc.
- El menor costo (26%) del sistema caravista respecto al sistema tradicional trajo por consecuencia una reducción en la resistencia sísmica de los muros. La resistencia al agrietamiento diagonal (VR) del muro caravista fue 25% menor que la correspondiente al muro tradicional, mientras que la resistencia máxima fue 19% menor. Estos porcentajes de reducción de resistencia son aceptables, debido a que el sistema caravista está propuesto para viviendas de hasta 2 pisos que no necesitan ser dotadas de alta resistencia sísmica.
- Los porcentajes de reducción de resistencia citados en este artículo, deberán comprobarse en muros hechos con ladrillos sólidos (hasta con 30% de huecos, Ref.4), ya que en este proyecto se utilizaron unidades huecas cuyas perforaciones fueron prácticamente rellenas por el mortero de arena fina empleada en el sistema caravista. Cabe destacar que en la Ref.1, donde se utilizó ladrillos sólidos, el empleo de arena fina en el mortero causó una reducción de la resistencia al corte de 44% en comparación con el uso de arena gruesa en pequeños muretes ensayados a compresión diagonal.

- El empleo de unidades huecas en el muro tradicional (MT), donde el mortero de arena gruesa no relleno completamente a las perforaciones del ladrillo, produjo una severa degradación de resistencia a fuerza cortante después de haberse alcanzado la resistencia máxima y antes de alcanzarse la máxima distorsión angular (0.005) permitida por la Ref.4. Por ello, tal como se indica en la Ref.4, debe descartarse el uso de unidades huecas en la construcción de los muros portantes confinados tradicionales.
- La reducción de resistencia a compresión axial (f'_m) de la albañilería caravista respecto a la tradicional fue de 42%. Sin embargo, esto no tiene mayor importancia, debido a que el sistema caravista propuesto puede aplicarse en viviendas de hasta 2 pisos, donde las cargas de gravedad actuantes en los muros son pequeñas.
- Las conexiones columna–albañilería, dentada (tradicional) y a ras (caravista), funcionaron adecuadamente, sin que se presenten grietas verticales en la unión. Sin embargo, la conexión a ras, aparte de mejorar la estética del muro, permite la eliminación de 3 problemas que podrían presentarse en la conexión dentada tradicional: 1) cangrejas bajo los dientes; 2) rotura de los dientes durante la compactación del concreto; y, 3) acumulación de desperdicios del mortero de asentado sobre los dientes que causan juntas frías con el concreto.
- La pérdida de resistencia a la rotura diagonal (25%) que tuvo el sistema caravista respecto al sistema tradicional en muros a escala natural, pudo predecirse mediante el ensayo de compresión diagonal de pequeños muretes.

10. REFERENCIAS

1. Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería. Angel San Bartolomé y Mirlene Castro. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Puno, 2001.
2. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Angel San Bartolomé. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 1998.
3. Norma Técnicas de Edificación E-070 Albañilería. ININVI, Ministerio de Vivienda, 1982.
4. Proyecto de Normas Técnicas de Edificación E-070 “Albañilería”. Elaborado por el Comité Especializado de la NTE E.070. SENCICO, diciembre del 2004.