

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES RELACIONADAS CON LA VIVIENDA DE BAJO COSTO EN COLOMBIA

Luis Yamín* y L. García*

RESUMEN

Se presenta una breve reseña sobre los tipos más comunes de vivienda de bajo costo en Colombia, relacionados fundamentalmente con vivienda uni y multifamiliar. Para cada grupo se presentan la metodología y resultados de investigaciones experimentales a escala real. Para el caso de vivienda multifamiliar se incluye lo correspondiente al ensayo de un edificio de 5 pisos en paneles prefabricados en concreto reforzado y sometido a cargas estáticas horizontales. Para el caso de viviendas unifamiliar se resumen los resultados referentes al ensayo de muros de un piso en mampostería confinada sometidos a cargas horizontales estáticas pero alternantes. Finalmente se presentan las conclusiones más importantes obtenidas hasta el presente y se establecen las necesidades básicas y prioridades de investigación en este campo en Colombia.

INTRODUCCION

En Colombia existe una gran variedad de sistemas constructivos en vivienda de bajo costo. Algunos sistemas se han desarrollado según tradiciones de la zona y de acuerdo con experiencias propias no ingenieriles. Otros han tomado el camino de la industrialización y se han convertido en sistemas muy utilizados por las grandes compañías constructoras del país.

La vivienda popular en Colombia se puede dividir en dos grandes grupos. Vivienda Unifamiliar y Vivienda Multifamiliar. En el primer grupo quedan incluidas un gran porcentaje de viviendas de las zonas marginales de las grandes ciudades y de la mayoría de las viviendas rurales. En el segundo se incluyen las urbanizaciones que

se construyen en las zonas de clase media y baja y en algunos casos en terrenos en las afueras de grandes ciudades.

Principalmente en el grupo de vivienda unifamiliar se encuentra gran cantidad de variaciones constructivas, con diferentes técnicas y calidades de construcción. El sistema más utilizado puede consistir en viviendas de mampostería con o sin refuerzo, con placas de piso en concreto reforzado o madera. Las técnicas constructivas son muy variables utilizándose en la mayoría de los casos autoconstrucción. También se encuentran viviendas en adobe y tapia pisada principalmente en zonas rurales pero en porcentajes cada vez menores.

Para el grupo de vivienda multifamiliar los sistemas más utilizados son el de mampostería confinada, mampostería reforzada o edificaciones prefabricadas a base de elementos de concreto reforzado.

Con la expedición del Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, Decreto 1400 de 1984 (CCCSR-84. Ref. (1)) se dio un gran paso hacia la normalización de los diferentes sistemas constructivos. El Código trata específicamente el concreto reforzado de manera análoga al ACI- 318 e incluye un Capítulo completo de Mampostería Estructural donde se dan requisitos específicos sobre Mampostería No Reforzada, Mampostería Reforzada, Mampostería Confinada y Mampostería de Muros Diafragma. Diversas cartillas de ayuda y de autoconstrucción se han editado y difundido de manera que los requisitos allí establecidos han llegado a buena parte de la población y con el paso del tiempo se hace evidente una mejora sustancial en la calidad constructiva de la vivienda de bajo costo en el país.

SISTEMAS PREFABRICADOS EN CONCRETO REFORZADO

GENERAL

El CCCSR-84 no incluye específicamente lo referente a edificaciones prefabricadas en concreto reforzado pero permite el uso de materiales y métodos de construcción diferentes a los allí prescritos, siempre y cuando éstos se sometan a una investigación del tipo experimental y analítica que demuestre que el sistema propuesto tiene una resistencia y capacidad de trabajo en el rango inelástico igual o

mayor a las obtenidas en una estructura monolítica de concreto reforzado. Las anteriores restricciones motivaron la realización de una serie de trabajos experimentales sobre diferentes sistemas constructivos muy utilizados en Colombia. A continuación se describe uno de los sistemas utilizados y los trabajos experimentales que se adelantaron con el fin de homologar el sistema ante el CCCSR-84 como se explicó.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DEL EDIFICIO ENSAYADO.

El caso que se presenta consiste en el ensayo de un edificio de 5 pisos a escala natural conformado por elementos prefabricados en concreto reforzado (ver ref. (3)). Cada edificio tiene dos apartamentos por piso para un total de diez unidades de vivienda. El área por piso es de 158 metros cuadrados, la altura de los muros es de 2.2 metros y el sistema de entrepiso, también prefabricado, tiene un espesor de 0.25 metros, lo cual lleva una altura total del edificio de 12.25 metros. En la figura 1 se presenta la disposición general de muros por piso y una alzada del edificio.

El sistema constructivo consiste en prefabricar todos los elementos tales como muros y losas en planta donde se curan al vapor para posteriormente transportarlos y ensamblarlos en obra. Los paneles son macizos de 8 centímetros de espesor y con refuerzo interior en malla electrosoldada de 5 milímetros y espaciada a 25 centímetros en las dos direcciones. Tienen además unas barras que sobresalen y sirven de conectores a otros paneles. Los entrepisos, incluyendo la cubierta, están conformados por elementos prefabricados con alturas de 25 centímetros a base de viguetas en una dirección conectados con una loseta superior y una vigueta de borde. Igualmente tiene barras que sobresalen para ser unidas a elementos adyacentes. Estos elementos no tienen conexión directa con los paneles. En algunas uniones de paneles se colocan barras que suben hasta la parte superior del edificio, se sueldan a las barras salientes de paneles y se inyecta la unión con mortero. La cimentación del edificio consiste en un entramado de vigas apoyado simplemente sobre un relleno de material seleccionado.

El peso total del edificio es de 437 toneladas distribuidas a las primeras 4 placas aéreas (92 toneladas) y el resto a la placa de cubierta (69 toneladas). Esta

de cargas se utilizó para estimar la distribución de cargas horizontales con base en un frente de onda lineal para el primer modo.

METODOLOGIA DEL ENSAYO Y RESULTADOS PRINCIPALES.

Para la realización de la prueba de carga del edificio descrito, se construyó un Edificio Laboratorio que rodea al Edificio Prefabricado y que está conformado por muros y placas macizas en concreto reforzado con posibilidades de efectuar postensionamientos. En la figura 2 se presenta una planta general de los edificios.

La idea principal del ensayo consiste en halar el edificio prefabricado usando como reacción el Edificio Laboratorio. Para el efecto se utilizaron cables debidamente anclados en cada nivel de placa del Edificio Prefabricado y anclados al Edificio Laboratorio tal como se indica en la figura 3. La carga se aplicó mediante gatos hidráulicos con capacidad de hasta 50 toneladas y las fuerzas transmitidas se midieron mediante celdas de carga construídas y calibradas especialmente para el ensayo. La medición de deformaciones se realizó con la deflexión relativa piso a piso mediante un sistema de barras de extensión especialmente diseñados para el edificio bajo prueba. Se instrumentaron igualmente la cimentación para detectar rotaciones o desplazamientos y se controló la deflexión horizontal en la cubierta mediante teodolito.

La fuerza se aplicó en forma monotónicamente creciente y con una distribución aproximadamente lineal y creciente con la altura del edificio excepto para la cubierta para la cual la carga fue ligeramente inferior.

Se realizaron un total de siete ensayos seis en la dirección débil del edificio y uno en la dirección fuerte.

La carga horizontal máxima aplicada en los ensayos fue de 179 toneladas que corresponde al 41% del peso total del edificio. La deflexión máxima en la cubierta para esta carga máxima fue de 9 centímetros y la deriva máxima expresada como la deformación horizontal máxima en el piso superior dividida por la altura total del edificio en porcentaje resultó de 0.74% . En las Figs. 4, 5 y 6 se presentan respectivamente la distribución de corte aplicado al edificio en dicho ensayo, la

deflexión con la altura del edificio y el cortante en función de la deriva para cada uno de los pisos.

En la Fig. 7 se presenta un esquema de la fisuración alcanzada en el ensayo mencionado. Cabe anotar que aunque sí se observaron gran cantidad de fisuras y grietas verticales entre los paneles, y grietas horizontales entre los muros y las losas de entrepiso, la estructura mantuvo en todo instante su conformación estructural y el sistema no presentó colapsos parciales que pudieran poner en peligro la vida de personas dentro del mismo. Es importante remarcar igualmente que el nivel de carga alcanzado en el ensayo descrito es muy superior al nivel de carga prescrito por el Código para el diseño sísmico de la edificación.

CONCLUSIONES GENERALES

Con base en los resultados de los diferentes ensayos realizados se obtuvieron las siguientes conclusiones de tipo general:

- (1) Las pruebas realizadas sobre el edificio superan ampliamente los niveles de carga sísmica especificados por el Código Colombiano, sin que la estructura haya presentado colapso o se haya generado riesgo a la vida de los posibles ocupantes.
- (2) El edificio presentó un comportamiento básicamente lineal hasta aproximadamente el 20% del peso como carga horizontal. A partir de esa carga el comportamiento comienza a presentar una marcada tendencia inelástica.
- (3) La forma de falla observada en el edificio consiste en resbalamientos horizontales de los paneles con respecto a las placas de entrepiso o a mecanismos de vuelco o rotación de los paneles. La forma de falla depende para cada panel de su localización dentro de la estructura, sus dimensiones y la carga vertical que lleva. El comportamiento para cargas elevadas no es definitivamente el de un gran cajón compuesto por elementos continuos .

- (4) Se presentan degradaciones de rigidez considerables una vez que se inician las etapas de fisuración de los paneles.

ENSAYO DE MUROS DE MAMPOSTERIA CONFINADA

GENERAL

Uno de los sistemas estructurales de mayor utilización en Colombia especialmente para la construcción de vivienda de estratos de bajos recursos económicos es la mampostería confinada. Su utilización se inició de manera tradicional, con características constructivas peligrosas desde el punto de vista sísmico como es la falta de columnas de confinamiento. Posteriormente el sistema se fue desarrollando y optimizando y fue a raíz de la promulgación del Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes CCCSR-84, Ref (1), que el sistema quedó normalizado como sistema estructural que puede utilizarse en cualquier zona de riesgo sísmico con ciertas limitaciones.

La mampostería confinada se ha definido en Colombia como el tipo de construcción donde un muro de mampostería se encuentra totalmente confinado por elementos en concreto reforzado. Las columnas de confinamiento pueden quedar conformadas incluso por bloques de perforación vertical en cuyas celdas se coloca el refuerzo longitudinal y el mortero de relleno y los estribos se colocan en las juntas horizontales. El método consiste en la construcción en primera instancia del muro de mampostería, para luego armar el refuerzo de columnas y fundir contra el muro los elementos confinantes en concreto reforzado.

El sistema está limitado a ser usado para edificaciones de vivienda, oficina, etc., donde no se reúnan un número significativo de personas y que no sean indispensables después de la ocurrencia de un sismo intenso. Adicionalmente está limitado a máximo 2 pisos de altura en Zonas de Riesgo Sísmico Alto.

Los muros pueden clasificarse como muros confinados sin refuerzo interior o muros confinados con refuerzo interior. Los muros sin refuerzo deben cumplir todos los requisitos para Mampostería No Reforzada tal como lo especifica el Código. Los elementos del confinamiento deben tener un área mínima de 200 centímetros cuadrados. Las vigas deben tener mínimo 4 barras longitudinales de 3/8 ", debe haber

un área de estribos no menor de $1000*s/(f_y*d)$, y éstos no deben estar espaciados a más de 20 centímetros o 1.5 veces la menor dimensión de la viga. Las columnas por su parte deben tener mínimo 3 barras longitudinales de 3/8" con una cuantía no inferior a 0.007. Adicionalmente debe proveerse un área de refuerzo longitudinal en las columnas mayor o igual a $M/(f_s*h)$ donde M es el momento externo actuante, f_s es el esfuerzo admisible en el acero y h es la distancia entre centroides de columnas extremas. Los estribos en las columnas deben cumplir los mismos requisitos que para vigas.

Para muros confinados con refuerzo interior se deben cumplir adicionalmente los requisitos para Mampostería Parcialmente Reforzada establecidos por el Código.

El factor de reducción de fuerzas sísmicas elásticas dado por el Código para este sistema es de $R = 2.5$ si el muro es con refuerzo interior y de $R = 1.5$ si no.

RESUMEN DE PROPIEDADES BASICAS DE LA MAMPOSTERIA

Ante la falta de información experimental referente al comportamiento sísmico de este sistema estructural ampliamente utilizado en Colombia, se emprendió una investigación sobre propiedades básicas de la mampostería a nivel nacional y sobre el comportamiento de muros de mampostería confinada ante cargas horizontales estáticas pero alternantes. El objetivo fundamental era el de calibrar las propiedades de materiales nacionales y tener un punto de referencia confiable sobre el comportamiento de muros de mampostería confinada utilizando materiales nacionales y mano de obra local. La investigación fue complementada con la realización de cartillas de difusión de metodologías básicas para la construcción de edificaciones de uno y dos pisos.

Se adelantó la investigación de propiedades básicas de la mampostería utilizando ladrilleras de las ciudades más importantes del país (Ref.(2) y (5)). La investigación se limitó al estudio de piezas de arcilla, toletes o macizos y bloques huecos, cuyos esquemas se presentan en la Fig. 8, a y e. Un resumen de propiedades promedio básicas de las piezas de mampostería investigadas se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1
RESUMEN DE PROPIEDADES BASICAS DE PIEZAS DE ARCILLA

TIPO DE PIEZA	ABSORCION (%)	T.I.A. (g/min)	f'p (kg/cm ²)	ft (kg/cm ²)
BLOQUE HUECO	16	27	50	21
TOLETE	15	41	190	38

En la tabla anterior, T.I.A. se refiere a la Tasa Inicial de Absorción medida en gr/min para un área equivalente de 30 in², f'p es la resistencia a la compresión sobre área bruta y ft es la resistencia a flexión de la unidad.

Se investigaron igualmente las propiedades básicas de conjuntos de mampostería como son la resistencia a compresión de prismas y la resistencia al corte mediante ensayos de compresión diagonal.

En la tabla 2 se presenta un resumen de los resultados sobre ensayos de compresión de prismas en piezas de arcillas y en la Tabla 3 se presenta el resumen de resultados de ensayos de compresión diagonal sobre muretes. Los promedios incluyen variaciones sobre los tipos de mortero utilizados.

TABLA 2
RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESION DE PRISMAS

TIPO DE PIEZAS	f'm (kg/cm ²)	CV (%)	E (kg/cm ²)	CV (%)
BLOQUE HUECO	26	46	15144	70
TOLETE	130	36	74773	72

En la tabla anterior f_m es la resistencia a compresión de los prismas de mampostería corregidos por esbeltez y sobre área bruta, CV es el coeficiente de variación de los resultados en porcentaje y E es el módulo de elasticidad medido en los ensayos.

TABLA 3
RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE
COMPRESION DIAGONAL DE MURETES

TIPO DE PIEZAS	f_v (kg/cm ²)	CV (%)
BLOQUE HUECO	4.5	53
TOLETE	9.0	49

En la tabla anterior f_v es la resistencia al corte de la mampostería determinada mediante el ensayo de compresión diagonal.

Dentro de las correlaciones entre propiedades de mampostería encontradas y que merecen mencionarse está la relación aproximadamente lineal encontrada entre la resistencia a la compresión de muretes f_m y la resistencia de las piezas individuales de arcilla, f_p :

$$f_m = 0.5 f_p \quad (1)$$

Otra relación importante resulta entre el Módulo de Elasticidad de la mampostería de arcilla, E, y la resistencia a la compresión de muretes, f_m , así:

$$E = 600 f_m \quad (2)$$

Finalmente se lograron relaciones aproximadamente lineales entre la resistencia al corte de la mampostería, f_v , obtenida a partir de ensayos de compresión diagonal y la resistencia a la compresión de muretes, f_m . así:

$$f_v = 0.16 f_m \text{ para bloque huecos} \quad (3)$$

$$f_v = 0.06 f_m \text{ para toletes} \quad (4)$$

METODOLOGIA Y ENSAYO DE MUROS A ESCALA NATURAL

Se adelantó una investigación sobre muros de mampostería confinada en voladizo con el fin de estudiar el comportamiento de estos elementos estructurales en relación con las especificaciones dadas por el Código (ver Ref. (1) y (2)). Ante las limitaciones existentes, se adelantaron los ensayos ante cargas horizontales estáticas pero alternantes en la parte superior del muro. No se aplicaron cargas verticales simultáneamente ya que se consideró crítico este caso ante la evidencia experimental de otras investigaciones (ver Ref. (4)), sobre la mejora del comportamiento de este tipo de elementos al aplicar cargas verticales simultáneamente con las horizontales.

Finalmente, ante las limitaciones del equipo disponible se realizaron los ensayos con carga controlada y no con deformación controlada.

Los ensayos se realizaron mediante el diseño y construcción de un marco de pruebas metálico con una capacidad máxima de carga de 30 Toneladas en cualquier dirección y con dimensiones aproximadas de 6m x 4m. En la Figura 9 se presenta un esquema general de la configuración del ensayo. Entre las vigas inferiores del marco se funde una viga de cimentación en concreto reforzado, la cual queda firmemente anclada al marco mediante 8 pernos de una pulgada de diámetro. En dicha viga quedan anclados los arranques de las columnas de confinamiento y el muro queda apoyado directamente sobre ella. La carga se aplicó mediante dos gatos hidráulicos con capacidad máxima de 20 Toneladas. La medición de cargas se realizó mediante celdas de cargas diseñadas y construidas especialmente para los ensayos. Las mediciones de deformaciones se realizaron inicialmente a través de deformímetros mecánicos instalados de manera que se registrara el desplazamiento relativo entre la parte superior del muro y la viga de cimentación. En los últimos ensayos se logró la utilización de transductores de desplazamiento que en forma conjunta con las celdas de carga, fueron conectados a un equipo de adquisición automática de datos y a un computador.

La automatización en la realización de los ensayos demostró la mejor calidad en los resultados, la minimización de errores y de trabajos de digitación y revisión numérica, y la posibilidad de obtener un mejor control sobre el ensayo mismo mediante la determinación casi instantánea del comportamiento del muro ensayado.

Se ensayaron un total de 9 muros a escala real con dimensiones aproximadas de 2.1 m de altura, 3m de largo y 0.12 de ancho. Las dimensiones de columnas y vigas resultaron de aproximadamente 0.12 x 0.2 m. Se utilizaron unidades de arcilla, tanto toletes como bloques huecos sin refuerzo interno.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de las principales características que diferencian los 9 muros ensayados. Las características no mencionadas se mantuvieron mas o menos constantes en los valores ya descritos o en valores normalmente utilizados en la práctica.

TABLA 4
RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE MUROS ENSAYADOS

MURO #	TIPO DE PIEZA	MORTERO C: CAL:ARENA	REFUERZO LONG.	COLUMNAS TRANSV.
1	BLOQUE	1: :5	4*8 mm	1/4"Ø20
2	BLOQUE	1: :3	3*1/2"	1/4"Ø15
3	BLOQUE	1: :5	3*1/2"	1/4"Ø18
4	BLOQUE	1: :5	4*1/4"	1/4"Ø9
5	BLOQUE	1:0.50:3.75	4*1/4"	1/4"Ø8
6	TOLETE	1:0.25:2.81	4*1/4"	1/4"Ø9
7	TOLETE	1:0.25:2.81	4*1/2"	1/4"Ø5
8	TOLETE	1:0.25:2.81	4*1/4"	1/4"Ø18
9	TOLETE	1:1.25:6.75	4*1/4"	1/4"Ø18

RESUMEN DE RESULTADOS

En la Tabla 5 se presentan los parámetros principales medidos en los 9 ensayos realizados. Al final de la tabla se explica el significado de cada uno de los términos.

En la Figura 10 se presentan las envolventes de las curvas carga horizontal contra la relación deformación horizontal a altura del muro en %. En las Figuras 11 y 12 se presenta, a manera ilustrativa, la misma curva para los diferentes ciclos realizados sobre los muros 4 y 8 respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes son las conclusiones generales obtenidas del ensayo experimental de muros a escala natural :

- (1) No se evidenció una diferencia clara y marcada entre el comportamiento en muros de mampostería confinada a base de bloques de arcilla y muros a base de toletes de arcilla, excepto para estados de deformación muy avanzados, en los cuales los bloques huecos presentan mayor deterioro.
- (2) La carga de fisuración inicial parece ser el indicativo más confiable para determinar la resistencia de un muro de mampostería. Una vez excedida la carga de fisuración, el comportamiento del muro cambia radicalmente con gran variabilidad entre los diferentes ensayos.
- (3) El refuerzo de los elementos confinantes no parece tener una influencia definitiva en la etapa de preagrietamiento del muro siempre y cuando se asegure la no ocurrencia de una falla por flexión de todo el elemento. El refuerzo de las columnas, especialmente el transversal parece tener una incidencia importante para estados de deformación avanzados y definen las características de ductilidad del muro, carga residual, capacidad de absorción de energía, etc. No parece ser el caso del refuerzo longitudinal de las vigas que en muy pocas oportunidades trabajó significativamente.
- (4) Para muros en bloque, la forma de falla observada preponderante es de tracción diagonal en el muro de mampostería. Aún para cuantías de refuerzo longitudinal en las columnas muy bajas, la forma de falla se mantiene. De esta manera, el ensayo de tracción diagonal sobre muretes representa un buen indicativo de la carga de fisuración del muro, afectando el valor del ensayo por un factor que está entre 0.4 y 0.5.
- (5) Para muros en tolete de arcilla, la tendencia inicial de falla observada en todos los ensayos es de flexión. En los casos en que no se presentó falla por adherencia o anclaje del refuerzo longitudinal en la columna, la tendencia a la falla cambia y se originan grietas adicionales de compresión diagonal o de corte puro en las juntas de mortero de la mampostería. En este caso los

resultados del ensayo de compresión diagonal siguen siendo válidos, igualmente con factores de correlación, pero presentan una mayor variabilidad.

- (6) El cálculo de resistencia a flexión del muro utilizando la fórmula propuesta por el CCCSR-84 indica una estimación aceptable de las cargas máximas admisibles. Sin embargo las fallas en los muros ocurrieron principalmente por corte o tracción diagonal, lo cual lleva a que deben siempre verificarse ambos criterios de falla.
- (7) Las resistencias de los muros están controladas principalmente por fallas en tracción diagonal o corte. De la forma de falla se observa claramente que las resistencias dependen en última instancia de la adherencia pieza-mortero. La adherencia pieza-mortero no presenta una dependencia directa del proporcionamiento del mortero. De esta manera la resistencia al corte no parece depender directamente de la dosificación del mortero. Queda por realizar más investigación al respecto con el fin de lograr para un tipo de pieza específica la mayor resistencia al corte mediante la optimización de la adherencia con el mortero.
- (8) Para lograr mejor comportamiento postagrietamiento en muros de mampostería confinada se recomienda la colocación de estribos, especialmente en las columnas y en las esquinas de las vigas, con espaciamientos del orden de $d/2$ o hasta de $d/4$ en zonas cercanas a los nudos de manera que se logren zonas de confinamiento al igual que en elementos de concreto reforzado. Esto ha demostrado traer grandes ventajas en el comportamiento residual del muro.
- (9) Las rigideces ante cargas horizontales medidas en los muros presentan variaciones excesivas entre muro y muro y no se observa una correlación consistente con rigideces calculadas con la teoría tradicional de la mecánica de sólidos. Grandes dudas quedan en la determinación del módulo de elasticidad y del módulo de corte, especialmente si éstos están basados en los ensayos de muretes.

- (10) Se recomienda establecer límites a las deformaciones horizontales de muros de mampostería confinada diferentes a los correspondientes para pórticos en concreto reforzado y otras estructuras. Se propone establecer un límite de 0.1% de la altura del mismo con el fin de limitar la fisuración y los daños en el mismo. Este valor debe naturalmente calibrarse con estudios analíticos adicionales.
- (11) Resulta posible estimar la carga residual del muro para etapas de deformación avanzadas mediante el establecimiento de mecanismos de colapso. En casos de diseños deben proponerse diversos mecanismos de manera que se encuentre aquel que genere las menores cargas residuales.
- (12) Definitivamente la mano de obra tiene una participación fundamental en todo el comportamiento de muros de mampostería. Desde el mismo mortero, hasta la mampostería misma, presentan una variación alta aun utilizando los mismos materiales y dosificaciones. La forma de colocar las juntas, la calidad en las uniones entre mortero y piezas y entre el concreto y la mampostería son algunos de los factores que más parecen incidir en el comportamiento final. Por lo anterior se recomienda dar más importancia a la calidad y uniformidad de la mano de obra y al control de calidad en obra, especialmente través de ensayos de prismas y muretes.
- (13) Con relación a la forma del ensayo se recomienda realizar ensayos con deformación controlada en lugar de carga controlada. De esta manera se pueden realizar por ejemplo tres ciclos completos para cada nivel de deformación seleccionando e ir aumentando el nivel de deformación máxima hasta lograr el deterioro total del muro. Igualmente se recomienda la realización de ensayos con carga monotónica creciente, de ensayos de muros con carga vertical y con diferentes relaciones alto/largo. Finalmente debe investigarse el efecto del refuerzo interno en muros de mampostería confinada.

NECESIDADES PRIORITARIAS DE INVESTIGACION EN COLOMBIA

Las necesidades prioritarias de investigación en Colombia deben enfocarse hacia la continuación de programas experimentales como los presentados anteriormente. Se hace necesario mejorar la capacidad de experimentación desde el punto de vista de automatización de las mediciones y con el objetivo de poder realizar ensayos pseudodinámicos en un futuro cercano.

Los sistemas prefabricados de alto rendimiento en cuanto a tiempo de construcción deben seguir siendo sometidos a programas experimentales más ambiciosos que estudien maneras de optimizar los recursos manteniendo las características de seguridad y buen funcionamiento observados. Para los sistemas a base de mampostería confinada o sistemas equivalentes de mampostería reforzada se hacen necesarios programas experimentales adicionales a los realizados y de ser posible iniciar el estudio de conjuntos estructurales completos tales como casas de uno y de dos pisos e incluso edificaciones de hasta 5 pisos en los sistemas mencionados. Investigaciones detalladas sobre propiedades de piezas y morteros, y especialmente sobre propiedades conjuntas como son la adherencia pieza-mortero y otras deben conducirse en forma paralela a las anteriores investigaciones de manera que se establezcan correlaciones con modelos a escala natural.

Otra posibilidad de investigación que se ha iniciado recientemente es la realización de modelos a escala reducida de elementos de mampostería con resultados satisfactorios en el sentido que estos modelos permiten conocer y familiarizarse con la incidencia de diferentes variables en el comportamiento, para luego minimizar el número de ensayos a escala natural, de por sí mucho más costosos.

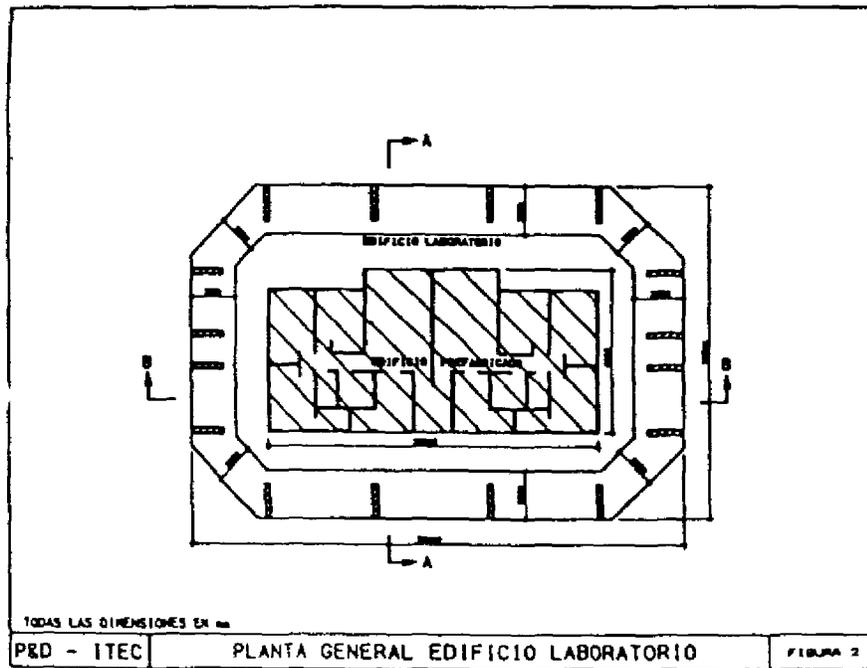
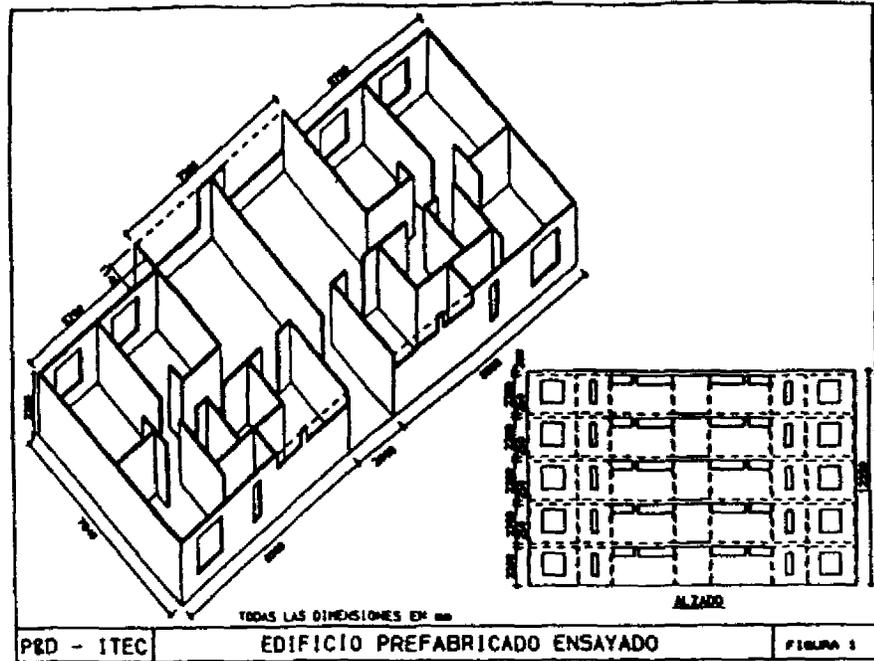
Debe remarcarse la importancia de la realización de programas internacionales de cooperación tanto para el intercambio tecnológico como para el adiestramiento de ingenieros y técnicos y para la utilización de costosos equipos, de difícil o imposible acceso en algunos países pero de probable subutilización en países vecinos.

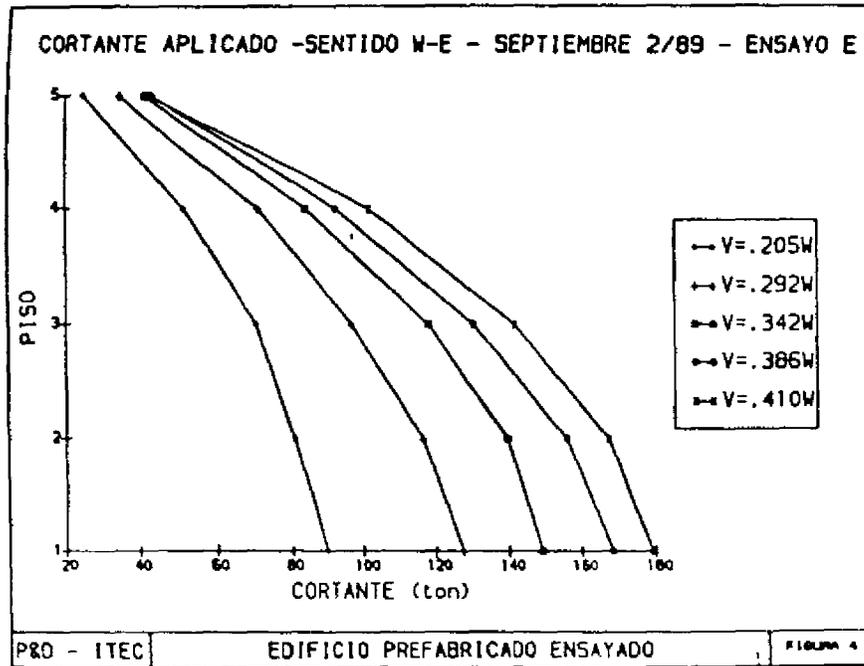
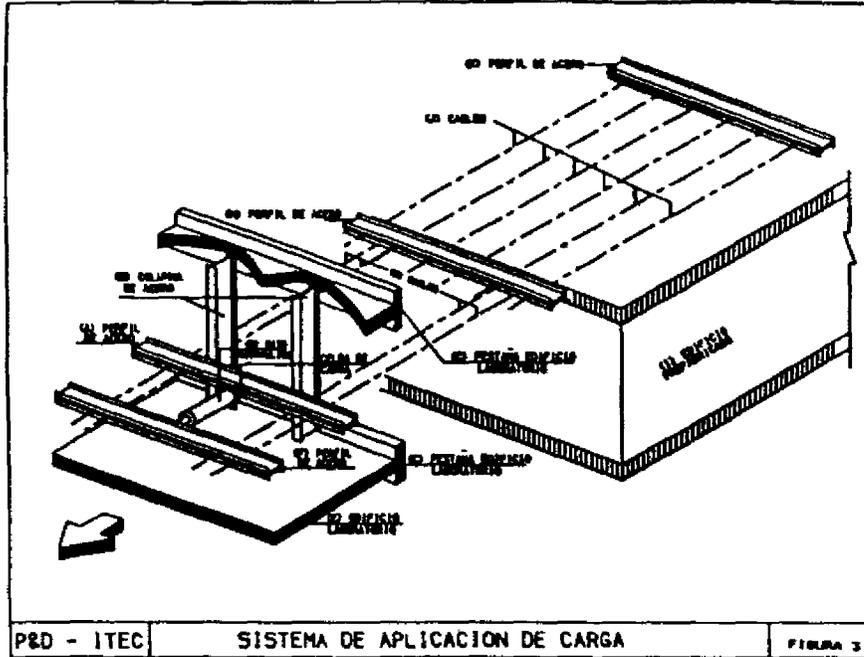
RECONOCIMIENTO

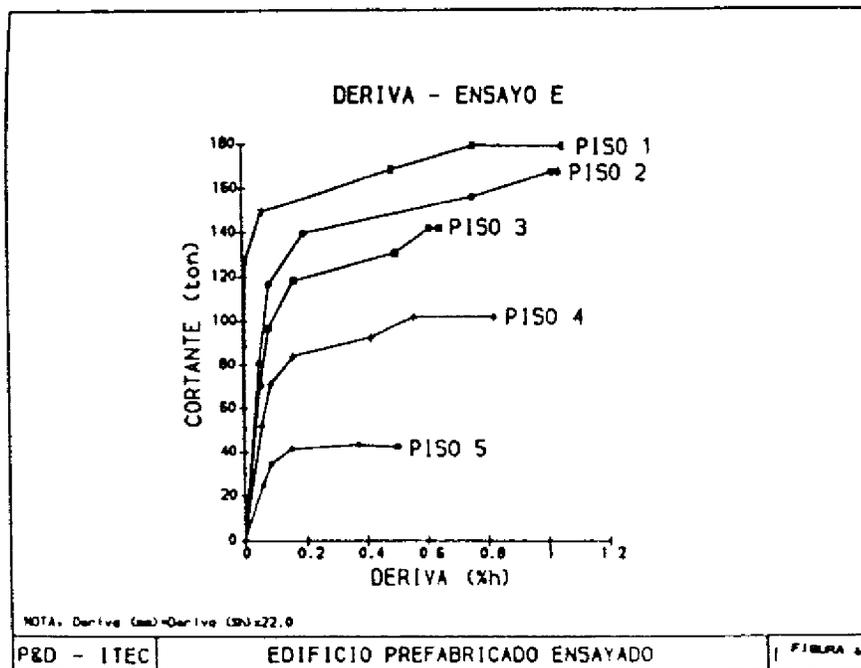
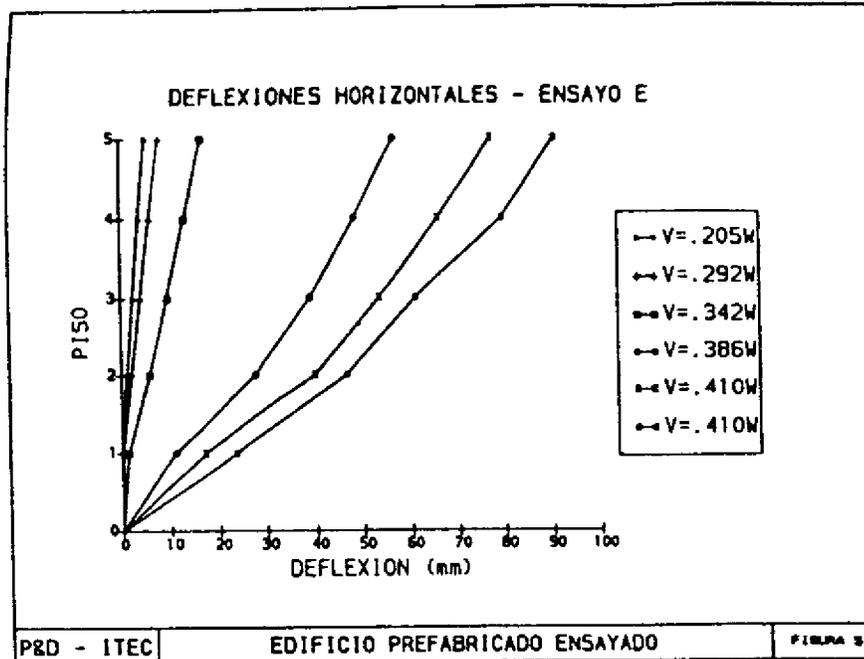
Los trabajos presentados en este artículo fueron realizados con la participación directa de los autores. El primer trabajo fue realizado por la firma Industrial de Construcciones S.A., a través de las firmas de consultoría P&D Ltda. e ITEC Ltda. El segundo fue realizado en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes en Bogotá, con la financiación de la OEA, Colciencias y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

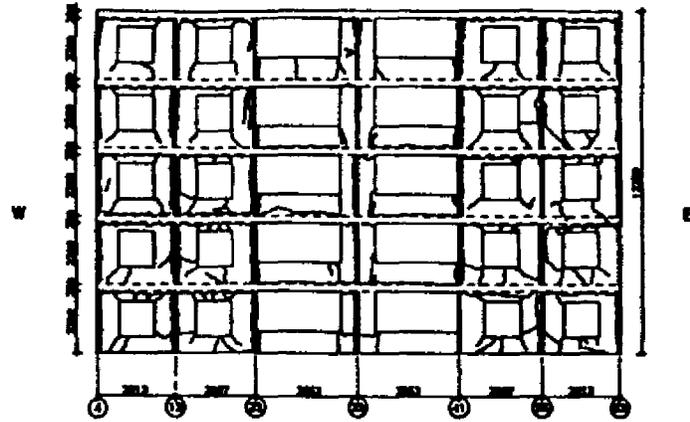
REFERENCIAS

1. Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, CCCSR-84, Decreto 1400 de 1984.
2. Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, CIFI, "Bases Regionales para elaborar Códigos de Vivienda Sismorresistente de Bajo Costo", Informe final, proyecto financiado por OEA, Colciencias y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, noviembre de 1990.
3. Industrial de Construcciones S.A., "Ensayo Experimental de un edificio prefabricado a Escala Natural ante Cargas Horizontales y su Interpretación", Informe realizado por las firmas P&D Ltda. e ITEC Ltda. Bogotá Colombia 1989.
4. Meli R. "Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería", Segunda Edición, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1979 .
5. Yamín L. E., García L. E. " Structural Masonry in Colombia", Quinta Conferencia Americana de Mampostería, University of Illinois at Urbana Champaign, junio de 1990.





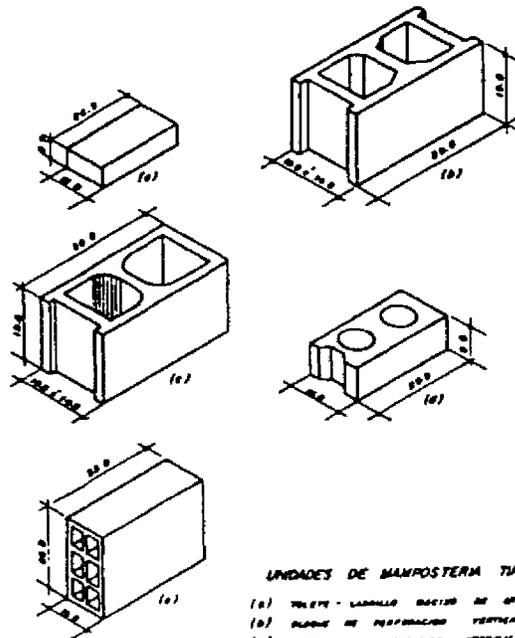




FACHADA NORTE
VISTA INTERIOR

TDAS LAS DIMENSIONES EN CM

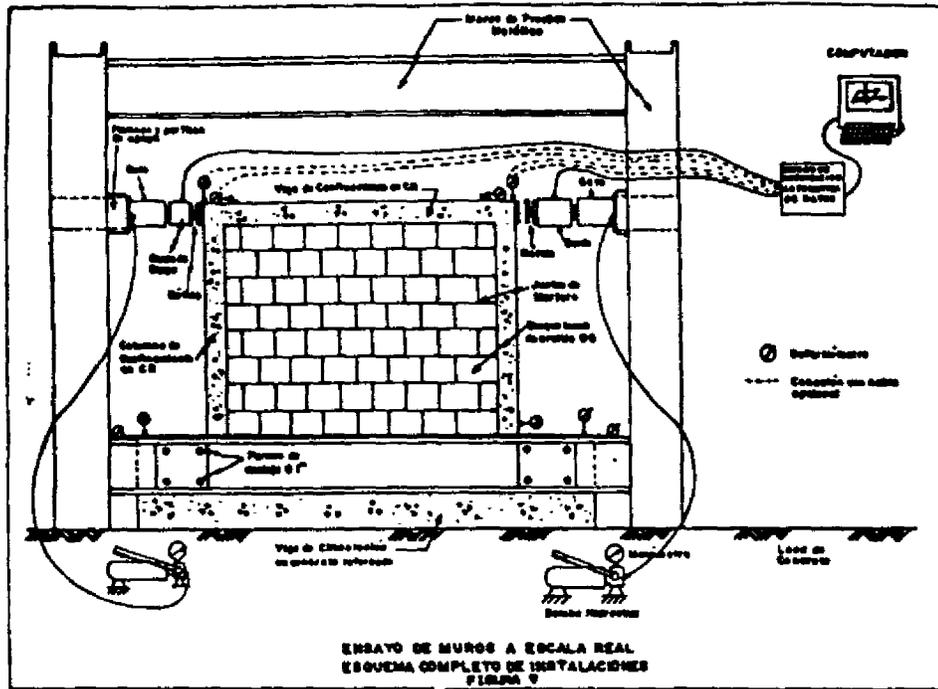
P&D - ITC FISURACION CARGAS D, E Y F SEPTIEMBRE 2, 1989 FIGURA 7



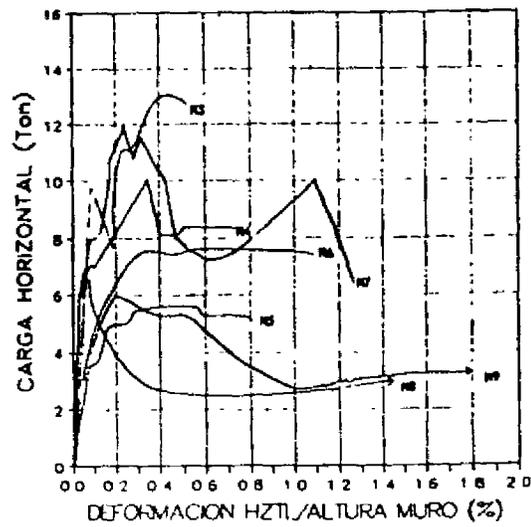
UNIDADES DE MAESTRERIA TÍPICAS

- (a) TOLTE - LADRILLO BASTIDO DE APICILLA
- (b) LADRILLO DE PERFORACION VERTICAL DE OBRACITO
- (c) LADRILLO DE PERFORACION VERTICAL DE APICILLA
- (d) LADRILLO DE PERFORACION VERTICAL DE APICILLA
- (e) LADRILLO DE PERFORACION HORIZONTAL DE APICILLA

FIGURA 8



ENVOLVENTES CARGA-DEF ENSAYO TOTAL



MURO No.4 ENSAYO TOTAL

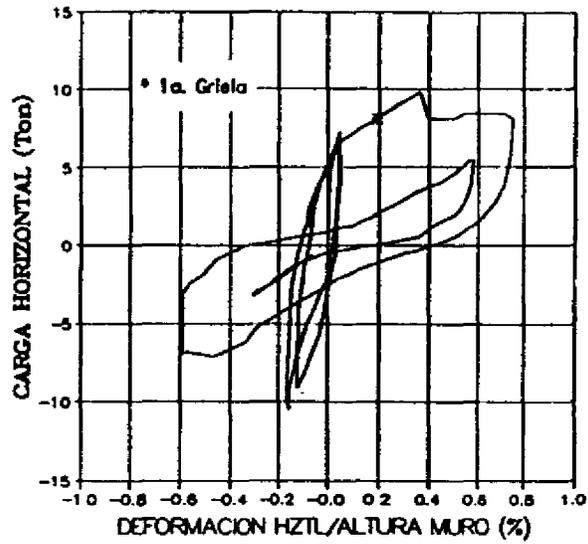


FIGURA 11

MURO No.8 ENSAYO TOTAL

