

Sistema de muros de mampostería estructural confinada con perfiles de acero para la vivienda de bajo costo

Domingo Acosta / Christian Vivas / Enrique Castilla / Norberto Fernández

Resumen

Siendo la mampostería estructural la técnica para vivienda de bajo costo más difundida en Venezuela y Latinoamérica, la construcción con muros de mampostería confinada es la solución estructural más comúnmente utilizada en las viviendas de los sectores menos pudientes de Venezuela. En este trabajo, poniendo énfasis en el concepto de progresividad de la vivienda de interés social, se aborda el desarrollo de un sistema constructivo de muros de mampostería estructural confinada, con marcos de confinamiento de perfiles de acero, que mejorará el rendimiento de la mampostería a la vez que propiciará su sostenibilidad, sismo-resistencia y flexibilidad. Se promueve una forma de producción que combina materiales de la gran industria, el acero, con materiales y técnicas locales. Los perfiles añaden seguridad a la mampostería por la confiabilidad del control de calidad de los elementos al tiempo que se proponen estrategias para responder a los factores ambientales: reducción del consumo energético y de recursos, "construir bien desde el inicio", "cero desperdicio", y producción local y flexible.

Abstract

Being structural masonry the most common housing technique for low cost houses in Venezuela and Latin America, it is confined brick masonry the structural solution commonly used in Venezuelan less well-off sectors. Putting the emphasis on the progression on social interest housing, it is proposed a construction system of structural brick masonry, with confining frames of steel profiles, which will improve the masonry performance and will permit its sustainability, seismic resistance and flexibility. We promote a production that combines materials from the big industry, the steel, along with materials and local techniques. These profiles offer security to masonry because of the quality control of its elements. Strategies to respond to ambient factors are also proposed: reduction of energy consuming and resources. "Building well from the beginning", "no wasting", local and flexible production.

La mampostería estructural es quizás la forma más antigua en que el hombre resolvió cómo hacer portantes las construcciones que necesitaba para su subsistencia. Las viviendas, los puentes, los acueductos, los templos, son, entre otros, algunos ejemplos de tales aplicaciones.

A pesar de que se han desarrollado nuevos materiales y elementos estructurales para atender dichas necesidades, la mampostería estructural se utiliza como principal alternativa portante para solucionar el problema de la vivienda en la región latinoamericana, donde a los sectores más desfavorecidos proporciona un medio para facilitar la autogestión. En Venezuela, como en otros países de la región, se requiere considerar la necesidad de convivir con los efectos que resultan de la ocurrencia de grandes terremotos, en particular cuando estos comprometen la estabilidad de las edificaciones.

La mampostería estructural moderna ofrece posibilidades sismo-resistentes con la adecuación de muros portantes. Para ello se proponen dos alternativas: muros de mampostería armada internamente y muros de mampostería confinada. Esta segunda alternativa es la solución estructural más comúnmente utilizada en las viviendas de los sectores menos pudientes de Venezuela y es el objetivo principal de este proyecto.

Descriptores:

Muros de mampostería estructural confinada; Vivienda de interés social; Vivienda progresiva.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 21-II, 2005, pp. 55-81.
Recibido el 28/04/05 - Aceptado el 30/04/06

Este artículo es resultado del Informe de avance n° 2 del proyecto de investigación conjunta IDEC – IMME titulado “Desarrollo de sistema de muros de mampostería estructural confinada de rápido montaje para la vivienda de bajo costo” (Proyecto n° 2001002524 en el marco del convenio FONACIT-INAVI-UCV auspiciado por FONACIT). Se plantea aquí desarrollar un sistema constructivo de muros de mampostería estructural confinada, con marcos de confinamiento de perfiles de acero. El sistema mejorará el rendimiento de la mampostería a la vez que propiciará su sostenibilidad, sismo-resistencia y flexibilidad de producción específicamente en aplicaciones para la vivienda de bajo costo.

La posibilidad de conseguir que los muros estructurales de mampostería puedan ser confinados con elementos metálicos abre numerosas posibilidades y variantes, dada la diversidad de bloques y perfiles existentes en el mercado nacional.

Antecedentes

Trabajos recientes del IDEC han planteado sistemas constructivos de muros de mampostería confinada que buscan aumentar la eficiencia de los lentos procesos constructivos típicos de esta técnica a la vez que permitan cumplir con los requisitos de seguridad estructural de una mampostería estructural (Acosta, 2000a). En este sentido, se ha explorado la posibilidad de construir a mayor velocidad estructuras muy ligeras de elementos lineales de acero que sustituyan el tradicional marco de confinamiento de concreto armado vaciado en sitio y que permitan colocar de inmediato la cubierta o el entepiso, para luego construir, bajo techo, los muros que trabajarán en colaboración con la estructura metálica inicialmente construida, con la intención de obtener un conjunto estructural que trabaje más integralmente, que cumpla con los requerimientos de una mampostería estructural y que agilice los procesos de esta técnica constructiva. La cubierta se instala antes de la construcción de las paredes, permitiendo así a los trabajadores realizar las paredes bajo techo con lo que se espera aumentar el rendimiento de la mano de obra.

El Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela (IMME-UCV) ha realizado trabajos de investigación en mampostería estructural, específicamente en mampostería confinada (Castilla, 1999; 1997; 1995; 1991; 1988). Los ensayos realizados demuestran que la mampostería confinada puede ser aplicada para construir edificaciones sismo-resistentes, bajo

ciertas condiciones de diseño y ejecución que garanticen su calidad estructural y constructiva.

Una revisión preliminar de trabajos experimentales a nivel mundial demostró que no se tienen estudios completos que, desde el punto de vista sismo-resistente, demuestren las ventajas de utilizar muros de mampostería estructurales confinados con elementos metálicos. Hasta donde se conoce, este trabajo sería la primera experiencia en la cual se aplica y certifica experimentalmente un sistema de muros de mampostería confinada con marcos de perfiles de acero.

Justificación

La mampostería, en especial la confinada con vigas y machones vaciados en sitio, es la técnica de construcción más difundida y aceptada en nuestro país tanto en la construcción formal como en la informal. Además se cuenta con una enorme capacidad instalada de producción de distintos tipos de bloques en la industria de materiales de construcción, sin embargo, existe gran preocupación por la capacidad sismo-resistente de las edificaciones construidas con esta técnica. En primer lugar porque no existe en Venezuela una normativa estructural para mampostería; en segundo lugar porque las edificaciones que se construyen en muchos casos no cumplen con los requisitos básicos de una buena práctica constructiva. Estos factores atentan contra la sostenibilidad de la construcción como actividad productiva y contribuyen a acentuar la vulnerabilidad de nuestros asentamientos humanos.

Por otra parte, el uso intensivo de mano de obra de la mampostería, con su capacidad de generar empleo, impone una ejecución planificada de los procesos si se quiere combatir el bajo rendimiento de esta técnica que requiere de una cuidadosa realización a cielo abierto desde la primera hilada hasta la colocación de la cubierta. Estas características hacen de la mampostería una técnica cada vez más difícil de aplicar en programas masivos de vivienda. En resumen, de continuar las actuales prácticas constructivas de la mampostería, no habrá garantía de su seguridad estructural, y seguirá siendo una técnica de construcción muy poco eficiente.

La mampostería confinada es una técnica que, bien empleada, puede generar ahorros sustanciales, ya que las secciones del marco de confinamiento se reducen al espesor de los muros. Su aplicación como técnica racionalizada permitiría disminuir las secciones de concreto armado y acero de refuerzo al propiciar la contribución de las paredes o muros a la estructura en su conjunto, ventaja que no se logra con

las estructuras de pórticos o de esqueleto resistente. “Esta técnica reduce el uso de concreto armado, obliga a una mayor racionalidad dimensional y no implica cambios tecnológicos importantes...” (Cilento, 1989, p. 11).

Por estas razones en este trabajo se exploran nuevas fórmulas constructivas que agilicen la ejecución y mejoren las características sismo-resistentes de la mampostería confinada. Se trata, como ya se explicó, de desarrollar un sistema de muros de mampostería confinada con perfiles de acero de montaje rápido. La ejecución del esqueleto metálico del marco de confinamiento permite instalar rápidamente el techo y sirve además como guía para levantar las paredes a plomo, niveladas y a escuadra. A pesar de que en la mampostería se tiene poco control de algunos materiales y procesos, como ocurre con la elaboración del mortero de pega de los bloques, los perfiles de acero son producidos industrialmente lo que permite contar con un control de calidad más adecuado.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un sistema constructivo de mampostería estructural confinada, de rápido montaje, de uno o más pisos, con el objeto de estimular la participación de pequeñas y medianas empresas y comunidades organizadas en su fabricación y puesta en obra. El sistema mejorará el rendimiento de la mampostería, a la vez que propiciará su sostenibilidad, seguridad y flexibilidad de producción.

Objetivos específicos

1. Desarrollar un sistema de muros de mampostería estructural confinada que satisfaga los lineamientos básicos de la Normativa de Edificaciones Sismo-resistentes vigente.
2. Desarrollar fórmulas constructivas que aumenten el rendimiento y la productividad de la mampostería y buscar mecanismos que la hagan más eficiente en su ejecución.
3. Combinar elementos constructivos de tecnología avanzada, con técnicas de uso y raigambre local (“sincretismo tecnológico”), para lograr flexibilizar la producción con el objeto de poderla aplicar de manera masiva a pequeña escala.
4. Estimular la producción y difusión de soluciones constructivas innovadoras para mampostería estructural sismo-resistente, que sean fácilmente aceptadas y desarrolladas por pequeñas y medianas empresas y comunidades organizadas.

5. Propiciar la sostenibilidad de la construcción estimulando la aplicación de criterios como “construir bien desde el inicio” y “cero desperdicio”.

Las etapas de la investigación contemplan un procedimiento por el cual el sistema constructivo planteado se desarrolla a través de aproximaciones sucesivas al problema que van desde una fase conceptual, más general, hasta las fases de desarrollo, experimentación y documentación del sistema, pasando por una fase de diseño.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos hasta la fase experimental, incluyendo los ensayos de muros a escala natural. No se incluye la construcción de los prototipos que será documentada posteriormente, cuando se concrete su realización.

En la primera parte se describe el sistema estructural de mampostería confinada con elementos de acero. Se abordan los aspectos conceptuales de la estructura así como el diseño y desarrollo del sistema estructural. En la segunda parte se plantea el nivel de tecnología del sistema, su escala y flexibilidad de producción y los procesos de producción en taller y en obra. En la tercera parte se proponen estrategias para responder a los factores ambientales y propiciar una construcción sostenible: reducción del consumo energético y de recursos, “construir bien desde el inicio”, “cero desperdicio”, y producción local y flexible. En la última parte se proponen varios proyectos de aplicación del sistema a viviendas progresivas de interés social de una y dos plantas. Por último se recapitula sobre los resultados obtenidos y se hacen recomendaciones de trabajo futuro en esta línea de investigación.

El sistema estructural: mampostería estructural confinada con elementos de acero

Aspectos conceptuales de la mampostería estructural confinada¹

La ocurrencia de terremotos fuertes genera acciones laterales sobre las edificaciones, sometiendo sus elementos portantes a grandes sollicitaciones de cortante y de volcamiento. Cuando esos elementos son muros de mampostería se generan tensiones importantes de tracción que provocan una rápida fisuración diagonal de las paredes, situación que puede comprometer la estabilidad del muro y, por lo tanto, de la edificación.

En los muros de mampostería confinada se colocan elementos estructurales esbeltos (machones y vigas de corona) que rodean íntimamente a las paredes. Aun-

que no se puede evitar la fisuración de los muros contra las cargas laterales paralelas a sus planos, la acción integradora que se produce entre los paños de mampostería y los elementos confinantes retarda el agotamiento de los muros permitiendo desplazamientos laterales significativos y de carácter alternante. Cuando las cargas actúan de manera perpendicular a los planos de los muros, los elementos confinantes son el factor básico de estabilidad. Tales conductas estructurales han sido mundialmente comprobadas a nivel experimental con ensayos de muros a escala natural sometidos a cargas laterales severas y alternantes.

Adicionalmente, los momentos de volcamiento generados por tales acciones requieren de elementos capaces de resistir las tracciones inducidas. Los machones o elementos confinantes verticales cumplen con tal compromiso (ver figuras 1 y 2).

La mampostería confinada con elementos esbeltos de acero

Normalmente los muros de mampostería confinada se construyen con elementos menores de concreto armado. El proceso constructivo tradicional facilita la integra-

ción íntima entre todos los componentes estructurales. Primero se levanta el paño de mampostería entre el armado de los machones, se arma la viga de corona superior y se vacía el concreto para los elementos verticales y horizontales confinantes. Una vez que el concreto fragua, se genera una buena traba mecánica que produce la integración entre los componentes.

La sustitución por perfiles esbeltos de acero como elementos confinantes, debido al acabado liso de los perfiles, no garantiza su adecuada integración con los paños de mampostería, permitiendo al usuario adaptarlo a su necesidad. En muchos casos las paredes son para la colocación de los servicios o para separar ambientes. En estas situaciones, es preferible que las paredes no se consideren parte del sistema resistente a sismos, por lo que se recomienda aislarlas del conjunto estructural no dejando que se integren con los elementos de confinamiento. Para estos casos se deben ignorar los conectores de corte.

Debido a que el acero es un material dúctil, es un buen elemento para disipar energía inelástica. Esta cualidad puede ser aprovechada por las paredes —y por ende por las edificaciones—, complementando las respuestas de la mampostería a las solitudes sísmicas.

Figura 1
Comportamiento de la mampostería estructural confinada ante fuerzas laterales

Fuente: E. Castilla

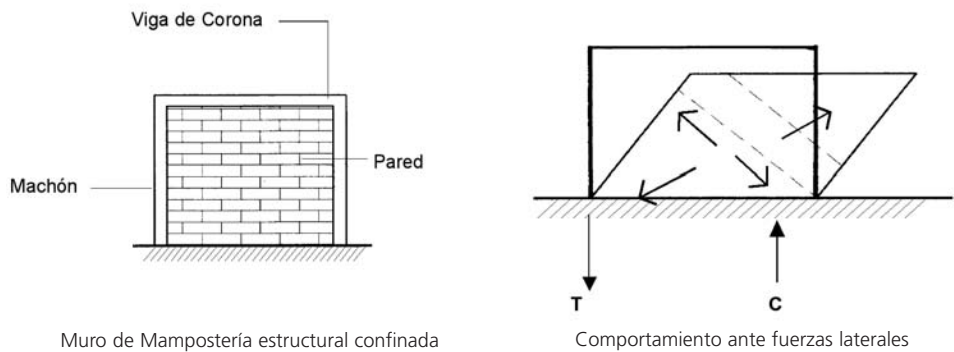
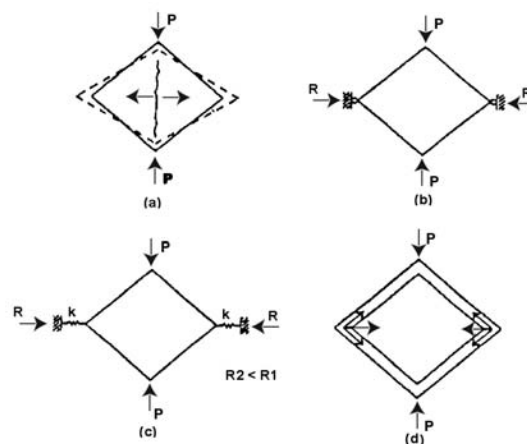


Figura 2
Elementos de soporte y de resistencia sísmica: confinamiento de la mampostería

Fuente: E. Castilla



La seguridad estructural de todo sistema nuevo, por un lado debe verificarse de acuerdo con lo previsto en la norma venezolana “Edificaciones Sismo-resistentes” COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) y por el otro, con la evaluación experimental mediante ensayos a escala natural, comparándolos con otros sistemas convencionales o con otros parecidos previamente evaluados.

Como parte de este proyecto de investigación se solicitó al IMME la evaluación del sistema propuesto (IMME, 2004). Para ello se realizaron 8 ensayos de muros a escala natural, en los que se estudiaron aspectos propios de la propuesta. El Informe Técnico concluye con puntos muy precisos que determinan las propiedades sismo-resistentes del sistema, propiedades que resultaron muy semejantes a las encontradas por el IMME en experiencias anteriores para muros de mampostería confinada estructural contra acciones laterales severas. Los patrones de pérdida de rigidez lateral con el aumento inelástico de deformaciones horizontales, la capacidad para disipar energía inelástica y la ductilidad equivalente elasto-plástica resultaron muy similares para todas las experiencias. Desde este punto de vista, los muros de mampostería confinada con elementos metálicos resultaron tan efectivos como los muros de mampostería confinada convencional con concreto. Es conveniente insistir en la bondad de los conectores de corte propuestos para este grupo de ensayos que se detalla en la sección “Diseño y desarrollo del sistema estructural”. Como conclusión general se puede inferir que la solución estructural de muros de mampostería confinada con perfiles metálicos resultó tan viable y confiable como las soluciones convencionales, es decir, aquella donde los elementos esbeltos de confinamiento son de concreto armado.

Directrices generales de diseño estructural con mampostería estructural confinada

Un requisito esencial para el sistema de mampostería propuesto es el desarrollo de un detallado diseño sismo-resistente que responda a los principios fundamentales de la mampostería estructural. Gallegos (1989a y b) y Castilla (1997) hacen hincapié en este aspecto al desarrollar sus recomendaciones para el diseño sismo-resistente de la mampostería estructural. Entre las de Gallegos destacan:

- que tengan el menor peso posible;
- que no produzcan torsiones;
- que las concentraciones de fuerzas y esfuerzos sean mínimas;
- que la estructura esté amarrada mediante diafragmas competentes;

- que tengan la máxima robustez que conformen un “conjunto estructural”;

- que atiendan a la forma del edificio, a su simetría, a las proporciones de los muros y a la continuidad de los diafragmas.

Gallegos insiste en que se deben prever muros resistentes al sismo en las dos direcciones principales de la edificación y unirlos a través de elementos horizontales (vigas de corona o diafragmas) para conformar un “conjunto estructural” (Gallegos, 1987, pp. 16-17).

Por su parte, al Prof. Castilla (1997) le preocupa la calidad con que se ejecute la mampostería, en especial en las construcciones informales: “...la posibilidad de generar elementos atrevidos y confiables depende, entre otras cosas, del conocimiento y control de los materiales que lo componen. De todas las alternativas constructivas, es quizás la mampostería estructural la que más requiere de controles de calidad estrictos y efectivos” (Castilla, 1997, p. 335). Tanto es así que los fracasos de la mampostería estructural en recientes eventos sísmicos este autor los atribuye principalmente a deficiencias constructivas tales como: “No cerrar los lazos de confinamiento, interrumpir arbitrariamente el acero de refuerzo, no anclar debidamente las vigas de corona con los machones, el amarre inadecuado de pisos y techos a los muros, y la mala calidad de los materiales...” (Castilla, 1997, p. 339). En resumen, Castilla señala que la mampostería estructural requiere de controles de calidad estrictos y efectivos.

1. Causas de fracaso de la mampostería:
 - a. No cerrar los lazos de confinamiento
 - b. Interrumpir arbitrariamente el acero de refuerzo
 - c. No anclar debidamente las vigas de corona con los machones
 - d. Amarre inadecuado de pisos y techos a los muros, y
 - e. Mala calidad de los materiales.
2. Mampostería estructural segura y competitiva:
 - a. Diafragmas rígidos para los pisos
 - b. Distribución apta de paredes estructurales en las dos direcciones principales
 - c. Cuidar los detalles en el proceso constructivo, y
 - d. Limitar los daños controlando la deriva de los pisos.

Al final de su trabajo concluye el autor recomendando que para construir estructuras “seguras y competitivas” se debe lograr: “...una adecuada concepción estructural en donde se disponga de diafragmas rígidos para los pisos y de una distribución apta de paredes estructurales en las dos direcciones principales, de cuidar los detalles en el proceso constructivo, y de limitar los daños controlando la deriva de los pisos...” (Castilla, op. cit., p. 344) (figura 3).

Estos criterios han sido incorporados en el diseño y desarrollo del sistema estructural de mampostería confinada con perfiles metálicos, tal como se evidencia a continuación.

Diseño y desarrollo del sistema estructural

Para el diseño de los muros se consideraron varias opciones de materiales existentes en el mercado: bloques de concreto y arcilla, varios tipos de perfiles estructurales de acero, distintas opciones de conexión de los muros y el marco de confinamiento, etc. Estas opciones están resumidas en el cuadro 1 haciendo énfasis en la utilización de materiales de amplia disponibilidad en el mercado.

Muros: elementos de soporte y resistencia sísmica

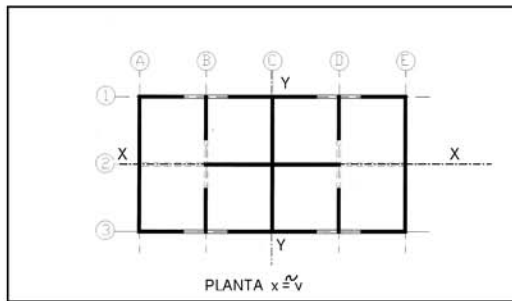
Los muros son los elementos portantes del sistema, encargados de transmitir las cargas y solicitaciones estructurales. Se plantean muros llenos (principales responsables de la capacidad sismo-resistente), muros con vanos y vanos completos (ver figura 4).

Muros llenos: son los que llevan la mayor responsabilidad estructural, en particular para las solicitaciones laterales por acción sísmica.

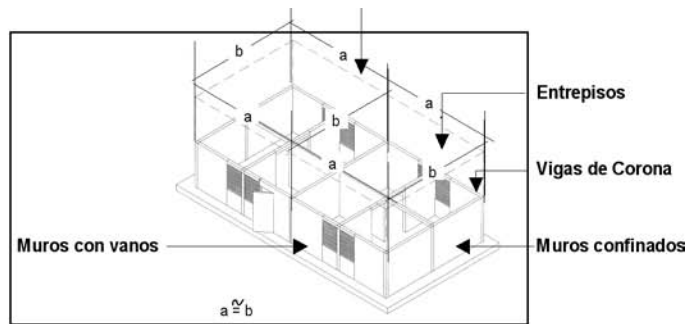
Muros con vanos: son aquellos cuya capacidad de carga se ve disminuida por la existencia de vanos pero que bien diseñados y contruidos pueden contribuir en el esquema resistente de la edificación en su conjunto. Incluyen los muros con puerta y los muros con ventana. Dependiendo del caso se prevén los respectivos dinteles o alfeizares y machones auxiliares para garantizar su calidad constructiva y estructural.

Figura 3
Concepción Estructural
 - Elementos de soporte y de resistencia sísmica
 - Mampostería Estructural Confinada
 - Ejemplos y esquemas de distribución de muros

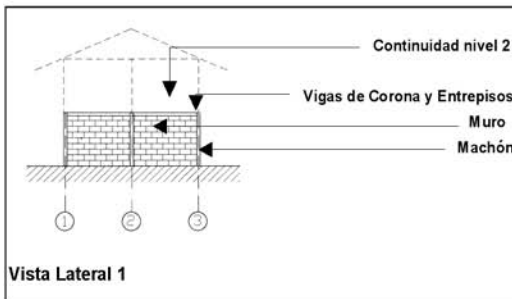
Fuente: H. Gallegos (1987; 1989 a y b), E. Castilla (1997)



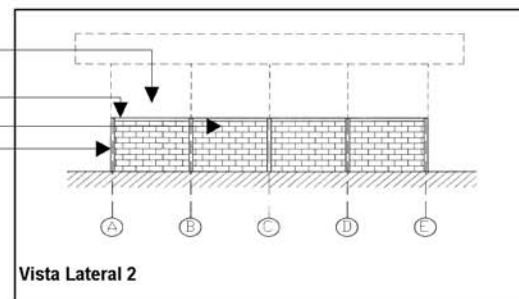
PLANTA: "Distribución apta de muros estructurales en las dos direcciones"
 "Atender la simetría de la edificación"
 "Que conforme un conjunto estructural"



Mantener continuidad de los diafragmas; Vigas de Corona y Entresijos

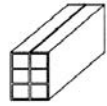
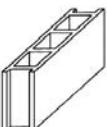




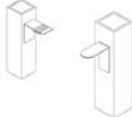
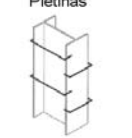

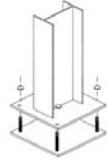
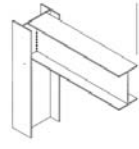
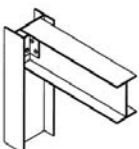
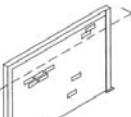


Vista Lateral 1



Vista Lateral 2

Cuadro 1
Opciones para el diseño de los muros

MATERIALES MURO	MATERIALES MARCO DE CONFINAMIENTO	CONEXIONES			REFUERZOS ESPECIALES
		Marco - muro	Machón fundación	Viga de corona machón	
 Arcilla e= 10cm 15cm  Concreto e= 10cm 15cm	 A 36 { VP 120 VP 160 Electrosoldados A 50 { ECO 100 ECO 155 Cuadrado  Tubular de acero formado en frío  Properca formados en frío  Tipo "C" perfil formado en frío	 Pletinas  Cabilla doblada d=1/4"  Cabilla trabada d=1/4"	 Apernada	 Soldadura  Perno	Ninguno  Postensado

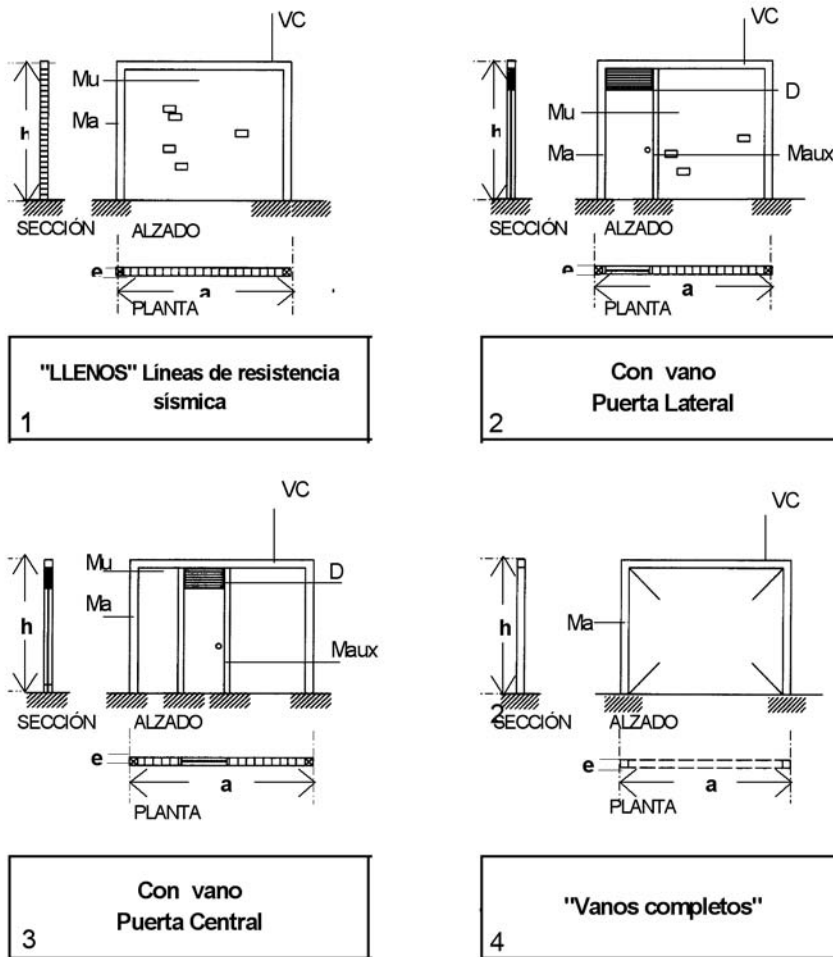


Figura 4
Tipos de Muros, elementos de soporte y resistencia sísmica

LEYENDA: Ma = Machón Mu = Muro VC = Viga de corona D = Dintel Maux = Machón auxiliar A= Alféizar V = Ventana
h = Altura a = Ancho e = Espesor

Vanos completos: para lograr mayor flexibilidad en el diseño arquitectónico y la distribución de los ambientes, es necesario crear vanos completos que permitan integrar ambientes como Estar-Comedor. En estos casos se prevé reforzar las vigas de corona.

Perfiles del marco de confinamiento

Se ha dado prioridad a los perfiles existentes en el mercado producidos por fabricantes nacionales, los cuales deberán tener dimensiones que permitan su compatibilidad con bloques existentes en el mercado para la construcción de muros de 10 cm y 15 cm. Entre los perfiles que se han considerado para el sistema están:

1. Viga PROPERCA, VP: 120 y 160, acero A-36.
2. Tubular cuadrado estructural CONDUVEN: ECO 100 y 155, Acero A-50.
3. PROPERCA perfiles formados en frío, tipo "I", acero A-50: 150 y 180 mm.
4. Perfiles "C" abiertos laminados en frío, acero A-36: 130 y 180 mm.
5. Otros perfiles estructurales compatibles con los muros de mampostería.

Ver ejemplo de marco de confinamiento típico con viga PROPERCA (figura 5).

Bloques

Se limitará la utilización de bloques a los que predominantemente se producen en el mercado². Ellos son:

1. Bloques huecos de concreto, espesor nominal de 10 cm y de 15 cm.
2. Bloques huecos de arcilla (tubulares), espesor nominal de 10 cm y de 15 cm.
3. Bloques de arcilla tipo "TRINCOTE".

En todos los casos, en lo referente a sus dimensiones, capacidad resistente y apariencia, los bloques deberán cumplir con los requerimientos de calidad establecidos en las normativas.

Entrepisos y techos

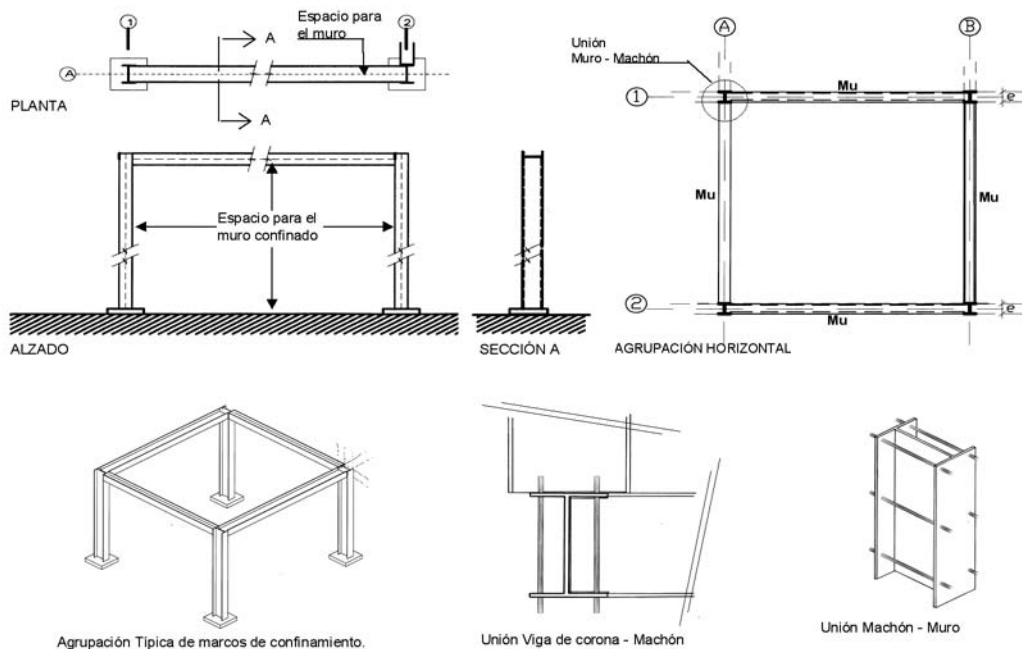
Los techos pueden ser inclinados, para facilitar las pendientes que drenan las aguas de lluvia, o planos en previsión del crecimiento vertical.

1. Techos inclinados

a. Láminas: por su economía, ligereza y facilidad y rapidez de montaje se dará preferencia a cubiertas livianas disponibles en el mercado que, bien utilizadas, pueden ofrecer resultados ambientales satisfactorios.

b. Teja sobre forro impermeabilizado: solución que aunque requiere de mano de obra especializada y es costosa, ofrece buenos resultados ambientales y estéticos.

Figura 5
Ejemplo de marco de confinamiento típico



c. Con capa de concreto: para lo cual se requiere impermeabilización y acabados. Las opciones de materiales para este tipo de techo son:

- Tabelón sobre perfiles.
- Encofrado metálico colaborante.
- Nervios prefabricados.

2. Techos planos y entrepisos

Los entrepisos deben conformar un diafragma rígido y trabajar conjuntamente con las vigas de corona de los muros, sin interrumpir la continuidad estructural de la mampostería, facilitando el crecimiento vertical de las viviendas. Con este fin se propone que estos elementos estén constituidos por sistemas que incorporen una capa de concreto. Se propone trabajar con tres opciones: la losa de tabelones, el encofrado metálico colaborante y nervios prefabricados. Todos estos sistemas prevén el vaciado de una capa de concreto de entre 5 cm y 10 cm de espesor, con malla electrosoldada.

Detalles y uniones

La mampostería estructural confinada, en especial cuando se propone innovar con marcos de confinamiento de acero, requiere de sumo cuidado con las uniones de sus componentes y elementos para garantizar la integridad del comportamiento estructural, en particular frente a acciones sísmicas. Especial atención debe ser dedicada a las uniones de los elementos del marco de confinamiento, es decir, del machón a la viga de corona y del

machón a la fundación. Por otra parte, es importante la unión del marco de confinamiento con los paños de mampostería, a través de conectores de corte que entran los perfiles a las uniones de mortero de los bloques. Por último, la unión del entrepiso a las vigas de corona debe garantizar el funcionamiento de la losa como diafragma rígido. El cuadro 1, más arriba, resume los tipos de uniones del sistema, además, en la figura 6 se presentan los detalles y uniones típicos del sistema constructivo.

1. Uniones del marco de confinamiento

Los tipos de uniones del marco de confinamiento deberán mantener la integridad de las uniones entre la viga de corona y el machón, así como del machón con la conexión a la fundación. Se consideraron dos tipos de uniones por soldadura y apernada.

La unión por soldadura facilita el proceso constructivo en campo, pero necesita de mano de obra especializada y no permite la fácil recuperación de los materiales al final del ciclo de vida de la estructura. Por su parte, la unión apernada es de muy fácil montaje y permite la des-construcción a la hora de demoler la edificación. En los ensayos se comprobó que ante cargas laterales alternantes la unión apernada tuvo un comportamiento similar a la unión por soldadura.

2. Conexión marco – muro

Para la conexión marco–muro se incorporan en los machones y vigas de corona conectores de corte de barra

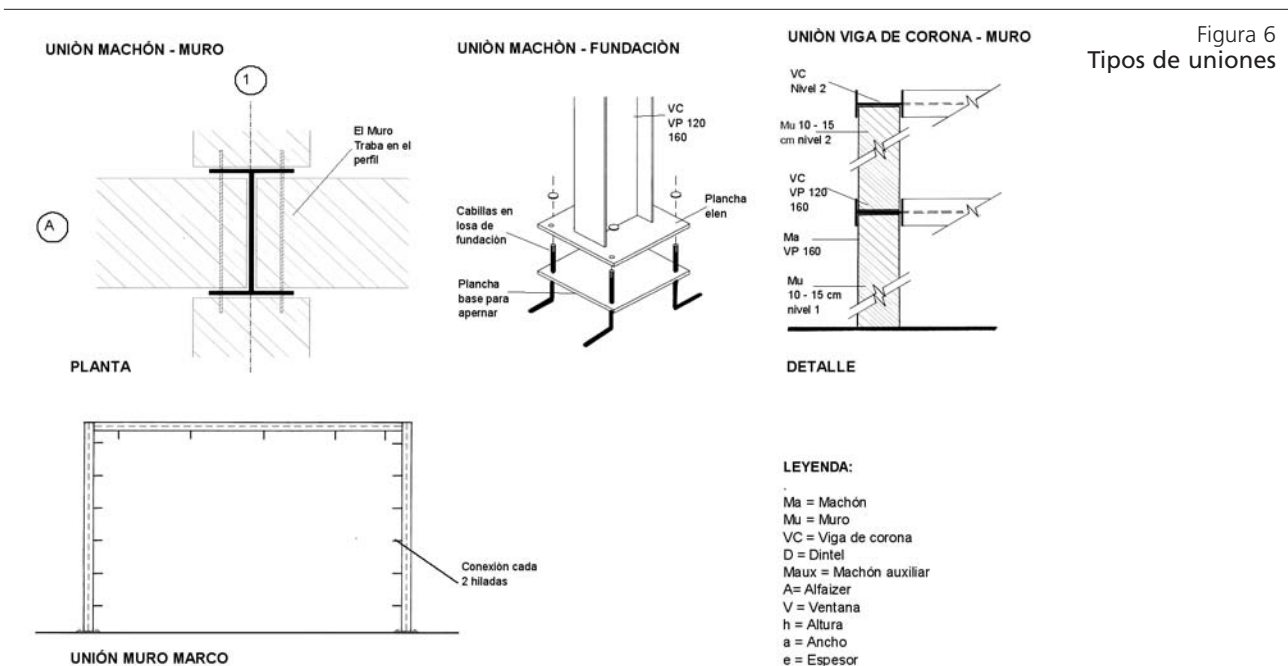


Figura 6
Tipos de uniones

lisa de diámetro 1/2" para lograr la trabazón de los bloques con los perfiles del marco de confinamiento. Los conectores se ubican cada dos hiladas haciéndolos coincidir con el mortero entre las caras de asiento de los bloques; en la viga de corona se ubican en la unión vertical entre bloques, tal como lo ilustran la figura 7 y las fotografías de las figuras 8 y 9.

Configuración geométrica

1. Relación de aspecto

La relación entre el largo y la altura del muro, generalmente se sugiere cercana a la unidad. Se deben evitar muros excesivamente largos sin machones intermedios dado que resultan más inestables que los paños cuadrados.

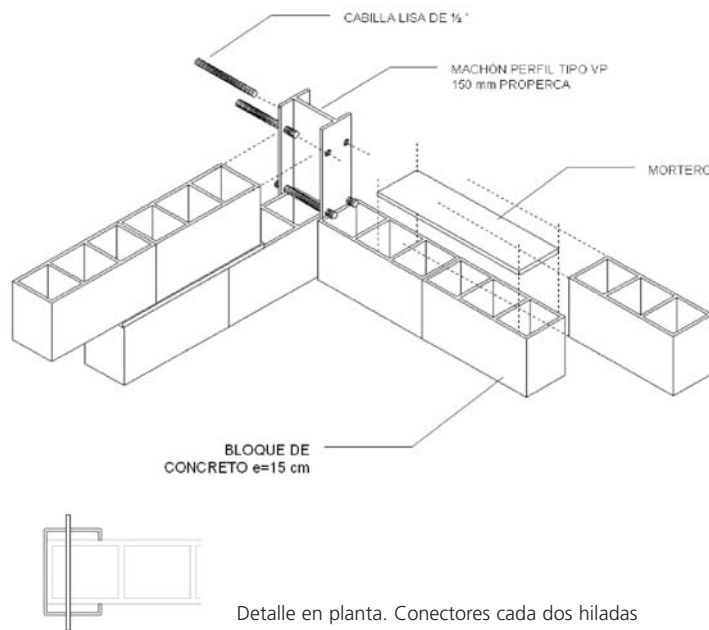
2. Dimensiones de los muros

Por otra parte, las dimensiones de los muros deben responder a las luces típicas utilizadas en el diseño de viviendas: entre 2,60 m y 3,50 m máximo. Estas dimensiones también son apropiadas para las luces de entresijos y techos.

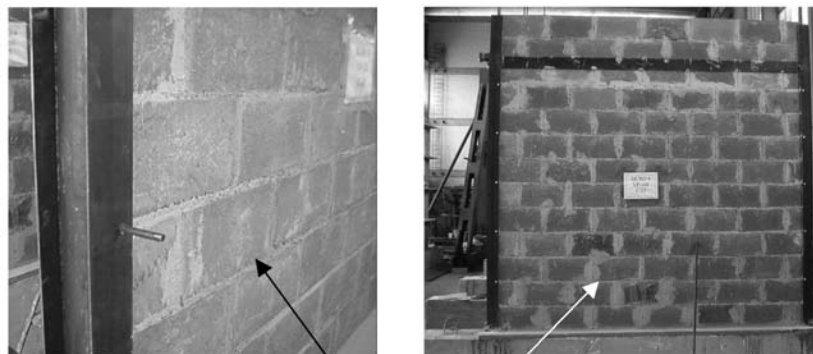
3. Coordinación modular y dimensional

Los esquemas en los gráficos de la figura 10 indican cómo desde el punto de vista dimensional y constructivo se pueden coordinar cualquiera de las opciones arriba presentadas de componentes y elementos que conforman el sistema: muros, marcos de confinamiento, entresijos, y techos.

Figura 7
Conexión marco-muro



Figuras 8 y 9
Colocación del conector de corte en machón. Nótese que se hace coincidir con el mortero de pega de cada dos hiladas



Conectores de corte cada dos hiladas

4. Número de plantas o niveles

El número de niveles se fijará, de manera conservadora, entre uno y dos pisos. En trabajos posteriores se explorará la posibilidad de aplicar el sistema a un mayor número de pisos, de acuerdo con los resultados experimentales y de producción obtenidos a raíz de este estudio.

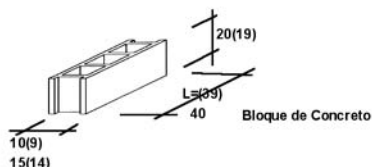
Instalaciones y servicios

Uno de los aspectos más importantes de los sistemas de mampostería estructural es la coordinación con las instalaciones y servicios para facilitar su incorporación en el proceso constructivo y evitar que su inclusión origine problemas que afecten el comportamiento de la mampostería a las solicitudes sismo-resistentes. Se debe evitar la rotura indiscriminada de paredes para embutir tuberías, ya que esto atenta contra la seguridad estructural de las viviendas, genera gran cantidad de desperdicios y hace los procesos constructivos lentos e ineficientes. En este sentido, a partir de trabajos realizados en el postgrado del IDEC (López, 2002), se propone un conjunto de técnicas apropiadas para la inclusión de las instalaciones sanitarias y eléctricas en la construcción de viviendas de mampostería (ver figura 11).

Se recomienda utilizar tubería a la vista tanto para la conducción de aguas blancas y electricidad como para la disposición de aguas servidas, las cuales deben ser instaladas por medio de soportes adecuados, de manera de fijarlas de forma segura a las paredes y a los techos de los ambientes de servicio de la vivienda. Por otra parte, la instalación de bajantes principales de aguas servidas, montantes de aguas blancas o acometidas eléctricas puede realizarse por medio de ductos o camisas embutidas en losas de entrepisos.

Nivel de tecnología del sistema

La producción de mampostería confinada con perfiles metálicos combina los elementos de la gran industria, los perfiles de acero del marco de confinamiento, con materiales y técnicas de raigambre local, enfoque que permitiría la participación descentralizada de los municipios, empresas, y comunidades a nivel local, lo que el Prof. Cilento (1996 y 1999) ha bautizado con el nombre de "sincretismo tecnológico".



Módulo Horizontal:

$$L = \frac{L+J}{2}$$

L= Longitud Nominal

J= Junta

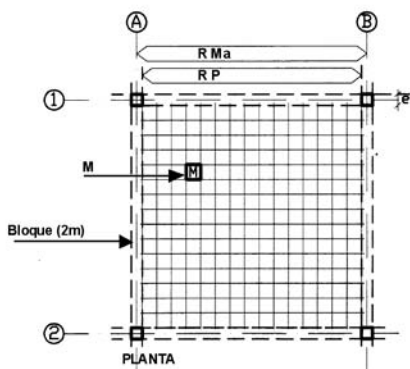
1/2= Medio bloque.

Módulo Vertical:

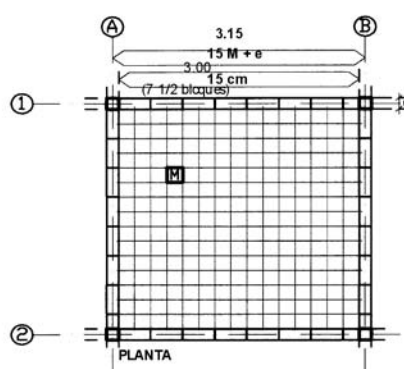
$$L = \frac{39 + 1}{2} = 20$$

Figura 10
Coordinación modular horizontal

Criterios de Posicionamiento del marco de confinamiento y paredes.



Ejemplo con bloque de 15 cm



SISTEMA MÓDULAR DE REFERENCIA HORIZONTAL

DOBLE RETICULA:

- 1.- e : Espesor del muro
- 2.- RP : Reticula dimensional de las paredes.
- 3.- R ma: Reticula dimensional del Marco.

- 1.- e : 15 cm
- 2.- RP : 3.00 m
- 3.- R ma: 3.15 m (RP + e)

Escala y flexibilidad de la producción

El sistema comprende una combinación de alta, media y baja tecnología de acuerdo al origen y tipo de insumo, según la desagregación del sistema constructivo en materiales, mano de obra y equipos, tal como se representa en la figura 12. El "sincretismo tecnológico" permite una enorme flexibilidad al estimular la producción masiva de viviendas en múltiples intervenciones a pequeña escala. En este caso, los promotores nacionales, locales, las organizaciones comunitarias de viviendas (OCV), etc. pueden promover muchas obras en diversos sitios o talleres de producción, con variedad de constructores, empleando materiales e insumos de distintos niveles de tecnología, como lo ilustra la figura 13. Este enfoque produce ventajas adicionales en la generación de empleo, y al aprovechar los recursos locales se produce un ahorro energético y de recursos, aspectos que serán ampliados más adelante en este trabajo.

Procesos y operaciones de producción del sistema

Concepción del proceso constructivo

El proceso constructivo del sistema propuesto se diferencia radicalmente del tradicional. Mientras en el proceso tradicional se construyen primero las paredes para luego vaciar los marcos de concreto y colocar la cubierta o entrepiso al final del proceso, en el sistema propuesto se construyen primero los marcos de confinamiento de perfiles de acero para luego colocar la cubierta o entrepiso y así, bajo techo, construir los muros de mampostería. A continuación se explican con más detalle ambos procesos.

Proceso tradicional (ver figura 14).

Paso 1. El proceso de construcción de la mampostería confinada comienza por armar el acero de refuerzo vertical, incluyendo las ligaduras.

Figura 11
Instalaciones sanitarias: disposición de aguas servidas

Fuente: López, 2002.

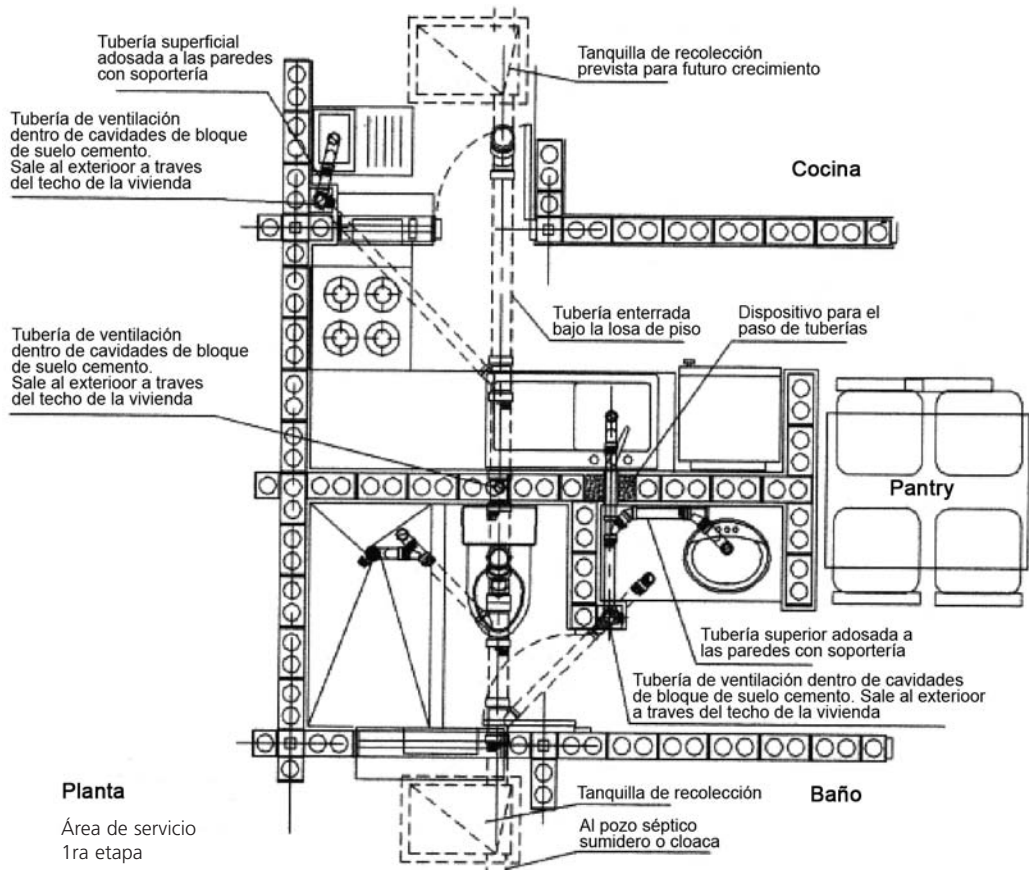


Figura 12
Nivel de tecnología, escala y flexibilidad de producción del sistema

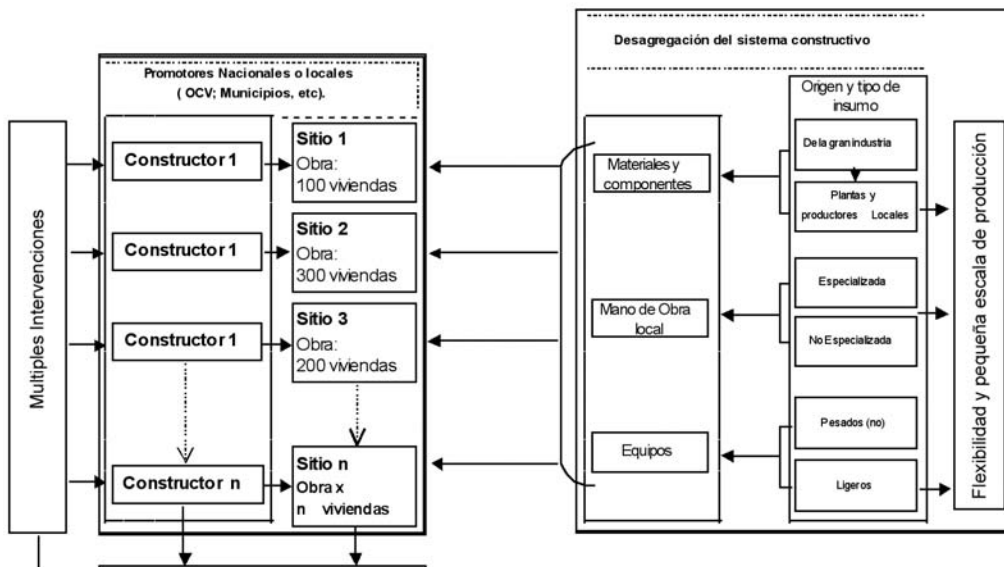
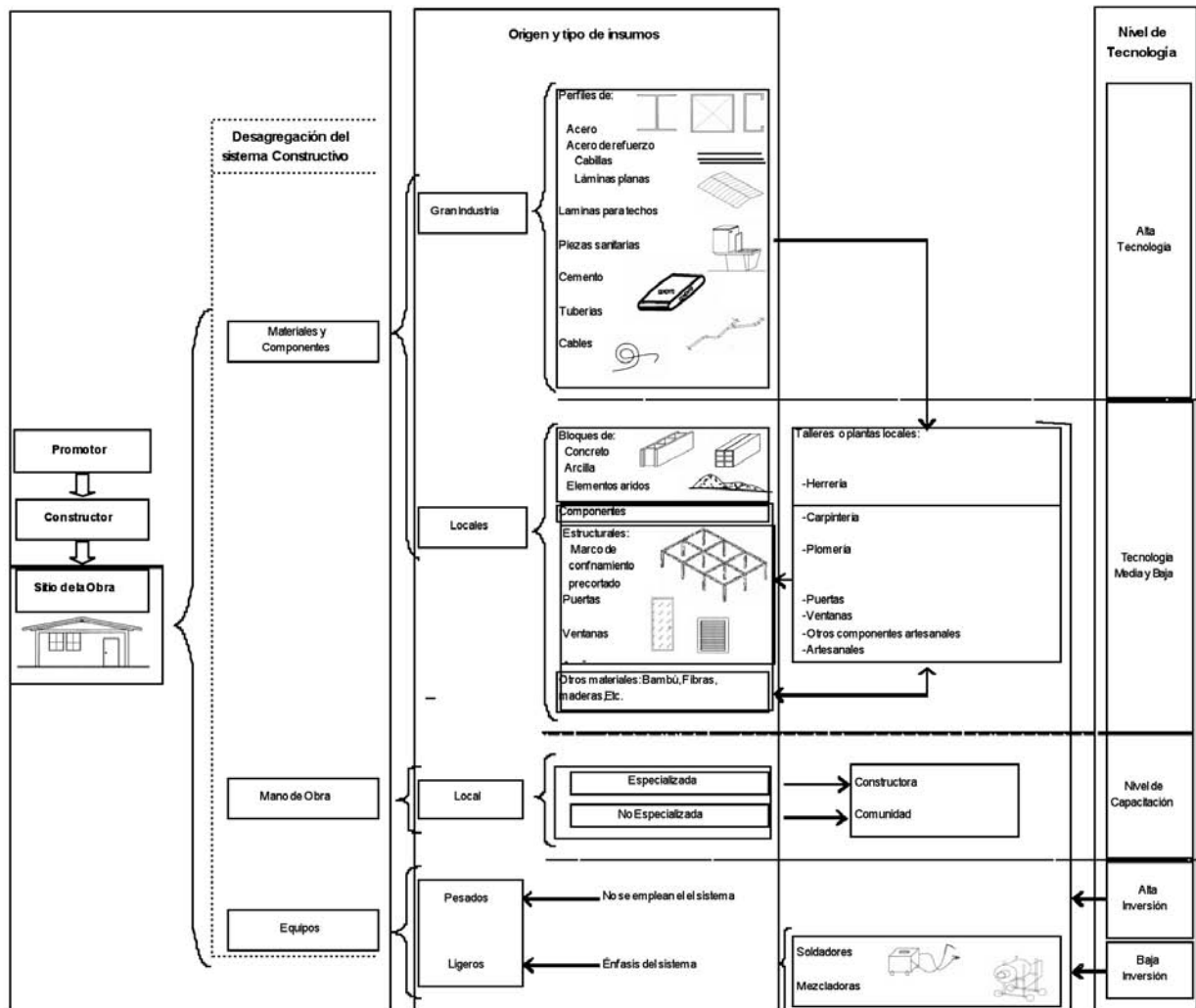


Figura 13
Escala y flexibilidad de la construcción: producción masiva de viviendas en múltiples intervenciones a pequeña escala

Fuente: Cilento, 1999.

Paso 2. A continuación, se levantan las paredes dejando el espacio necesario para los machones, los cuales usualmente son de sección cuadrada y su dimensión es igual al espesor de las paredes, es decir, 10 cm o 15 cm.

Paso 3. Luego se encofran y vacían los machones de concreto.

Paso 4. Se arman, encofran y vacían las vigas de corona, con secciones similares a las de los machones.

Paso 5. Por último se construye el entepiso o se colocan los techos.

Ventajas del proceso tradicional:

a. Técnica conocida y manejada tanto en el sector formal como en el informal de la construcción.

b. El vaciado de los machones, posterior a la construcción de las paredes, garantiza la traba mecánica del marco de confinamiento al paño de mampostería.

Desventajas del proceso tradicional:

a. Obliga a trabajar la mampostería a cielo abierto, con sus consecuentes inconvenientes como la intensa radiación solar y las continuas interrupciones en temporada de lluvias. Otro problema es que los bloques con alvéolos en la cara de asiento, como el bloque hueco de concreto, se llenan de agua y hay que protegerlos de la lluvia durante la construcción de las paredes.

b. En muchos casos se hace difícil el vibrado del concreto debido a las pequeñas secciones de los elementos del marco. Además, se tiende a fabricar concretos más líquidos, sin una dosificación y control de calidad apropiados.

c. Las mismas dificultades del vaciado, y la búsqueda de una reducción de costos sin criterio profesional, han ocasionado una tendencia a disminuir los diámetros del acero de refuerzo, en especial de las ligaduras y estribos.

Proceso propuesto (ver figura 15).

Paso 1. El proceso comienza por levantar los machones de perfiles de acero.

Paso 2. A continuación se colocan todas las vigas de corona para así completar el marco de confinamiento de perfiles de acero.

Paso 3. Seguidamente, se construyen las cubiertas o entepisos.

Paso 4. Construcción de los muros. Por último, se levantan los paños de mampostería.

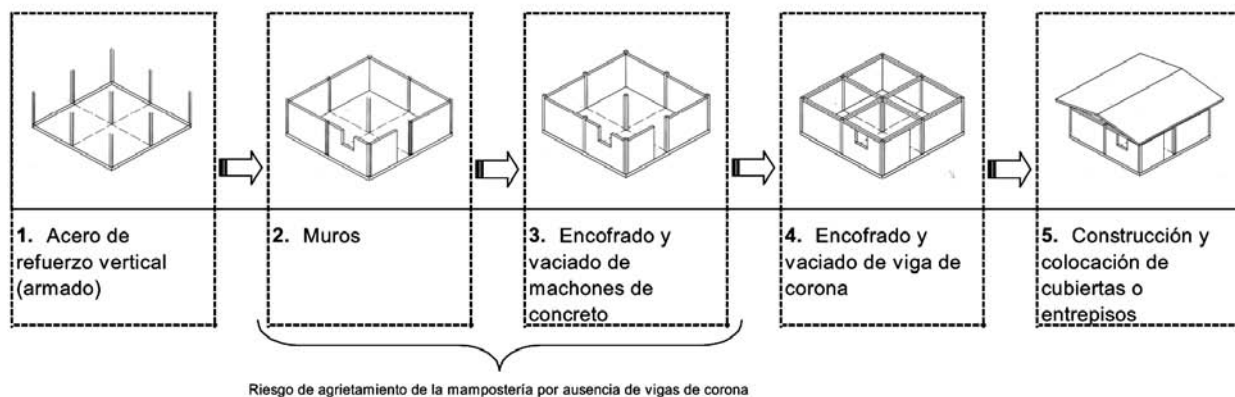
Ventajas del proceso propuesto:

a. Permite trabajar la mampostería bajo techo, evitando así la intensa radiación solar y las continuas interrupciones en temporada de lluvias. De esta manera se logra mejorar la productividad y el rendimiento de la mampostería sin menoscabo de la generación de empleo.

b. El marco de perfiles de acero presenta las siguientes ventajas:

- Se transfiere la mayor parte de la responsabilidad estructural del sistema al marco de confinamiento de perfiles de acero. Los perfiles de acero son producidos industrialmente, y por lo tanto se puede tener un control de calidad del marco de confinamiento más adecuado con este material.
- A través de los ensayos propuestos en este trabajo, y de análisis y cálculos que permitan la homologación de sus características resistentes, se puede prever cuál va a ser el comportamiento estructural de la mampostería confinada con marcos de cualquier perfil de acero que se produzca en el mercado.
- El marco sirve de guía para levantar las paredes a plomo, niveladas y a escuadra.

Figura 14
Proceso constructivo tradicional



- Al evitarse los vaciados se logra que el marco de confinamiento pueda ser recuperado, o des-construido, al final del ciclo de vida de la edificación.

Desventajas del proceso propuesto:

a. Introduce una variante poco convencional en la producción de la mampostería, sin embargo, debido a la sencillez de su ejecución y su compatibilidad con prácticas constructivas convencionales, esta característica no representaría mayores problemas para la ejecución masiva de este sistema.

b. Se debe realizar un estudio a fondo de los costos del marco de perfiles de acero para que sea competitivo con los elementos de concreto.

c. Se debe así mismo hacer un control de calidad riguroso durante la ejecución de las paredes para asegurar su traba con los elementos previstos para ese fin el marco de confinamiento.

Procesos y operaciones del sistema: procesos en taller y en obra

Los procesos y las operaciones para producir el sistema se pueden dividir en dos grandes grupos: los procesos de taller y los procesos en obra. Los primeros son todos los que pueden ser realizados en un taller o planta de producción y, por lo tanto, son más fáciles de supervisar en cuanto a control de calidad y generación de residuos. Estos incluyen componentes estructurales preensamblados y/o precortados en talleres de herrería tales como marcos de confinamiento, correas y nervios, elementos estructurales del techo; componentes de cerramiento, puertas, ventana; componentes de instalaciones y servicios, "arañas" de aguas negras, y otros.

Los procesos en obra son los que deben ser realizados en el sitio de la obra y, en consecuencia, son ejecutados a cielo abierto. Como es sabido, la actividad de la construcción corresponde a una "manufactura predominantemente heterogénea" (INCOVEN, 1987) en la que el proceso de producción de la obra, el producto final, está constituido por una serie de subprocesos articulados entre sí que incorporan materiales y componentes producidos en distintos lugares y con distintos niveles de mecanización, desde la producción local hasta los niveles de gran industria.

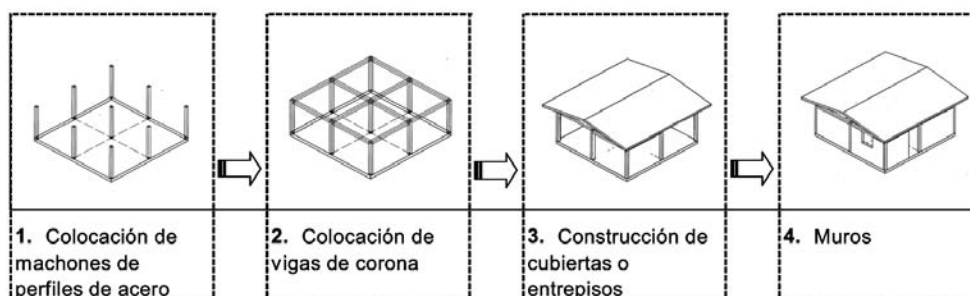
La mampostería es una técnica que requiere de la utilización de abundante mano de obra y por ello es beneficiosa por su capacidad generadora de empleo. Sin embargo, para mejorar su eficiencia de producción se requiere de una supervisión rigurosa y de una ejecución controlada. Es evidente entonces que la actividad que absorberá el grueso de las operaciones y los procesos en la obra será la ejecución de las paredes, muros o paños de mampostería. Las principales operaciones en sitio incluyen las fundaciones, la instalación de los marcos de confinamiento, los techos y entresijos, la construcción de paredes para los distintos tipos de muros previstos, las instalaciones y servicios, y los acabados.

Factores ambientales

Con el fin de propiciar una construcción sostenible se espera que el sistema cumpla con los siguientes requerimientos ambientales (Cilento, 1999, 1998, 1997; Acosta, 2003, 2002, 2000a; Acosta y Cilento, 2003-2004):

- Reducción del consumo de recursos;
- Reducción del consumo energético;
- "Construir bien desde el inicio";
- "Cero desperdicio"; y
- Producción local y flexible.

Figura 15
Proceso constructivo propuesto



Reducción del consumo de recursos

El sistema propuesto debe lograr la reducción del consumo de materiales por m2 de construcción y el aligeramiento de los componentes: marco de confinamiento y bloques.

La aplicación de la mampostería estructural confinada como técnica racionalizada promueve la reducción del consumo de materiales por m2 de construcción en virtud de que permite disminuir sustancialmente las secciones de concreto armado y acero de refuerzo al propiciar la contribución de las paredes o muros a la estructura en su conjunto, ventaja que no se logra con las estructuras de pórticos o de esqueleto resistente. Esta reducción del consumo de recursos se puede adicionalmente lograr a través de la disminución del peso de los componentes por medio del aligeramiento del marco de confinamiento, y la selección de bloques más ligeros como, por ejemplo, bloques huecos en vez de bloques macizos (ver Acosta, 2000a).

Reducción del consumo energético

Se debe lograr que el sistema incorpore elementos que permitan la utilización de sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental, tales como aleros, corredores abiertos, y vanos generosos para la ventilación natural en paredes y techos (ver figura 16) al igual que sistemas de producción y mantenimiento de bajo consumo energético.

Ventilación natural:

— El techo se diseñó separado de las paredes sobre una franja de bloques huecos que recorre todo el perímetro de las viviendas.

— Se dejaron aberturas en los techos para propiciar la salida del aire caliente

Las ventanas y otros vanos están dimensionados y ubicados para favorecer la ventilación natural a nivel de la persona.

Protección solar y de la lluvia:

— Fue prevista una generosa proyección de aleros que protege las fachadas y vanos de la radiación solar y de la lluvia.

— Las ventanas de romanilla de madera permiten mantener la ventilación cuando llueve.

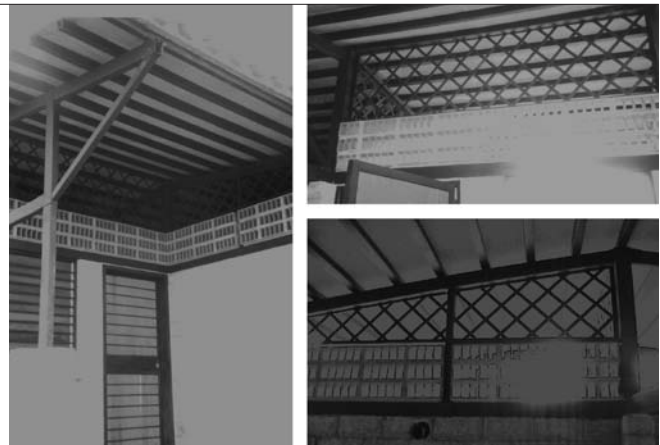
Por otra parte, se debe procurar que la producción y el mantenimiento del sistema no requiera de la utilización de maquinarias o equipos de alto consumo energético e intentar disminuir la necesidad de transporte de los elementos, materiales y componentes del sistema, exigencia en cuya resolución puede contribuir la producción local, flexible y de pequeña escala, que se explica más adelante. Por último, la larga vida útil del acero compensa su relativamente alta energía incorporada.

“Construir bien desde el inicio”

El sistema está concebido para una larga vida útil, para el desarrollo progresivo y para la transformabilidad y la reutilización.

Se trata de diseñar y construir con calidad, para una larga vida útil, para ser construido a menor costo, con criterios de fácil mantenimiento. Debe responder a un uso multifuncional que permita reformas y cambios en el uso de la edificación, sin grandes demoliciones y modificaciones estructurales. Así mismo, el sistema debe responder a criterios de flexibilidad, con miras al desarrollo progresivo, la transformabilidad y la reutilización por lo tanto debe permitir modificaciones y cambios y ser adaptable a las necesidades futuras de los usuarios. El desarrollo progresivo es una condición necesaria para garantizar más calidad, adaptabilidad y una mejor utilización de recursos escasos. Más adelante, a través de ejemplos, se demuestra la aplicación de estos principios para que el sistema responda a los requerimientos del desarrollo progresivo de las viviendas.

Figura 16
Elementos del sistema pasivo de acondicionamiento ambiental
- Bloques para ventilación natural
- Celosía metálica



“Cero desperdicio”

El sistema debe incorporar criterios que favorezcan el diseño preventivo, es decir, que haya coordinación modular y dimensional, al tiempo que evite que se generen residuos durante su ciclo de vida y faciliten el *desmontaje* al final de su ciclo de vida.

El concepto de “cero desperdicio” (Cilento, 1998; Acosta 2002; Acosta y Cilento, 2003-2004) implica que se debe hacer el intento por evitar a toda costa que el sistema propuesto genere residuos y desechos durante su vida útil y al final de su ciclo de vida. En este sentido se aplica un criterio de diseño preventivo, es decir, reduciendo el desperdicio desde el origen. Con este fin se debe prever el desperdicio producido por las decisiones sobre las dimensiones de los ambientes, e incorporar la coordinación modular, tal como se explicó más arriba en la sección *Configuración geométrica*, para lograr la exacta colocación de los componentes del marco y la pared en los muros sin necesidad de cortar innecesariamente los bloques; la utilización del medio bloque es fundamental para lograr este objetivo, por ello se debe incentivar a los productores a que lo fabriquen.

Por otra parte, la junta seca de la mampostería con el marco de confinamiento permitiría la recuperación de los elementos de acero al final del ciclo de vida.

Producción local, flexible y de pequeña escala

El sistema debe:

- a. Procurar una escala de producción flexible, versátil, masiva pero de múltiples intervenciones.
- b. Contribuir a la generación de empleo.
- c. Aprovechar los recursos locales, disminuyendo así el consumo energético en transporte y producción.
- d. Combinar elementos de tecnología avanzada, los perfiles del marco de confinamiento, con técnicas de raigambre local, a pequeña escala, como la mampostería (“sincretismo tecnológico”, Cilento, 1998).

e. Asignar la mayor responsabilidad en la sismo-resistencia del sistema a los perfiles de acero los cuales por ser producidos industrialmente tienen un control de calidad más adecuado.

La estrategia del “sincretismo tecnológico”, ya mencionada, implica que el sistema propuesto debe procurar una escala y flexibilidad de producción que permitan la producción versátil, masiva, a través de múltiples operaciones de pequeña escala (Cilento, 1998). Esta estrategia tiene ventajas adicionales sobre la generación de empleo, el ahorro de energía, la preservación del

medio ambiente y el reciclaje de residuos de procesos agrícolas, industriales y de la propia construcción, que se encuentran o que pueden encontrarse localmente. Por otra parte, se aprovechan los recursos locales, con la consecuente reducción de gastos de transporte y sus efectos en la disminución del consumo energético y de los niveles de contaminación ambiental.

Viviendas con el sistema de mampostería*Aplicaciones del sistema a vivienda de interés social*

Los ejemplos a continuación ilustran algunas aplicaciones típicas del sistema de mampostería propuesto con énfasis en la manera como el sistema responde a los requerimientos de desarrollo progresivo.

Ejemplos de vivienda unifamiliar de una planta

1. Parcela de 9 m x 18 m (figura 17)

Este proyecto corresponde a una vivienda con patio interno en una parcela de 9m x 18m. Como se puede apreciar, la planta presenta una distribución bastante simétrica de las paredes con el objeto de evitar torsiones indeseables en caso de sismo. Además se prevé el crecimiento progresivo horizontal de la vivienda, manteniendo el criterio de crear una unidad de vivienda adicional con acceso independiente. La ubicación del núcleo sanitario permite la acometida y descarga de las instalaciones en patios del retiro sin afectar los espacios internos de la vivienda.

2. Parcela de 8 m x 16 m (figuras 18a y 18b)

Esta vivienda está planificada sobre parcelas de 8 m de ancho x 16 m de fondo. Quizás el aporte más importante de este proyecto es la propuesta para el crecimiento de la vivienda, en la cual, partiendo de una etapa inicial de 55m² con tres habitaciones y un baño, se puede alcanzar en una última etapa un apartamento con acceso independiente de 45m² ubicado en planta alta, que podría ser utilizado por algún familiar o alquilado a terceros para generar ingresos a la familia.

Ejemplo de vivienda unifamiliar de dos plantas (figuras 19a y 19b)

Este sencillo ejemplo permite visualizar cómo puede planificarse una vivienda de dos plantas con sistemas de mampostería estructural, en parcelas de frente angosto y profundas, en este caso una parcela de 6m de frente por 25m de profundidad, lo cual permite el crecimiento progresivo hacia atrás con relativa facilidad.

Figura 17
Vivienda unifamiliar en parcela de 9 m x 18 m: planta inicial y dos opciones de crecimiento

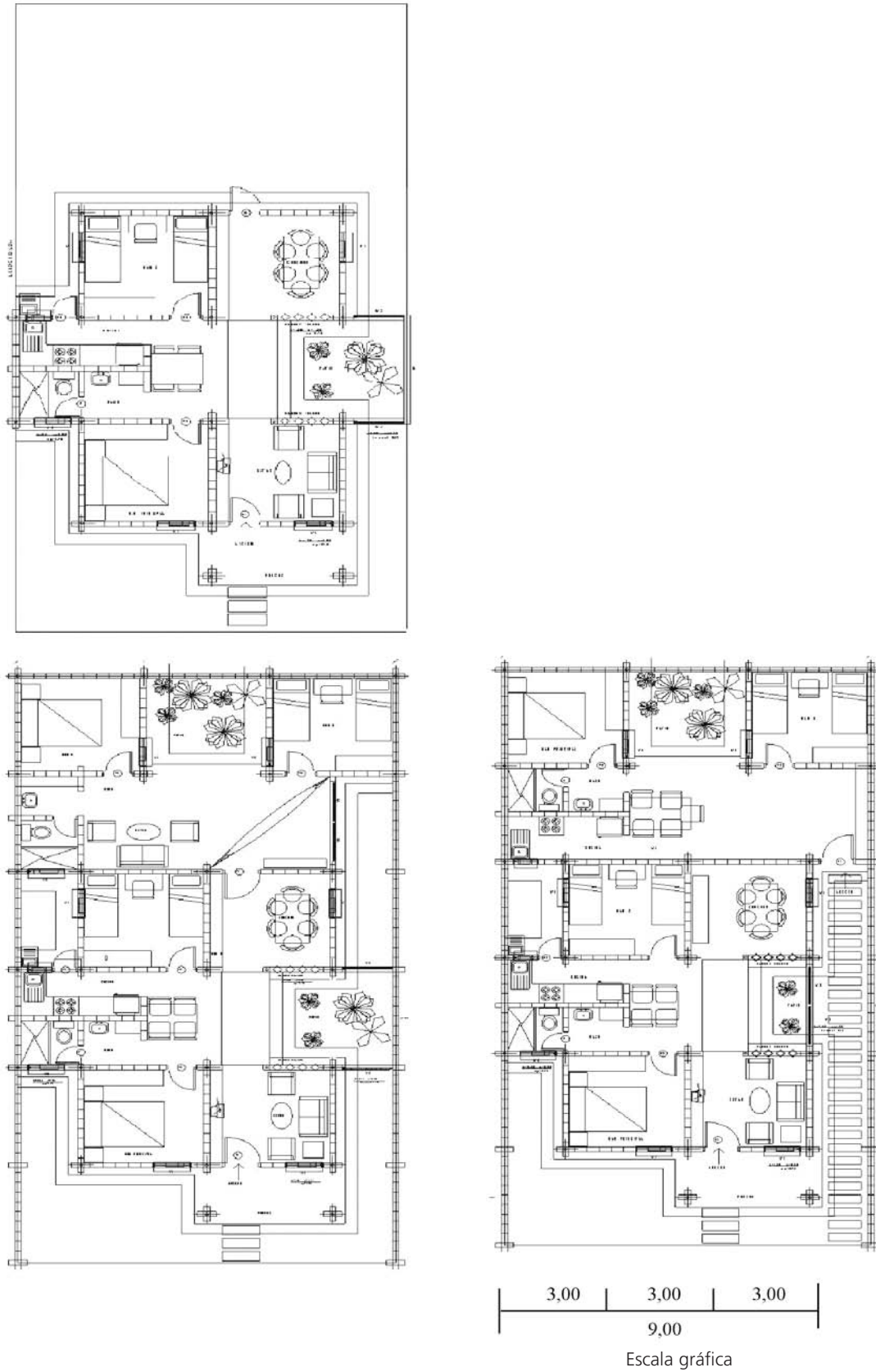
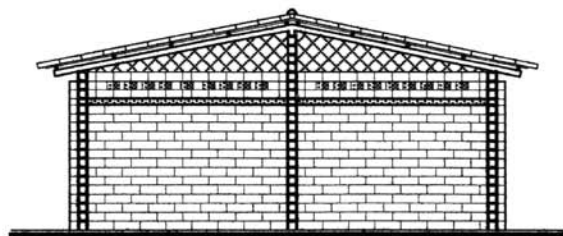
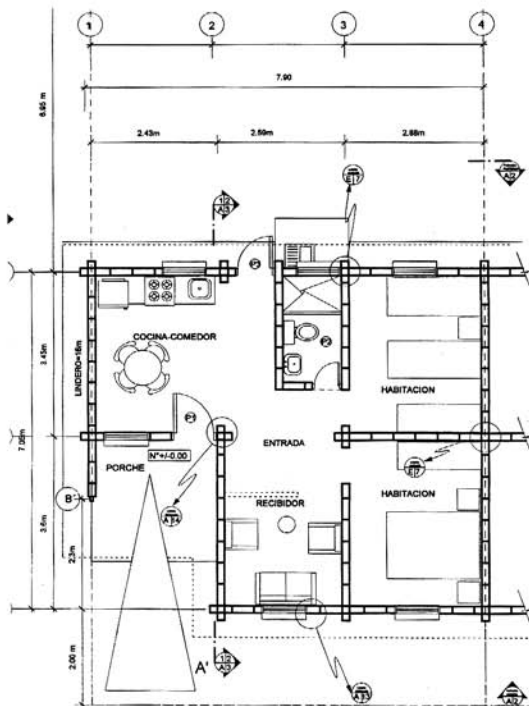


Figura 18a
Vivienda unifamiliar de una planta: parcela 8m x 16m



Fachada Lateral



Escala gráfica

Planta Baja (1ra etapa)

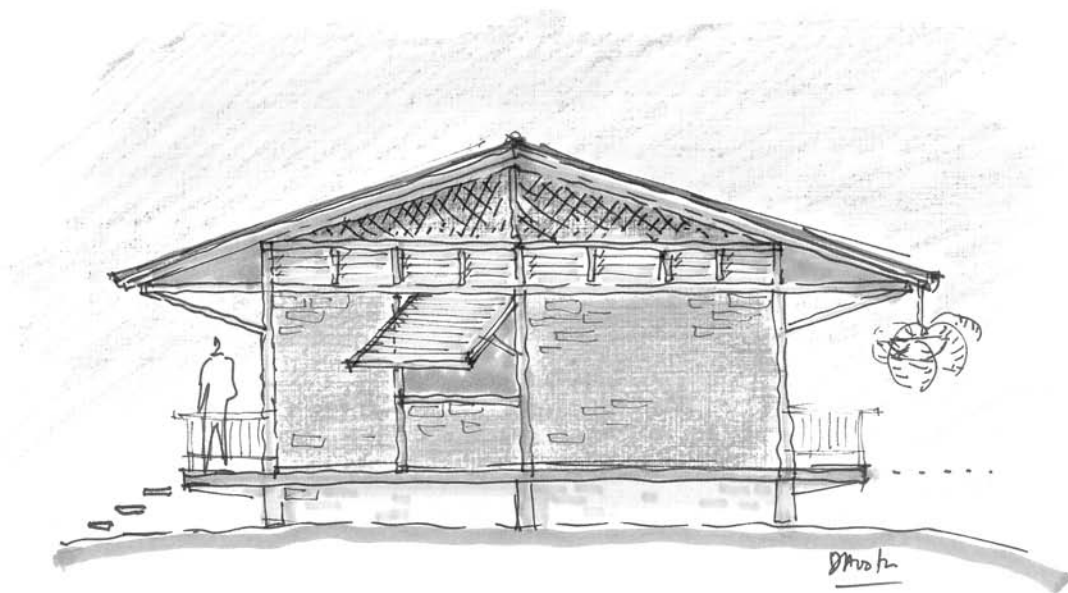
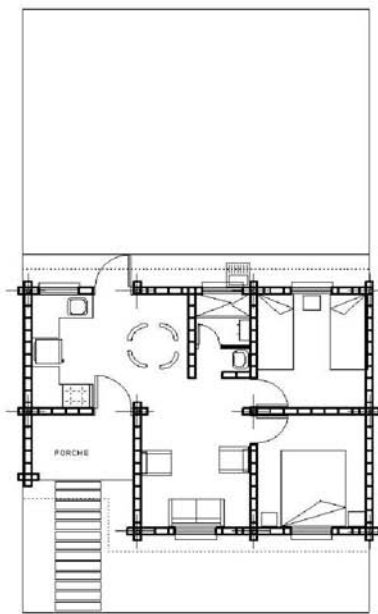
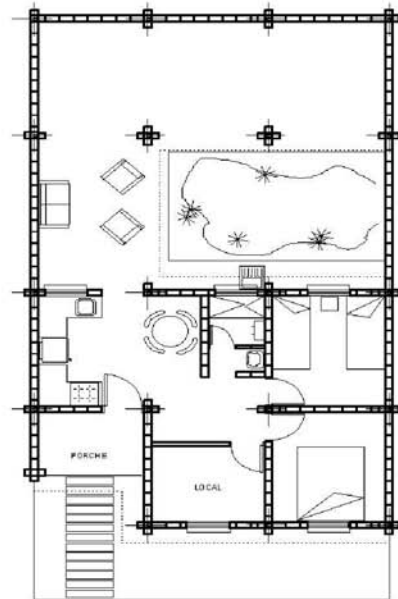


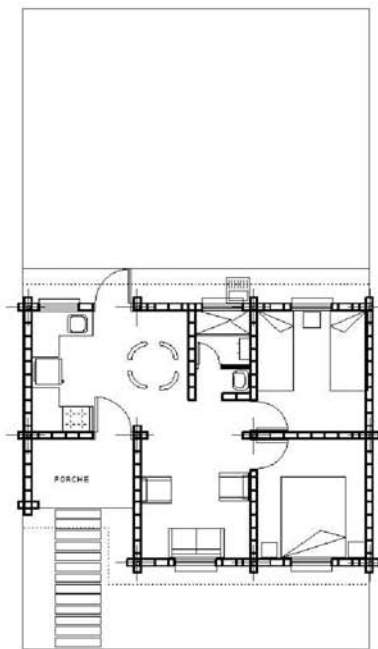
Figura 18b
 Vivienda unifamiliar de una planta: parcela 8m x 16m. Crecimiento progresivo hasta dos plantas



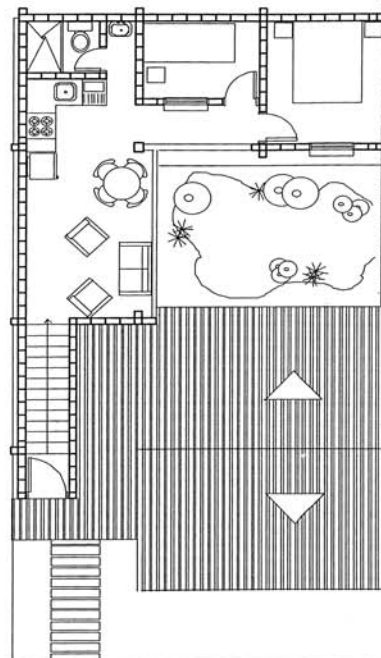
Planta baja 1ª etapa



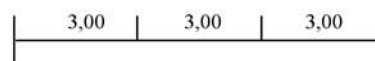
Planta baja 2ª etapa



Planta baja 3ª etapa

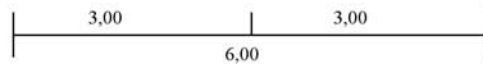
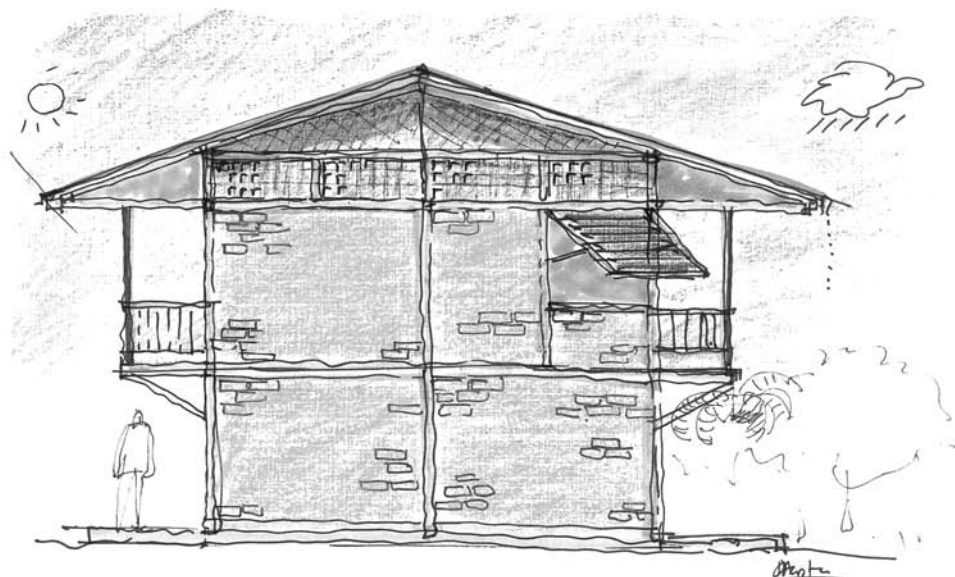
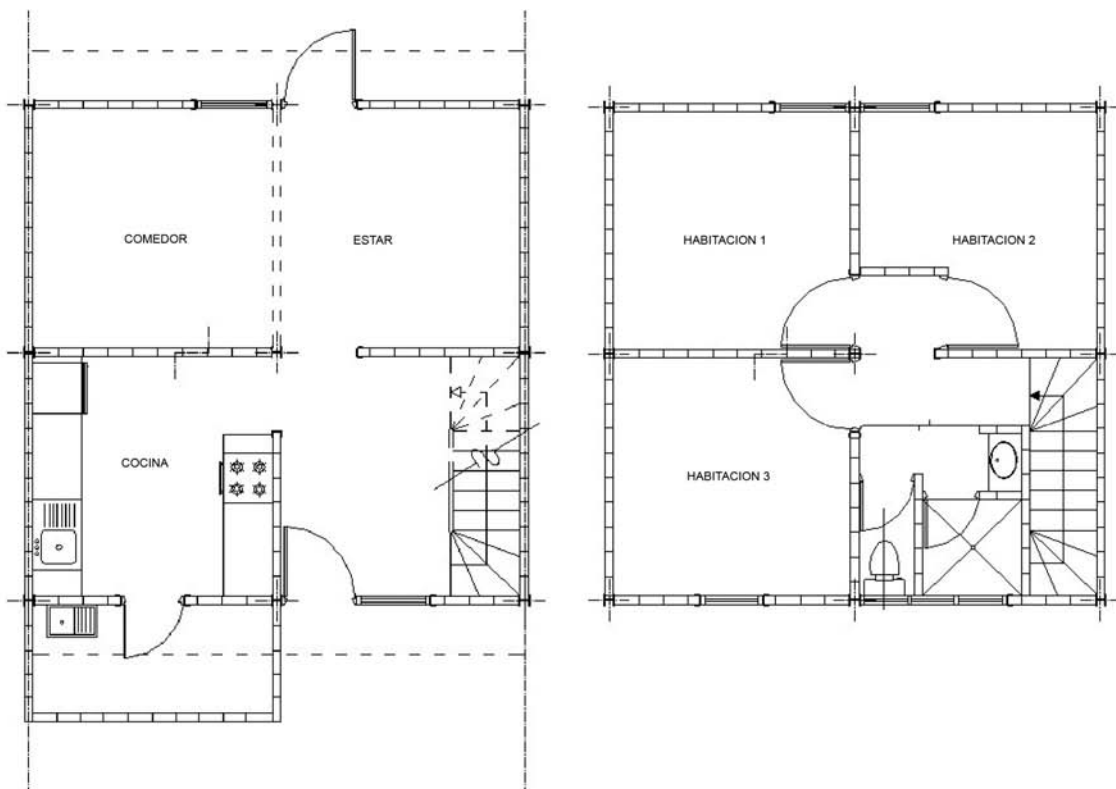


Planta alta 4ª etapa



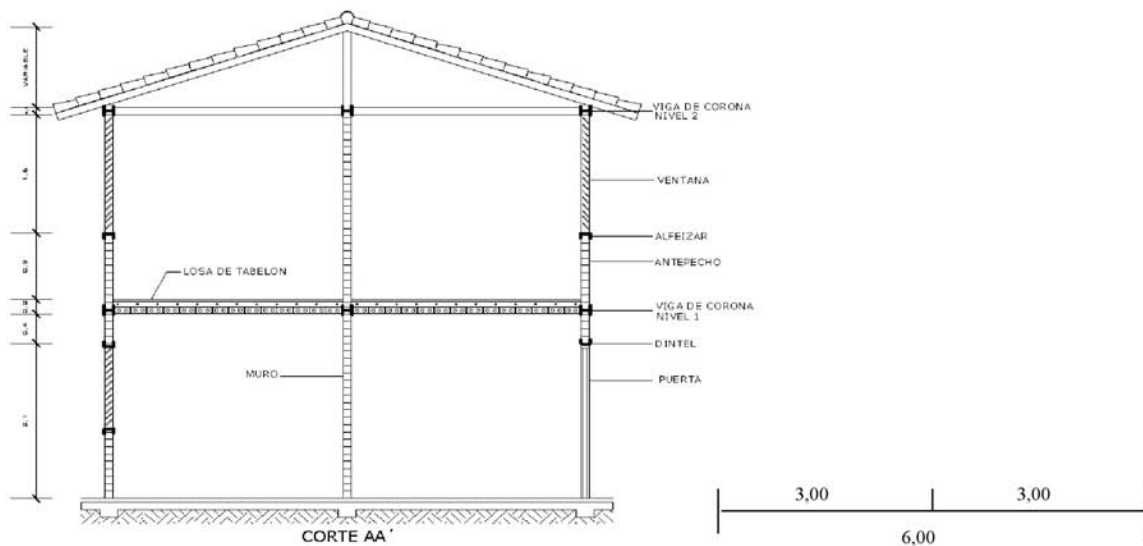
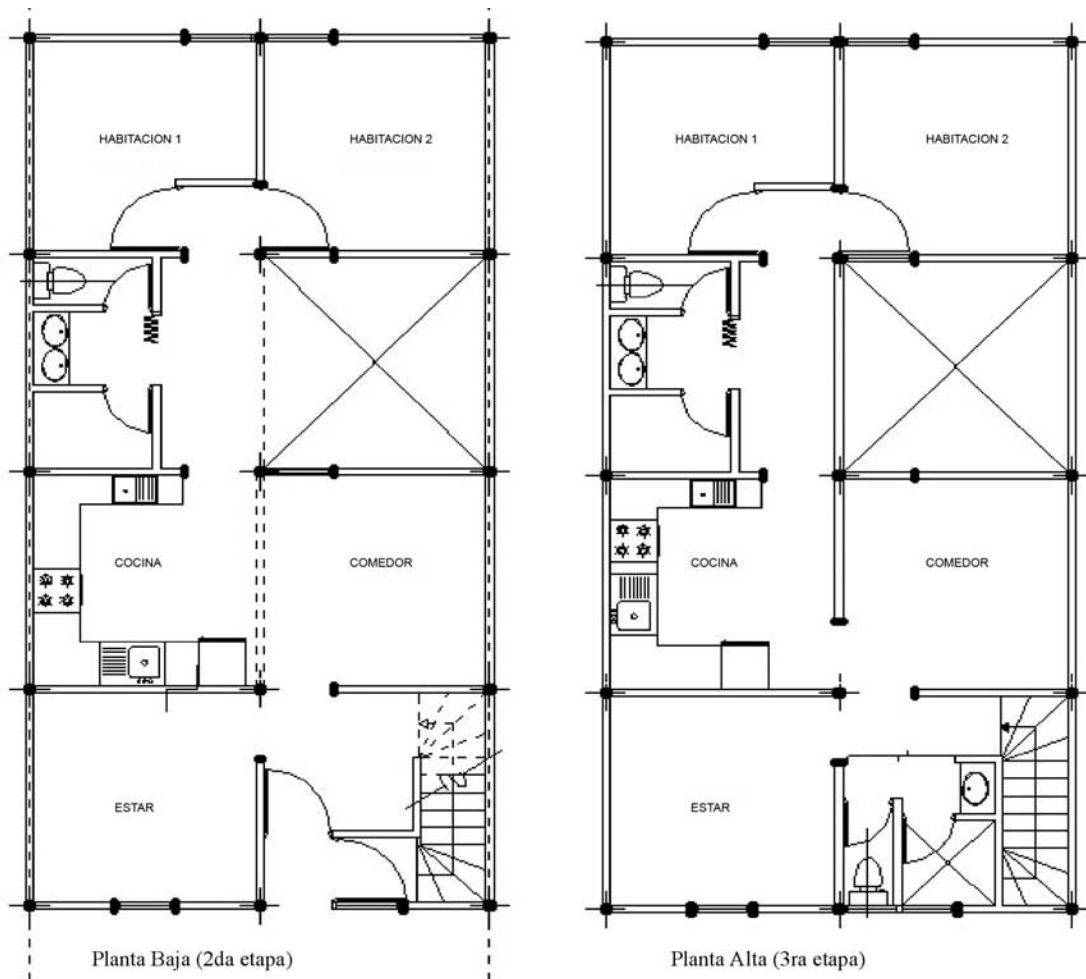
Escala gráfica

Figura 19a
Ejemplos de vivienda unifamiliar de dos plantas. Desarrollo progresivo primera etapa



Escala gráfica

Figura 19b
Ejemplos de vivienda unifamiliar de dos plantas. Desarrollo progresivo segunda y tercera etapa



Escala gráfica

El hecho de que este ejemplo sea de dos plantas nos lleva a hacer algunas consideraciones estructurales aplicables a otras aplicaciones de dos niveles que se puedan desarrollar con el sistema:

1. La modulación de los paños de entrepiso de 3m x 3m facilita el no comprometer los muros estructurales por la acción simultánea de la carga gravitatoria y la más severa de las acciones sísmicas propuestas en las normativas nacionales.

2. Se propone una distribución adecuada de paredes resistentes en las dos direcciones principales, de forma tal de que la relación de rigideces entre ellas sea cercana a 1. Adicionalmente, el hecho de que las líneas resistentes se encuentren principalmente en los extremos de la vivienda reduce significativamente los efectos de torsión en planta.

3. Se identifican y aíslan algunas paredes no estructurales con el objeto de facilitar la colocación de servicios y de permitir separar algunos ambientes.

4. Se propuso un sistema de losa para el primer piso que, por sus características de rigidez y anclaje a los muros, cumpla con lo previsto estructuralmente para diafragmas rígidos.

5. Aunque en el último nivel de la vivienda se tiene previsto un techo liviano a dos aguas y con lo cual no se tiene diafragma rígido a ese nivel, se colocaron vigas de corona sobre todas las líneas resistentes de la estructura con el objeto de mejorar su conducta sismo-resistente.

6. Todas las paredes estructurales son confinadas en sus cuatro extremos con elementos de acero, incluidos los conectores de corte correspondientes. Se dispusieron los muros de forma que se minimizara el uso de machones.

7. Las aberturas, puertas y ventanas fueron rodeadas con perfiles metálicos con el fin de facilitar el comportamiento sismo-resistente.

8. Se tomaron las previsiones correspondientes en las fundaciones para evitar que su conexión con la superestructura no sea fuente de fragilidad.

9. Por lo liviano de la edificación, y por haberse incluido todos aquellos aspectos considerados anteriormente, es posible estudiar la factibilidad de utilizar otros elementos de confinamiento que reduzcan de forma segura su consumo de acero.

Conclusiones

En este proyecto de investigación se ha desarrollado una alternativa para la vivienda de bajo costo que consiste en un sistema constructivo de muros de mampostería estructural confinada, con marcos de perfiles

estructurales de acero, con el objetivo de mejorar el rendimiento de la mampostería y resolver técnicamente las solicitudes sismo-resistentes propiciando su sostenibilidad y flexibilidad de producción.

El enfoque propuesto en este trabajo no pretende alterar los patrones de la cultura constructiva de la sociedad venezolana pero plantea innovaciones al asumir dos nuevos criterios: seguridad estructural y mayor eficiencia constructiva. Con este fin se sustituyó el marco de confinamiento convencional de concreto armado por perfiles de acero. Todo esto en virtud de las ventajas que se obtienen por el hecho de que estos elementos, al ser producidos industrialmente, permiten controles de calidad más adecuados así como el hecho de aumentar la velocidad de producción de los muros de mampostería estructural.

Para lograr estos objetivos se planteó un proceso de investigación y desarrollo que parte de la concepción misma del sistema, pasando por su diseño y desarrollo hasta la fase final, de mayor peso en el trabajo, la experimental, donde se ensayaron ocho muros a escala natural.

En los ensayos quedó demostrado que los muros de mampostería confinada con perfiles metálicos resultaron tan efectivos como los muros de mampostería confinada convencional, y los conectores de corte propuestos para estos ensayos cumplieron adecuadamente su función. Adicionalmente, esta solución resultó más práctica desde el punto de vista sismo-resistente dado que permitió una mayor capacidad de deformarse lateralmente sin pérdida significativa de su capacidad portante.

El aumento de la eficiencia productiva de la mampostería confinada con perfiles metálicos es otro aporte de la propuesta. Tradicionalmente las construcciones de mampostería con machones y vigas de concreto vaciado en sitio presentan un bajo rendimiento debido a que la edificación va surgiendo a partir de hiladas consecutivas que se van “tejiendo” desde el piso hasta el techo, trabajando a cielo abierto bajo el calor y la lluvia, hasta que sólo cuando están todos los muros levantados se puede colocar la cubierta. Sin embargo, en nuestra propuesta, la ejecución del esqueleto metálico del marco de confinamiento y la instalación de la cubierta antes de la construcción de los muros permite a los trabajadores levantar las paredes bajo techo y facilita el depósito de materiales bajo cubierta, logrando así un mayor rendimiento en las obras. Al aumentar la eficiencia productiva de la mampostería, ésta se hace atractiva para que las empresas contratistas la construyan masivamente, sin menoscabo de la generación de empleo, condición ineludible para la aplicación de la mampostería estructural a la producción masiva de viviendas de interés social.

Un aspecto en el que se ha hecho especial énfasis en esta propuesta es en la consideración de los factores ambientales, es decir, en cómo la producción y construcción de las edificaciones con este sistema contribuyen al mejoramiento de las prácticas convencionales en cuanto a mitigar su impacto ambiental: reducción del consumo de recursos, reducción del consumo energético, minimización de residuos, al tiempo que se favorece una mayor durabilidad y un fácil mantenimiento de las viviendas. En esta dirección, el sistema aporta los siguientes logros en la búsqueda de una construcción sostenible:

— *Hacer más con menos recursos*: el sistema propicia la disminución y racionalización de la utilización de materiales. Al incluir las paredes en el esquema resistente de las edificaciones se logra una disminución sustancial del material requerido en comparación con estructuras aporricadas o de esqueleto resistente.

— *Reducción del consumo energético*:

- se incorporan sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental como aleros, corredores, vanos generosos para la ventilación natural, todo lo cual disminuye la necesidad de medios activos de acondicionamiento ambiental;
- se plantean sistemas de producción, mantenimiento y transporte de bajo consumo energético sin la utilización de maquinarias o equipos pesados;
- la larga vida útil del acero compensa la relativamente alta energía incorporada utilizada en su fabricación.

— *Construir bien desde el inicio*:

- En los ejemplos de aplicación del sistema se demostró que se prevé la progresividad de las viviendas, de manera de que puedan éstas crecer y consolidarse sin necesidad de demoler lo ya construido.
- Además, el sistema es flexible en el sentido de que contempla previsiones que lo hacen compatible con ampliaciones que los habitantes puedan realizar a sus viviendas aplicando sistemas convencionales de mampostería con marco de confinamiento de concreto.
- Se proponen así mismo fórmulas para incluir las instalaciones y los servicios de manera que no afecten el funcionamiento de la mampostería, evitando roturas por falta de previsión en el diseño de las instalaciones.
- Todos los elementos y componentes del sistema: el marco de confinamiento, las paredes e instalaciones están pensados para una larga vida útil y un fácil mantenimiento.

— *Cero desperdicio*:

- El sistema logra evitar residuos durante el ciclo de vida de las viviendas, a través de la coordinación modular y dimensional entre el marco de confinamiento, las paredes y otros elementos como ventanas y puertas. Como se demostró, el rescate del medio bloque, tan olvidado en estos días, junto con la coordinación modular, contribuyen a evitar desperdicios al lograr la exacta colocación de los componentes del marco y la pared.
- El sistema consigue algo poco común en las técnicas de mampostería: es parcialmente desmontable en virtud de que la junta seca de la mampostería con el marco de confinamiento permite la recuperación de los elementos de acero al final del ciclo de vida de las viviendas.

— *Producción local y flexible*:

- El sistema responde a las expectativas de la gente. Sus materiales y flexibilidad se adaptan a los patrones culturales existentes: paredes “duras”, crecimiento de la familia, espacios productivos.
- Con la propuesta de producción del sistema se logra combinar elementos de tecnología avanzada —los perfiles del marco de confinamiento— con técnicas de raigambre local, a pequeña escala, como es la mampostería. De esta manera se propicia la estrategia de sincretismo tecnológico, en la búsqueda de aumentar el nivel técnico de la autogestión comunitaria.
- Se demuestra que el sistema propone una escala y flexibilidad de producción que permiten la producción versátil, masiva, a través de múltiples operaciones de pequeña escala, a diferencia de un esquema que propicie la centralización con pocas intervenciones de gran escala.

Trabajo futuro

Habiendo llegado entonces a una propuesta desarrollada y evaluada técnicamente en sus características sísmo-resistentes, con proyectos de aplicación a vivienda progresiva de interés social de una y dos plantas, y habiendo demostrado que la propuesta propicia la sostenibilidad de la construcción y la flexibilidad de producción, surgen tareas y proyectos que se pueden plantear para continuar con esta línea de investigación.

1. *Difusión de los resultados de esta investigación*. Se debe favorecer que las empresas y comunidades organi-

zadas puedan aplicar las propuestas de este trabajo en la construcción masiva de viviendas. Como se anotó más arriba, este trabajo es resultado de un convenio entre el FONACIT, INAVI y la UCV. Estas instituciones pueden contribuir de manera sustantiva a difundir los resultados y propiciar su difusión masiva. Se debe además propiciar la creación de convenios con organismos del Estado y organizaciones gremiales como la Cámara Venezolana de la Construcción.

2. *Normativa Nacional de Mampostería Estructural.* Proyectos como el que aquí se presenta seguirán siendo imprescindibles mientras no exista una Normativa para el análisis y proyecto de estructuras basadas en muros de mampostería portante. Por lo tanto se hace necesario formular y proponer un programa de amplio alcance para desarrollar una Normativa de esta naturaleza.

3. *Definir los límites de aplicación del sistema.* La cuestión acerca de cuántos pisos o niveles se pueden construir con esta técnica, manteniendo la seguridad y las características sismo-resistentes deseables, es otro tema importante. Los urbanismos alta densidad y baja altura —entre dos y cuatro pisos— son más eficientes en su aprovechamiento de las redes de servicios y la vialidad en los nuevos desarrollos de vivienda. En este sentido, se justificaría desarrollar propuestas para edificaciones de varios niveles con este sistema.

4. *Prototipo del sistema.* Aunque ya se han construido viviendas con un sistema similar propuesto en el IDEC, queda construir un prototipo —una o varias viviendas— a través del convenio FONACIT/INAVI/UCV con el que se pueda comprobar la eficiencia constructiva y viabilidad económica del sistema en su versión actual, y demostrar las bondades de la junta seca. Como continuación de este proyecto, y en una etapa posterior, apoyados en el mismo convenio, se espera poder demostrar la eficiencia del sistema para construir edificaciones multifamiliares de entre dos y cuatro pisos.

5. *Pruebas de diseño y desarrollo de configuraciones arquitectónicas.* Otro tema es la exploración y el desarrollo de configuraciones arquitectónicas para difundir en el ámbito profesional la aplicación de sistemas de muros de mampostería. Dichas aplicaciones deberán satisfacer criterios de funcionalidad, de progresividad, ambientales y estéticos, y deberán cumplir igualmente con los requerimientos de sismo-resistencia expuestos en este trabajo, tales como la regularidad de la forma del edificio, su simetría, las proporciones de los muros, su disposición en dos direcciones, y la continuidad de los diafragmas y otros elementos horizontales como las vigas y dinteles³.

6. *Optimización de las alternativas que permitan el crecimiento horizontal y/o vertical de las viviendas.* Se podrán identificar y ordenar las posibilidades de crecimiento considerando las limitaciones y bondades del sistema.

7. *Sistemas de entresijos compatibles con la construcción de mampostería.* Se trata en primer lugar de hacer un inventario de los sistemas de losas de entresijos existentes en el mercado y comprobar si se pueden hacer compatibles con la construcción de mampostería. En este proyecto se plantean las dos soluciones típicas existentes en el mercado: las losas de tableros y los encofrados metálicos colaborantes. Otro trabajo sería el de desarrollar nuevos sistemas de entresijos, en colaboración con los productores nacionales de materiales cerámicos o de elementos de concreto.

8. *Rehabilitación de edificaciones en zonas de barrios.* La mayoría de las viviendas de los barrios están construidas con una técnica que asemeja una mampostería de muros de bloques huecos de arcilla confinados con machones y vigas de corona de concreto con acero de refuerzo. Buena parte de estas edificaciones han sido ejecutadas sin tomar en cuenta algunos de los principios fundamentales de sismo-resistencia, por ello se hace necesario explorar opciones de reforzamiento estructural de estas edificaciones. Este es un tema que se está trabajando actualmente en el postgrado del IDEC con el apoyo del IMME, de la Facultad de Ingeniería⁴.

Al final de este trabajo y en virtud de lo que ha podido observarse durante los últimos 15 años en la ejecución de los programas de vivienda, se hace necesaria una reflexión. Quizás la más grave actitud que se ha podido observar en muchas obras es la falta de ética profesional que se evidencia en las malas prácticas constructivas⁵ y que se manifiesta cuando se sacrifica la calidad de las edificaciones de mampostería en aras de la rapidez exigida por compromisos contractuales o de otra índole, sin importar las posibles secuelas sobre las viviendas: disminución de su capacidad de resistir el sismo, poca durabilidad y una mayor generación de residuos. Nada se gana con investigar y desarrollar sistemas novedosos de construcción o de gestión si los profesionales a cargo de su instrumentación no asumen su trabajo de manera responsable. Se hace necesaria entonces una reflexión en los gremios y en las universidades para estimular a los nuevos profesionales a asumir posturas que conduzcan a una práctica profesional responsable con la sociedad y el medio ambiente.

Notas

- 1 Las referencias utilizadas para la elaboración de esta sección son Castilla 2000, 1999, 1997, 1995, 1991, 1988a, b y c.
- 2 El sistema utiliza bloques con amplia difusión y aceptación en el mercado como es el caso de OMNIBLOCK y los bloques de suelo cemento. No se consideran en este trabajo otros bloques que a pesar de ser innovadores no tienen tanta aceptación, aunque no se descarta aplicarlos en versiones futuras del sistema.
- 3 Actualmente se lleva a cabo en la Maestría del IDEC la investigación "Edificaciones con muros: viviendas de mampostería estructural confinada con perfiles de acero" elaborada por el Arq. Christian Vivas. Tutores: Prof. Domingo Acosta (IDEC) y Prof. Enrique Castilla (IMME).
- 4 La Arq. Paola Cano desarrolló en la Maestría del IDEC el Trabajo de Grado titulado "Habilitación de Viviendas en Zonas de Barrios: Caracterización, Diagnóstico y Reforzamiento Estructural", con el cual obtuvo Mención Honorífica. Tutores: Prof. Domingo Acosta (IDEC) y Prof. Enrique Castilla (IMME).
- 5 Entre las malas prácticas que se observan están las siguientes:
 - Inclusión de instalaciones abriendo zanjas en las paredes, machones y vigas de corona debilitando así su capacidad portante.
 - Ausencia de vigas de corona, dinteles y otros elementos estructurales.
 - Mala calidad de los bloques y otros materiales (ver Oteyza, Díaz, 1999)
 - Falta de previsiones que eviten el agrietamiento prematuro de los muros
 - Ausencia de coordinación modular y dimensional con el consecuente desperdicio por rotura de bloques.

Referencias bibliográficas

- Acosta, D. (2003) «Hacia una arquitectura y construcción sostenibles: el proyecto para el edificio sede de SINCOR (Barcelona, Edo. Anzoátegui)», *Tecnología y Construcción* 19-II. IDEC-UCV, Caracas: pp. 09-22.
- Acosta, D. (2002) «Reducción y gestión de residuos de construcción y demolición (RCD)», *Tecnología y Construcción* 18-II. IDEC-UCV, Caracas: pp. 47-66.
- Acosta, D. (2000a) «La mampostería de bloques de suelo-cemento: ¿Tecnología apropiada para la producción masiva de viviendas de interés social?», *Tecnología y Construcción* 16-I, IDEC-UCV, Caracas: pp. 19-30.
- Acosta, D. (2000b) «Sistema mixto de esqueleto metálico y mampostería para la vivienda profesional de interés social», *Entre Rayas* 34, Grupo Editorial Entre Rayas, Caracas, 2000. pp. 30-35.
- Acosta, Domingo y Cilento, Alfredo (2005) «Edificaciones Sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo», *Tecnología y Construcción* 21-I. IDEC-UCV, Caracas: pp. 15-30.
- Castilla, Enrique (1999) Experiencias recientes en mampostería confinada de bloques de concreto (conjuntamente con Angelo Marinilli y Simón Morales). Presentación en el VIº Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Mérida, Venezuela.
- Castilla, Enrique (1998a) «Evaluación del comportamiento de muros confinados de mampostería de bloques de arcilla ante carga horizontal» (conjuntamente con Luis A. Báez). Presentación en el Vº Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Cumaná, Venezuela, octubre 1998.
- Castilla, Enrique (1998b) «Determinación de ensayos en mampostería confinada con fines de diseño sismo-resistente» (conjuntamente con Wilfredo Sintjago). Presentación en el Vº Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Cumaná, Venezuela, octubre 1998.
- Castilla, Enrique (1998c) «Resistencia a tracción de la mampostería y sus implicaciones en el diseño sismo-resistente» (conjuntamente con Zuleyma Rodríguez). Presentación en el Vº Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Cumaná, Venezuela, octubre 1998.

- Castilla, Enrique (1998d) Evaluación de la respuesta de muros confinados de bloques de concreto contra ciclos severos de carga lateral. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, diciembre 1998.
- Castilla, Enrique (1997) «Recomendaciones para el diseño sismo-resistente de edificaciones de mampostería estructural». Documento C del libro *Diseño sísmo-resistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela*, Grases G. (coord.), 1997.
- Castilla, Enrique (1995) «Evaluación del comportamiento de muros de mampostería de bloques de concreto ante carga horizontal» (conjuntamente con Manuel Pose, María Gabriela Perozo y María de los Angeles Pol), *Boletín Técnico IMME*, vol. 33, n° 1, marzo 1995.
- Castilla, Enrique (1994) «Recomendaciones para el diseño sismo-resistente de paredes de mampostería confinada de bloques huecos de arcilla». Capítulo en el libro: *Contribuciones recientes a la ingeniería estructural y sísmo-resistente*, SVM-NI, febrero 1994, Caracas
- Castilla, Enrique (1991) «Experiencias recientes en mampostería confinada sísmo-resistente», *Boletín Técnico IMME (79)*, 1991.
- Cilento, Alfredo (1999) *Cambio de paradigma del Hábitat*. Instituto de Desarrollo Experimental-IDEDEC/Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico-CDCH. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Cilento, Alfredo (1998) «Tendencias tecnológicas en la producción de viviendas», *Interciencia* 1 vol. 23 (ene - feb. 1998): pp. 26-32.
- Cilento, Alfredo (1997) «Tecnologías de construcción alternativas, apropiadas y apropiables», *Entre Rayas*, n° 22: 10-11, septiembre 1997.
- Cilento, Alfredo (1996), «Sincretismo e Innovación Tecnológica en la Producción de Viviendas», *Tecnología y Construcción*, Vol. 12 (I), 1996.
- Cilento, Alfredo (1989), «El programa de ajustes y la tecnología de edificaciones». *Tecnología y Construcción* 5; 7-13.
- Gallegos, Héctor (1989a) *Albañilería estructural*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, 1989.
- Gallegos, Héctor (1989b) *Albañilería estructural: diseño y cálculo de muros*, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989
- IMME (2004) Informe Técnico n° 209790. Evaluación de muros portantes del proyecto de investigación: Desarrollo de sistema de muros de mampostería confinada de rápido montaje para la vivienda de bajo costo. Facultad de Ingeniería-UCV, Caracas, 2004.
- INCOVEN (1987) «La construcción como manufactura predominantemente heterogénea», *Tecnología y Construcción* n° 3. IDEC-UCV, Caracas: pp. 20-52.
- López, Jorge (2002) Instalaciones sanitarias en viviendas de mampostería: conducción de aguas blancas, y disposición de aguas servidas. Trabajo especial de grado para optar al título de Especialista en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, IDEC/FAU-UCV.
- Oteyza, Ignacio y Díaz, Ana Cristina (1999) Análisis de la calidad de los bloques huecos de concreto (BHC) elaborados en la zona norte de Maracaibo, y su proceso productivo. Ponencia presentada en las XVIII Jornadas de Investigación del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, IDEC-FAU/UCV, Caracas, 2 al 4 de noviembre de 1999.