

LA MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO: ¿TECNOLOGÍA APROPIADA PARA LA PRODUCCIÓN MASIVA DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL?

Domingo Acosta

RESUMEN

A partir de algunas experiencias de construcción de viviendas con mampostería de bloques de suelo-cemento, y de la literatura consultada, se plantea una reflexión acerca de lo apropiado, o pertinente, de la aplicación de estas técnicas a la construcción masiva de viviendas de interés social. Se presentan ejemplos de una técnica de suelo-cemento con bloques aligerados desarrollada por el autor. Se analizan algunas características físicas de los bloques macizos y aligerados de suelo-cemento y de los bloques huecos de concreto con el objeto de comparar su consumo de materiales y su consecuencia en el peso final de la vivienda y en el posible impacto ambiental de las técnicas, por la extracción no controlada de grandes volúmenes de tierra. Se concluye que la aplicación masiva de técnicas de mampostería de bloques de suelo-cemento a la vivienda de interés social sólo debe hacerse después de un detallado análisis crítico de lo apropiado de su utilización en el contexto específico donde se quiera emplear, en particular en lo referente a disminuir su peso y su posible impacto ambiental, y a mejorar su eficiencia y rendimiento constructivo.

ABSTRACT

Starting from some experiences on housing construction with masonry of cob-cement blocks, and consulted bibliography, a reflection is raised on the pertinence, or property, of the application of this techniques into the massive construction of low cost housing. Some examples are presented of a technique of alleviated cob-cement blocks developed by the author. Some physical characteristics are analyzed of massive and alleviated cob-cement blocks, and hollowed concrete blocks, with the purpose of comparing its material consumption and its consequence on the final weight of the house and the possible environmental impact of the techniques by uncontrolled extraction of big amounts of earth. It is concluded that the massive application of cob-cement block masonry techniques on low cost housing, has to be done only after a detailed critical analysis of how appropriate it is on a specific context, particularly in relation to the diminution of weight and its possible environmental impact, and improvement of constructive efficiency.

INTRODUCCIÓN

El trabajo presenta en primer lugar la aplicación de una técnica de construcción con bloques aligerados de suelo-cemento para viviendas en los barrios de Maturín, estado Monagas.¹ La técnica da a las comunidades una opción adicional para fabricar bloques en sus bloqueras familiares, cuya producción se ha visto disminuida por los altos costos y poca disponibilidad de la arena utilizada como agregado. Estas bloqueras utilizan un tipo de máquina manual para producción de bloques de concreto, la cual adaptamos para producir un bloque hueco, aligerado, de suelo-cemento que diseñamos para aprovechar la tierra proveniente de excavaciones para los sépticos y de canteras cercanas como fuentes de materia prima.

Se presentan también dos experiencias de aplicación de la técnica a viviendas para la clase media,² donde también se ha logrado bajar los costos y obtener mejoras en el confort térmico.

En la segunda parte, se analizan comparativamente los bloques macizos pesados (tan en boga en nuestros días), con los aligerados (objeto de esta propuesta), y con los bloques huecos de concreto, en relación con su peso y con el volumen de material utilizado. Los análisis presentados muestran que la mampostería estructural de bloque macizo de suelo-cemento es casi tres veces más pesada que la de bloque de concreto, y más del doble que la de bloque aligerado; así mismo, los análisis muestran que la cantidad de áridos necesaria para el bloque macizo es casi el triple que para el bloque aligerado y más de seis veces que para el bloque hueco de concreto; y que, a pesar de que sólo se le añade un 5% de cemento (por volumen) a la mezcla, el bloque macizo requiere de casi el doble de cemento que el bloque de concreto al cual se le agrega 15%.

En las conclusiones se plantea una reflexión acerca de la aplicación masiva de las técnicas de suelo-cemento, en particular las que aplican bloques macizos y muy pesados, y se concluye que dicha aplicación no debe hacerse sin antes evaluar la pertinencia al contexto donde se quiere insertar, es decir, sin antes considerar su

DESCRIPTORES:

Vivienda de interés social; Mampostería; Suelo-cemento; Impacto ambiental.

factibilidad de aplicación en función de su peso, y sus consecuencias en el diseño sismorresistente de las estructuras, y en función del volumen de material empleado, y las consecuencias que su extracción y manejo causarían en el medio ambiente.

Se plantean también al final algunos comentarios sobre el bajo rendimiento comparativo en la ejecución de estas técnicas, y se concluye que a pesar de que generan empleo por su uso intensivo de mano de obra, debe buscarse fórmulas constructivas que hagan más eficiente su ejecución.

En todo caso, la aplicación masiva de cualquier técnica de mampostería estructural estaría sujeta a un análisis detallado, previo a su aplicación, que busque mejorar las condiciones bajo las cuales se utilizará. Dicho análisis debería incluir:

1. Un detallado diseño sismorresistente, que responda a los principios fundamentales de la mampostería estructural.³
2. Un estudio de la posibilidad de disminuir el peso de los muros, con la intención de facilitar el diseño sismorresistente de las viviendas, así como de reducir la cantidad de materiales requerida. Por ejemplo, el caso de los bloques aligerados descrito más adelante.
3. Una exploración de la disponibilidad de buenos suelos y arenas para las mezclas, provenientes de canteras, areneras y saques de tierra controlados, a distancias convenientes y próximas a los desarrollos.⁴
4. El desarrollo de técnicas y métodos constructivos que permitan mejorar notablemente la productividad y el rendimiento de la mampostería, para poder competir con sistemas constructivos más eficientes.

1. PROYECTOS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL CON BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

1.1. Proyecto viviendas interés social en Maturín, estado Monagas

Antecedentes: La motivación principal de este proyecto surgió del interés de la Alcaldía de Maturín y su Dirección de Planeamiento Urbano (años 1995-1996) en desarrollar una alternativa más económica, eficiente y accesible para la construcción de viviendas con una tecnología que las comunidades puedan apropiarse para su utilización en la construcción de su hábitat.

En este sentido, el presente proyecto plantea a través de una experiencia piloto en el barrio José A. Páez, la adopción de la técnica del suelo-cemento como opción para abaratar los costos de las viviendas (ver figuras 1 a la 5), logrando a la vez una construcción sólida, sismorresistente y de gran calidad en su respuesta ambiental.

Figura 1a
Planta vivienda interés social

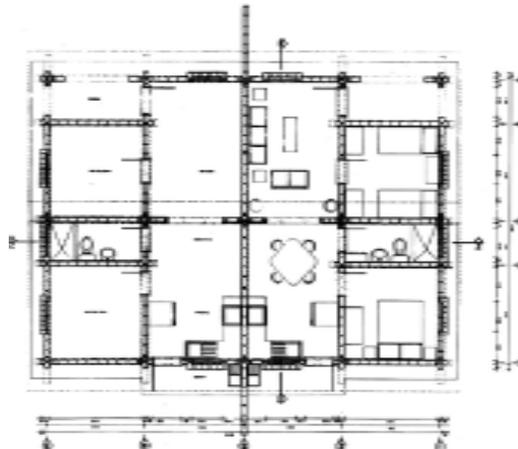


Figura 1b
Corte vivienda interés social

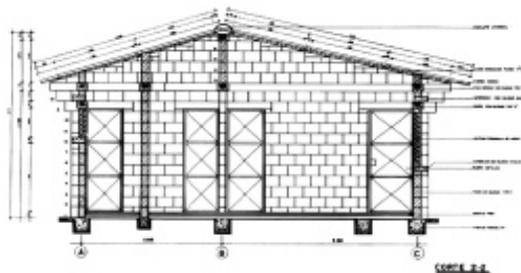


Figura 2
Máquina artesanal para bloques



Figura 3
Detalle armado pared e instalaciones



¹ Ver Domingo (1997).
² Acosta, *Op. Cit.* (1997).
³ Ver, por ejemplo, Gallegos (1987; 1989a;b)
⁴ Para el caso del suelo-cemento, ver por ejemplo, Portland Cement Association (1959), además existe una gran cantidad de libros y manuales como Craterre (1990) y el Inventario de tierras en Venezuela de Nava (1999).

Figura 4
Vivienda de interés social



Figura 5
Vivienda de interés social



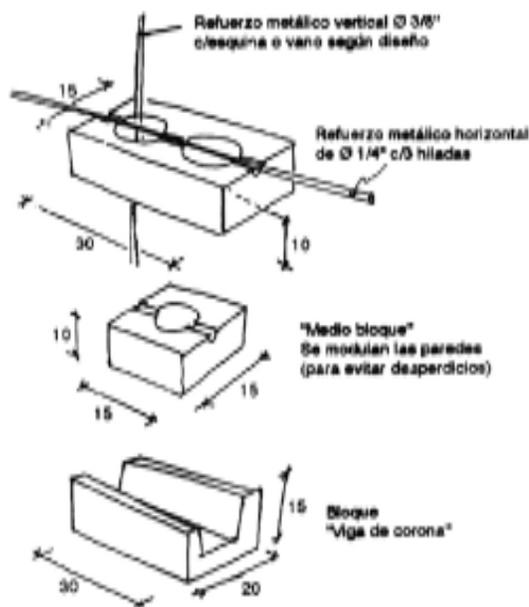
La tecnología: La tecnología de suelo-cemento está basada en la utilización de suelo (tierra) estabilizada con cemento en pequeñas proporciones, como materia prima para la fabricación de los bloques que conformarán la mampostería estructural de las viviendas.

Nuestro objetivo, como ya apuntamos, era construir unas viviendas de bajo costo, pero al mismo tiempo hacer productivas las bloqueras populares existentes, inactivas por el alto costo de la arena, y lo queríamos lograr a la mayor velocidad posible. En una primera aproximación, basándonos en experiencias anteriores de otros autores,⁵ diseñamos un bloque macizo de dimensiones nominales de 30 cm de largo por 15 cm de ancho por 10 cm de espesor. A pesar del bajo nivel de compactación de la mezcla que se obtiene con el tipo de máquina que aquí se experimentó,⁶ un cálculo preliminar del diseño de la mezcla arrojó cifras de empleo de materiales que sobrepasaron nuestras expectativas de utilizar la tierra proveniente de excavaciones para sépticos y fundaciones para fabricar los bloques (ver cuadro comparativo en la siguiente sección). De esta forma concluimos que, para disminuir el peso de la vivienda y el volumen de

materiales requerido, se hacía necesario aligerar los bloques; de hecho, aun con la aplicación de bloques aligerados se tuvo que recurrir a traer material de saques (canteras) de tierra cercanos al desarrollo.

La manera más eficiente de aligerar los bloques es hacerlos huecos (ver figura 6); de esta forma se ahorra peso sin menoscabo de la capacidad resistente de la mampostería. Basados en los estudios de Gallegos (1989a; b), decidimos producir dos alvéolos que no sobrepasaran el 30% de la superficie de asiento del bloque. De esta forma, los bloques diseñados tienen dos perforaciones de \varnothing 8 cm en promedio (son cónicas para permitir un fácil desmolde), y sus dimensiones nominales son también de 30 cm de largo por 15 cm de ancho por 10 cm de espesor. Para evitar desperdicios y lograr un máximo aprovechamiento del material se creó un medio bloque (15 x 15 x 10 cm) con una sola perforación, lo cual aunado a una rigurosa modulación permite construir los muros con las cantidades de piezas exactas prefijadas.

Figura 6
Tipos de bloques aligerado de suelo cemento



A la ventaja de utilizar la tierra como materia prima alternativa se suma la reducción de costos de hasta un 15% menos que la mampostería convencional de bloques de concreto, gracias a la eliminación de encofrados y eficiente utilización del acero de refuerzo, con la ventaja adicional que el bajo nivel de absorción de humedad de los bloques (7%) permite que las paredes sean frías cuando la familia tenga los recursos para hacerlo, contribuyendo así con la progresividad en la consolidación de la vivienda.

Producción de los bloques

Uno de los objetivos más importantes de este trabajo fue lograr producir los bloques de suelo-cemento utilizando las mismas máquinas para fabricar bloques de concreto

⁵ Ver en particular las aplicaciones de la técnica CINVA-RAM en Borges (1992), Craterre (1990), y Piñero (1994).

⁶ La máquina compacta el material a un 60% de su volumen original. En los casos de la nota anterior, predomina el uso de la máquina CINVA-RAM, o máquinas similares, de alta compactación de la mezcla, donde se obtienen disminuciones de hasta un tercio del volumen original. Ver más abajo el «Cuadro comparativo».

que tanta difusión y alcance tienen en Monagas, especialmente en Maturín (ver figura 2). Para este fin, se diseñaron unos moldes especiales que se adaptaron a estas máquinas (ver figura 7). Esta adaptación es en sí misma una innovación tecnológica importante, cuya difusión puede ser promovida para su apropiación por organizaciones comunitarias de vivienda. De hecho, de otros barrios de Maturín vinieron a copiar las máquinas y moldes y a aprender los procesos para producir sus propios bloques. Esta receptividad provocó un entusiasmo adicional en el equipo de trabajo, que veía con agrado cómo se lograba su objetivo: que los pobladores se apropiaran de la técnica. Después de varios ajustes la máquina demostró capacidad para producir con holgura un bloque por minuto, lo cual permite anticipar una producción de 500 bloques diarios por máquina con una cuadrilla de 3.

dificaciones que explicaremos más adelante. Además, se instaló en el sitio una “bloquera”, consistente en un área techada de aproximadamente 50 m², donde se producen y almacenan los bloques durante el curado. Se realizó la prueba de granulometría al suelo y se procedió a diseñar la mezcla para los bloques, obteniendo proporciones de 30% arena, 70% suelo, a lo cual se le agrega cemento y agua en una proporción de 10% cada una (por volumen).

En este proyecto se introduce un cambio para mejorar la forma en que se distribuye el refuerzo metálico en las paredes de carga, agregando un refuerzo horizontal de $\varnothing 1/4"$ cada tres hiladas. Con esta distribución de refuerzo se logra que la estructura funcione como una “caja” integrada por paredes de bloques reforzadas.⁷

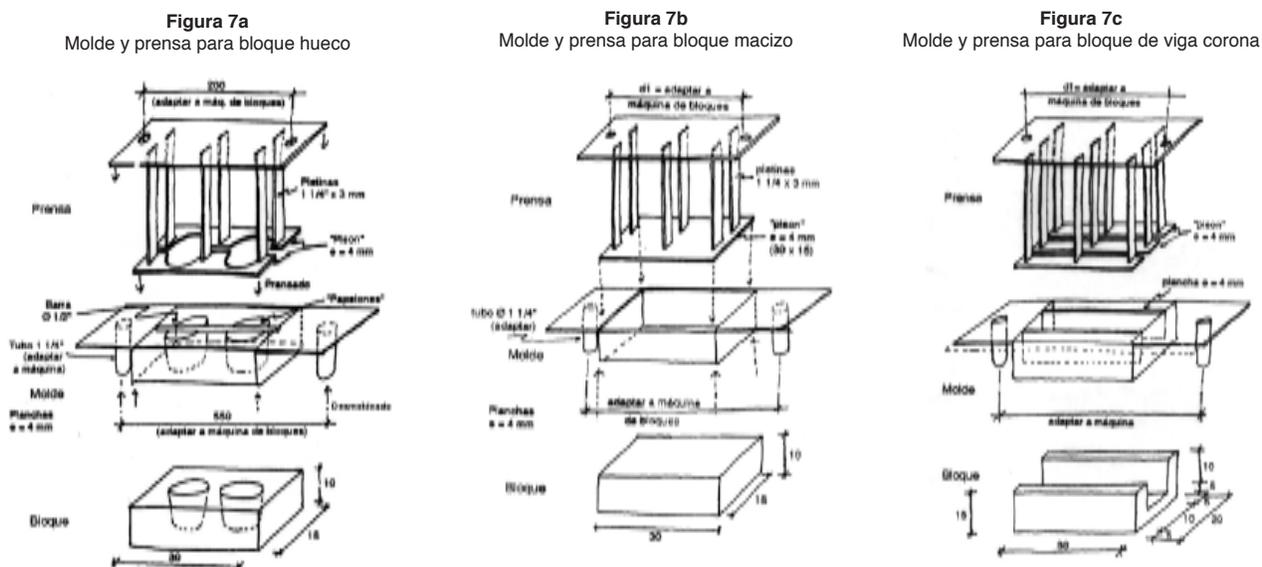


Figura 8
Vivienda de un nivel

Logramos producir un bloque de buena calidad con un tipo de material que llaman localmente “ripio” (desecho de cantera), mezclado con arena lavada en proporción 2 a 1, y que, aunque no es el más económico, los bloques fabricados con él sobresalieron en todas las pruebas (ver detalles en el “cuadro comparativo...” de la siguiente sección).

1.2. Otros proyectos de aplicación con bloques aligerados

Proyecto cabaña de montaña I

La experiencia de Maturín nos sirvió para desarrollar aplicaciones de la técnica de bloques aligerados a otros proyectos, tanto de interés social como de interés general. Las cabañas de montaña a continuación son un ejemplo de cómo se puede ampliar y capitalizar la experiencia sobre esta técnica (ver figuras 8 a la 11). Para el diseño de estas cabañas se aplicó la misma técnica de bloques de suelo-cemento, con algunas mo-



⁷ Este cambio se produjo a raíz de una consulta con el profesor del IDEC, ingeniero José Adolfo Peña.

Figura 9
Detalles constructivos. Vivienda un nivel

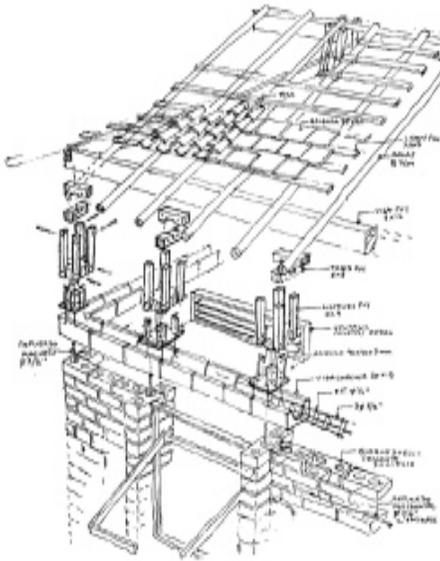
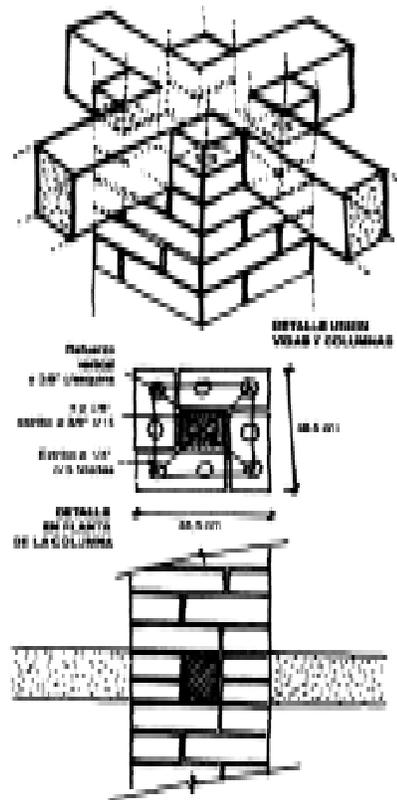


Figura 10
Vivienda de dos niveles



Figura 11
Detalles de uniones. Vivienda dos niveles



Proyecto cabaña de montaña II

En este proyecto se amplían los ensayos anteriores, y se propone una construcción de 2 plantas, donde se trabaja con un sistema estructural y constructivo mixto de paredes de carga, machones reforzados y vigas de concreto.

El entrepiso es una losa de tablonos sobre vigas doble "T".

Basados en los resultados de los proyectos de aplicación aquí presentados, y preocupados por las constantes e insistentes referencias a las tecnologías de tierra como panaceas en los programas de construcción de vivienda del Estado, nos surgió la inquietud por revisar lo apropiado o pertinente de la aplicación masiva de la mampostería de bloques de suelo-cemento a la vivienda de interés social.

En la siguiente sección, aportamos algunos argumentos para la discusión de este tema.

2. BLOQUES MACIZOS Y ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO, Y BLOQUES HUECOS DE CONCRETO: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN FUNCIÓN DE SU PESO Y CONSUMO DE MATERIALES

El cuadro que presentamos a continuación, establece una comparación entre los sistemas de mampostería de suelo-cemento de bloque macizo (BM) y de bloque hueco aligerado (BA), así como con los sistemas de bloque hueco de concreto (BHC). El interés que guía esta comparación es el de determinar, a través del análisis de características físicas de los bloques, el consumo de materiales y el consecuente impacto ambiental, el peso y, por ende, su incidencia en la capacidad sismorresistente de la mampostería; así como la flexibilidad que su geometría permite en el diseño de paredes y muros, a la hora de incluir refuerzos verticales, horizontales e instalaciones.

Para efectos de este análisis, la unidad de comparación que escogemos es una vivienda de 45 m², la cual requiere unos 3.250 bloques de suelo-cemento de 30 cm x 15 cm x 10 cm (largo x ancho x alto) para su ejecución. En el caso del bloque de concreto se requiere unos 1.280 bloques de 40 cm x 15 cm x 20 cm para construir las paredes de la misma vivienda. Para construir un metro cuadrado de pared se utilizan 33 bloques de suelo-cemento mientras que con BHC se necesitan sólo 12,5 bloques.

En lo referente a la producción de los bloques, asumimos que para producir el bloque macizo se utilizó la máquina CINVA-RAM, y para el bloque aligerado y el BHC, la máquina artesanal descrita en las secciones anteriores.

VIVIENDAS EN SUELO CEMENTO
COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL BLOQUE: MACIZO Y ALIGERADO

ASPECTOS DE COMPARACIÓN:

- PESO, CONSECUENCIAS EN SISMORRESISTENCIA Y PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA.
- VOLUMEN DE MATERIAL REQUERIDO: IMPACTO AMBIENTAL.
- RESISTENCIA, ABSORCIÓN.

UNIDAD DE COMPARACIÓN: VIVIENDA 45 m² = 3.250 BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

DESCRIPCIÓN		BLOQUE MACIZO (Máquina tipo "Cinva-RAM")	BLOQUE ALIGERADO (Máquina artesanal tipo "Bloque de Concreto") (Huecos de 8 cm)	BLOQUE DE CONCRETO Máquina artesanal (1.260 bloques por vivienda)	
PESQ	1	VOLUMEN BLOQUE (vol/b)	 l: 30 x a: 15 x p: 10 cm = 4,5 l	 30 x 15 x 10 cm = 3,00 l (Huecos = 1,5 l)	 40 x 20 x 15 = 5,04 l (Huecos = 6,24 l)
	2	DENSIDAD (kg/m ³) ^Φ	3,000	2,000	2,000
	3	PESO (kg/bloque) ^Φ	13,5	6	12
	4	PESO VIVIENDA (ton)	43,68	19,50	15,36
	5	PESO RESULTANTE POR UNIDAD DE ÁREA DE VIVIENDA (Ton/m ²)	0,975	0,43	0,34

VIVIENDAS EN SUELO CEMENTO

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL BLOQUE: MACIZO Y ALIGERADO

ASPECTOS DE COMPARACIÓN:

- PESO, CONSECUENCIAS EN SISMORRESISTENCIA Y PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRERA
- VOLUMEN DE MATERIAL REQUERIDO: IMPACTO AMBIENTAL
- RESISTENCIA, ABSORCIÓN

UNIDAD DE COMPARACIÓN: VIVIENDA 45 m² = 3.250 BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

DESCRIPCIÓN		BLOQUE MACIZO (Máquina tipo "Cima-RAM")	BLOQUE ALIGERADO (Máquina artesanal tipo "Bloque de Concreto") (Huecos de 8 cm)	BLOQUE DE CONCRETO Máquina artesanal (1.280 bloques por vivienda)	
1	VOLUMEN BLOQUE (vol bl)	 l: 30 x a: 15 x p: 10 cm = 4,5 l	 30 cm x 15 cm x 10 cm = 3,00 l (Huecos = 1,5 l)	 40 cm x 20 cm x 15 cm = 5,04 l (Huecos = 6,24 l)	
2	DENSIDAD (Kg/m ³) ¹⁰	3.000	2.000	2.000	
VOLUMEN	6	VOLUMEN (m ³) DE MATERIAL COMPACTADO POR VIVIENDA: (vol ms viv = No de bloques x vol bl) (11)	↓ 14,63	↓ 9,75	↓ 6,45
	7	FACTOR DE COMPACTACIÓN (fc) ¹² (vol compactado / vol suelto) (vol suelto = 1,00 ; vol comp = % vol suelto)	 33%	 60%	 85%
	8	VOLUMEN (m ³) DE MATERIAL SUELTO POR VIVIENDA (vol ms viv = vol ms viv [6] * fc[7])	44,32	16,25	7,59
	9	MATERIALES PARA LA MEZCLA Φ :			
	9a	SUELO (O ARENA) CERNIDO (s c)	38,54	13,54	6,07
	9b	CEMENTO (m ³) (% x volumen s c)			
		5% x volumen de s c	1,93		
		10% x volumen de s c		1,35	
		15% x volumen de arena cern.			0,91
	9c	AGUA (m ³) (10% x volumen s c)	3,85	1,35	0,61
	10	Vol RESULTANTE DE SUELO (O ARENA) REQUERIDO (m ³) INCLUYE PÉRDIDA POR CERNIDO del 10% (vol s c[9a] * 1,1)	42,39	14,90	6,68
11	VOLUMEN DE SUELO (O ARENA) REQUERIDO POR UNIDAD DE AREA DE VIVIENDA (m ³ /m ²)	0,942	0,33	0,15	

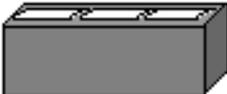
VIVIENDAS EN SUELO CEMENTO

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL BLOQUE: MACIZO Y ALIGERADO

ASPECTOS DE COMPARACIÓN:

- PESO: CONSECUENCIAS EN SISMORRESISTENCIA Y PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA
- VOLUMEN DE MATERIAL REQUERIDO: IMPACTO AMBIENTAL
- RESISTENCIA, ABSORCIÓN

UNIDAD DE COMPARACIÓN: VIVIENDA 45 m² = 3.250 BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

DESCRIPCIÓN		BLOQUE MACIZO (Máquina tipo "Cinva-RAM")	BLOQUE ALIGERADO (Máquina tipo "bloque de concreto") (Huecos de 8 cm)	BLOQUE DE CONCRETO Máquina artesanal (1.280 bloques por vivienda)
VOLUMEN BLOQUE (vol b)		 l: 30 x x: 15 x p: 10 cm = 4,5 l	 30 cm x 15 cm x 10 cm = 3,00 l (Huecos = 1,5 l)	 40 x 20 x 15 = 5,04 l (Huecos = 6,24 l)
OTRAS CARACTERÍSTICAS	12 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 días, Kg/cm ²) ¹	Entre 80 y 90 Kg/cm ²	Entre 40 y 50 Kg/cm ²	Entre 40 y 50 Kg/cm ²
	13 ABSORCIÓN DE HUMEDAD ² (aumento de peso por absorción de agua; máximo recomendable 10 %)	Entre 5 y 7%	Entre 7 y 10%	Entre 12 y 16%
	14 CAPACIDAD DE INCLUIR REFUERZOS VERTICALES EN PAREDES DE CARGA	NO (SÓLO CON BLOQUE ESPECIAL)	SÍ	SÍ
	15 CAPACIDAD DE INCLUIR INSTALACIONES EN PAREDES	NO	SÍ	SÍ

¹Densidad del bloque macizo: resultados preliminares de la investigación de la profesora Melín Nava, presentadas en el curso: «Arquitectura de Ladrillo, Bloques y Tierra: La Mampostería Estructural y de Envoltura», Febrero. 1999, FAU-UCV.

Densidad del bloque aligerado: mediciones propias; densidad del bloque hueco de concreto: según Norma Covenin.

² Factor de compactación: bloque macizo; resultados preliminares de la investigación de la profesora Melín Nava.

Bloque aligerado: mediciones propias; bloque hueco de concreto: consultas a productores de bloques.

³

Materiales para la mezcla: proporciones acostumbradas en la fabricación de los bloques; para el bloque macizo, según M. Nava, y productores varios; para el bloque aligerado: diseño propio de la mezcla; para el bloque de concreto: bloqueras de varios n

⁴Resistencia del bloque macizo: resultados citados de la profesora M. Nava; del bloque aligerado: resultados propios; del bloque de concreto: según norma Covenin.

⁵Absorción del bloque macizo: resultados citados de la profesora M. Nava; del bloque aligerado: resultados propios; del bloque de concreto: según norma Covenin.

DESCRIPTORES DEL CUADRO

1. Volumen bloque: el BM tiene 4,5 l, mientras que BA tiene 3,0 l, debido a que los huecos le restan un 30% de su volumen. Por su parte, el BHC tiene 5,04 l (asumiendo paredes de 20 mm de espesor).
2. Densidad: el BM presenta la más alta densidad del grupo analizado, 3.000 kg/m³, mientras que para el BA y el BHC se obtienen densidades en el orden de los 2.000 kg/m³.

3. Peso (kg/bloque): cada bloque macizo pesa 13,5 kg, mientras que el bloque aligerado pesa sólo 6 kg, y el de concreto 12 kg.
4. Peso vivienda (ton): de esta forma, la vivienda de 45 m² que utiliza 3.250 bloques de suelo-cemento viene a pesar 43,88 ton; en el caso del BM, 19,50 ton para el BA y 15,36 ton, en el caso del BHC.
5. Peso por m² de vivienda (ton/m²): finalmente calculamos el peso resultante (ton) por unidad de área de vivienda (m²) y obtenemos que en el caso del BM arroja casi una tonelada (0,975 ton) por

- m² de vivienda, casi tres veces más peso que el BHC (0,34 ton/m²), y más del doble que el bloque aligerado (0,43 ton/m²).
6. Volumen (m³) de material compactado por vivienda: éste es el volumen de material de los bloques utilizados para la vivienda, y se obtiene de multiplicar el total de bloques por su volumen unitario. Así, los 3.250 BM y BA representan 14,63 y 9,75 m³ de material compactado por vivienda, mientras que el BHC requiere 6,45 m³.
 7. Factor de compactación: este factor representa la relación entre el volumen de material compactado y el volumen de mezcla suelta utilizada para fabricar el bloque, expresada en porcentaje. Así, por ejemplo, la mezcla de suelo, cemento y agua es compactada hasta tres veces su volumen original en la máquina CINVA-RAM, para la fabricación del BM; su factor de compactación es entonces 33%. Este factor es mucho menor en los casos del BA y del BHC, los cuales presentan 60% y 85%, respectivamente. En este sentido, el factor de compactación determina el mayor o menor consumo de materiales en la construcción de la vivienda, así como el peso de la misma.
 8. Volumen de material suelto por vivienda: es el volumen de mezcla suelta, es decir, de suelo y arena cernidos, cemento y agua necesarios para producir los bloques a través de sus respectivas máquinas. De esta manera apreciamos que el volumen de mezcla necesario para producir los BM es 2,75 veces mayor que para los BA, y casi seis veces mayor que para los BHC.
 9. Materiales para la mezcla: en este aparte se desagregan los materiales necesarios para producir los bloques. La proporción de suelo o arena para el total de la mezcla depende de la cantidad de cemento y agua utilizadas. Asumiremos una proporción de agua en la mezcla de 10% por volumen para los tres tipos de bloque, y una proporción de cemento de 5%, 10% y 15% para los BA, BM y BHC, respectivamente
 - a) Suelo (o arena) cernido (m³): el volumen de material requerido para fabricar los BM (38,54 m³), alcanza a casi tres veces el volumen para los BA (13,54 m³) y a más de seis veces el necesario para los BHC (6,07 m³).
 - b) Cemento (m³): a pesar de que los BA y los BHC requieren más volumen de concreto por volumen de material cernido, al final, el BM (1,93 m³) utiliza más del doble de cemento que el BHC (0,91 m³), y un 46% más que el BA (1,35 m³).
 - c) Agua: las proporciones se mantienen igual que en la utilización de cemento.
 10. Volumen requerido de suelo o arena (incluye pérdida por cernido): asumiendo una pérdida por cernido del 10% en los tres casos, las proporciones de utilización de material se mantienen igual que en el punto 9a.
 11. Volumen requerido de suelo o arena (m³) por unidad de área de vivienda (m²): se destaca en este punto que la técnica de producir bloques macizos con la máquina CINVA-RAM requiere casi un metro cúbico de material por metro cuadrado de vivienda (0,942 m³ / m²), mientras que la de BHC sólo requiere de =0,15 m³/m², y la de BA 0,33 m³/m². Se destaca nuevamente la proporción de utilización que alcanza a casi tres veces el volumen para producir los BA, y a más de seis veces el necesario para los BHC.
 12. Resistencia a la compresión: el BM presenta una resistencia a la compresión muy superior (80-90 kg/cm²) a la del BA y el BHC (40 kg/cm²). Esta característica se debe a que la compactación a que es sometida la mezcla en la máquina CINVA-RAM es muy superior a la que es sometida en las máquinas artesanales de bloques de concreto.
 13. Absorción de humedad: similarmente, la absorción de humedad en el BM es similar a la del BA y muy inferior a la del BHC, característica que favorece a los bloques de suelo-cemento en viviendas de desarrollo progresivo; las paredes de BHC deberían ser frisadas desde el principio, dada su alta absorción de humedad.
 14. Capacidad de incluir refuerzos verticales en paredes de carga: con respecto a esta característica, la aplicación de los BM a sistemas de mampostería estructural luce más limitada que la de los BA y BHC, que presentan mayor flexibilidad de ubicación de refuerzos verticales sin piezas especiales.
 15. Capacidad de incluir instalaciones en paredes: aquí se presenta una situación similar a la del punto anterior.

CONCLUSIONES

1. Las técnicas constructivas de mampostería de bloques de suelo-cemento deben ser utilizadas cuando el contexto sociocultural y económico así lo requiera. No se deben atacar problemas de producción masiva de viviendas de interés social con la idea preconcebida de aplicación de una determinada técnica, en particular si ésta tiene características artesanales, sin antes evaluar la pertinencia al contexto donde se quiere insertar. En el caso que nos ocupa, la técnica propuesta surge de la observación de las bloqueras familiares inactivas, en los barrios de Maturín, debido al alto costo de la arena; con esta experiencia se intentó reactivarlas dándole a las familias otra opción para producir bloques con otro material; en este caso el suelo-cemento.

2. La factibilidad de la aplicación masiva de técnicas de mampostería estructural para la producción de viviendas de interés social depende de dos variables esenciales: el peso de las unidades de albañilería (los bloques), y sus consecuencias en el diseño sismorresistente de las edificaciones; y el volumen de material utilizado para su fabricación, y sus consecuencias en el impacto ambiental y los costos por el excesivo consumo de materiales.
3. En cuanto al factor peso de estos sistemas, los análisis presentados muestran que la mampostería estructural con el bloque macizo de suelo-cemento es casi tres veces más pesada que la de bloque de concreto, y más del doble que la del bloque aligerado. El exceso de peso dificulta la tarea del profesional que quiere actuar responsablemente a la hora de diseñar una mampostería estructural con características sismorresistentes. Si a esta característica añadimos el hecho de que normalmente el bloque macizo no facilita la incorporación de refuerzos verticales en esquinas y vanos, y que la ausencia de estos refuerzos dificulta el trabajo conjunto de pared, viga de corona y viga de fundación, entonces nos encontraríamos frente a una posible deficiencia significativa en el diseño sismorresistente de estos sistemas de mampostería estructural.
4. En cuanto al volumen de material utilizado, hemos visto que la técnica más difundida de producción de bloques (máquina tipo CINVA-RAM), imprime una compactación de tal magnitud a los materiales de la mezcla (reduce hasta tres veces su volumen original), que se utiliza más de seis veces la cantidad de áridos que la necesaria para la fabricación de bloques huecos de concreto, y hasta casi tres veces la requerida para los bloques aligerados de suelo-cemento. Un simple cálculo demuestra el posible impacto ambiental que ocasionaría la aplicación masiva de esta técnica: para construir un conjunto de 100 viviendas de 45 m² c/u se necesitarían 100 x 45 m² = 4.500 m² de construcción, que multiplicados por el volumen requerido por unidad de área de vivienda arrojarían: 4.500 m² x 0,942 m³/m² (ver punto 11 en cuadro anterior) = 4.239 m³ de tierra; mientras tanto, para producir el mismo número de viviendas con el bloque aligerado se necesitarían 1.485 m³, y con el bloque hueco de concreto tan sólo se necesitarían 675 m³ de arena. Es dudoso, entonces, que sea factible aplicar masivamente las técnicas de fabricación de bloque macizo muy compactado, tipo CINVA-RAM, a la producción masiva de viviendas: el transporte, distribución y almacenaje de volúmenes tan gigantescos de tierra terminarán encareciendo el precio final de la mampostería. No se trata de

proponer la no utilización del bloque macizo, sino más bien de estudiar detenidamente su factibilidad de aplicación, atendiendo a la disponibilidad de buenos suelos para las mezclas provenientes de canteras o saques de tierra controlados, a distancias próximas a los desarrollos. En sus escritos sobre sostenibilidad de la construcción, Cilento ha insistido en atender el posible impacto ambiental de las tecnologías:

“...muchas de las técnicas... promovidas como “tecnologías alternativas” o apropiadas, como el caso de las técnicas tradicionales de construcción de paredes con base a tierra cruda... si llegaran a masificarse hoy en día... tendrían un efecto contraproducente al que supuestamente se pretende al calificarlas de apropiadas... Los daños ambientales pudieran ser mucho mayores por la naturaleza “garimpeira” que podría adquirir la extracción “artesanal” de tierra para construcción...” Cilento (1997).

5. Ahora bien, la producción de bloques aligerados y bloques huecos de concreto de manera artesanal no está exenta de problemas (Oteyza y Díaz, 1999). Mientras la producción del bloque macizo con la máquina CINVA-RAM se presta para ser realizada en bloqueras de bajo nivel tecnológico, la producción con la máquina artesanal de bloques de concreto requiere de un control de calidad muy riguroso, que asegure desde la recepción de los materiales, pasando por el diseño de la mezcla hasta el curado y pruebas de resistencia, absorción de humedad y otras. La producción de bloques con máquina CINVA-RAM debe cumplir también estos pasos, pero aquí la desventaja (la alta compactación) se convierte en un alivio: siempre que se guarden algunos principios de proporción de arcilla-arena-limos, de cernido (cedazo 5 mm), y de proporciones de mezcla (5% de cemento y 10% de agua por volumen) es muy probable que se obtengan bloques con resistencias mayores a 40 kg/cm² y absorción menor al 7% (Nava, 1999). Sin embargo, bien vale la pena el esfuerzo adicional en diseño de la mezcla, supervisión e inspección, si logramos reducir el peso y el volumen de la mampostería estructural en proporciones tan significativas como las que aquí hemos presentado.
6. Existen otras características de las técnicas de mampostería estructural que habría que considerar para evaluar lo apropiado o no de su aplicación, a saber, su uso intensivo de mano de obra y su velocidad de ejecución.
 - a) Es harto conocido el uso intensivo de mano de obra que genera el uso de estas técnicas. Esta

característica es, por una parte, una ventaja por su potencialidad en la generación de empleo; pero, por otra parte, exige del constructor una ejecución altamente planificada y eficiente de los procesos en obra porque, de otra manera, no podría competir con sistemas constructivos de mayor velocidad de ejecución (como por ejemplo, de paneles ligeros de concreto). De hecho, no tenemos noticia de que la mampostería estructural como tal haya sido aplicada masivamente en programas de vivienda en Venezuela.⁸

b) En cuanto a la velocidad de ejecución, la mampostería estructural muestra un bajo rendimiento, debido a que esta técnica requiere de una cuidadosa realización, donde la edificación va surgiendo a partir de hiladas consecutivas. Se pudiera decir que la vivienda debe “tejerse” desde el piso hasta concluir en el techo, con el problema adicional de que se tiene que trabajar a cielo abierto hasta que estén todos los muros levantados y se pueda colocar la cubierta. En temporada seca, el calor y la radiación solar disminuyen el rendimiento de la mano de obra; y en temporada de lluvia, no sólo se pierden muchas horas de trabajo, sino que hay que prever que los agujeros de los bloques deben ser cubiertos de alguna forma que evite la penetración y acumulación de agua en las paredes.

7. Pensamos que en el futuro, la aplicación masiva de sistemas de mampostería estructural a la vivienda de interés social deberá, no sólo responder a las variables de peso e impacto ambiental aquí expuestas, sino buscar fórmulas que la hagan más eficiente en su ejecución, para así lograr la difusión y aceptación en la industria de la construcción de una técnica que se caracteriza por generar empleo y por su aceptación cultural. Un camino que estamos explorando es el de construir, a mucha velocidad, estructuras muy ligeras (de elementos lineales de acero, concreto o ferro-cemento), que permitan colocar rápidamente la cubierta definitiva, para luego construir, bajo techo, los muros que trabajarán en colaboración con (“amarrando”) las estructuras iniciales. Una ventaja adicional de esta propuesta es que propone combinar elementos constructivos prefabricados, de tecnologías de avanzada, con técnicas de uso y raigambre locales. Cilento (1995; 1999) ha bautizado este enfoque como una forma de “sincretismo tecnológico”, un proceso donde se logra transferir conocimientos técnicos avanzados a las comunidades, a la vez que se tecnifican sus conocimientos de construcción tradicionales y de aplicación a escala comunitaria.

8 Caso aparte son las construcciones de los ranchos, realizadas con una técnica de manchones y vigas de corona enmarcando paños de bloques de arcilla tubular. Esta técnica se asemeja a una mampostería confinada, pero los bloques tubulares de arcilla no cumplen con las condiciones de resistencia exigidas a los muros de mampostería (ver Gallegos, 1989b). En otros trabajos hemos expuesto también el caso de las malas prácticas constructivas en la ejecución de estas viviendas (Acosta, 1992). Por otra parte, en los programas de vivienda del Estado, existen innumerables ejemplos de viviendas construidas con paredes de bloques de concreto o arcilla, y algunos pocos casos con suelo-cemento. Por ejemplo, los así llamados sistemas con estructuras de «kit» metálico, y otros con columnas y vigas de concreto, etc. Pero en la mayoría de los casos, estos sistemas utilizan la mampostería como cerramiento no colaborante, y no como muros de mampostería estructural.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Domingo (1992), "Difusión tecnológica y adiestramiento en la utilización de materiales y técnicas constructivas en la habitación popular", Consejo Nacional de la Vivienda.

ACOSTA, Domingo (1997), "Viviendas en suelo-cemento", *Entre Rayas*, número 22, septiembre.

ACOSTA, Domingo (1998), "Viviendas en suelo-cemento", en: *Conferencia Internacional de Urbanización y Vivienda* (URVI 98), Memoria, Barquisimeto.

BORGES, Juan *et al.* (1992), "Manual de autoconstrucción en mampostería de adobe", Programa de Vivienda Rural, Vivienda Alto Andina.

CILENTO, Alfredo (1996), "Sincretismo e innovación tecnológica en la producción de viviendas", *Tecnología y Construcción*, Vol. 12 (I).

CILENTO, Alfredo (1997), "Tecnologías de construcción alternativas, apropiadas y apropiables", *Entre Rayas*, número 22: 10-11, septiembre.

CILENTO, Alfredo (1999), *Cambio de paradigma del hábitat*, Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Instituto de Desarrollo Experimental, IDEC, Caracas.

CRATERRE (1990), *Construir con tierra*, Fondo Rotatorio Editorial, Bogotá, Colombia.

GALLEGOS, Héctor (1989a), *Albañilería estructural*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.

GALLEGOS, Héctor (1989b), *Albañilería estructural: diseño y cálculo de muros*, Pontificia Universidad Católica del Perú.

GALLEGOS, Héctor (1987), *Diseñando y construyendo con albañilería*, LACASA.

NAVA, Melín (1999), Presentación de resultados preliminares de la investigación "Arquitectura de Tierra en Venezuela: Registro e Inventario de Técnicas Constructivas en las Zonas de Mayor Sismicidad de Venezuela", en el curso Arquitectura de Ladrillos, Bloques y Tierra: La Mampostería Estructural y de Envoltura, IDEC, FAU-UCV, Caracas, febrero.

NORMA COVENIN, 42 82 sobre Bloques Huecos de Concreto.

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*, FAU-UCV, Caracas, 2 al 4 de noviembre.

PIÑERO, Víctor (1994), "Vivienda experimental en tierra tecnificada", Instituto Universitario de Tecnología "Alonso Gamero", Coro.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1959), *Soil-Cement Laboratory Handbook*.