



**12-14 de Noviembre del 2012**  
**Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa**

## **FERROCEMENTO Y MATERIALES RECICLADOS UNA OPCIÓN TECNOLÓGICA PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO**

**J.L. Caballero-Montes<sup>1</sup>, R. Alavéz-Ramírez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional. CIIDIR IPN Unidad Oaxaca. Hornos 1003 Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. C.P 71230.

### **RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue el desarrollo de un sistema constructivo con paneles tipo sándwich de ferrocemento y materiales reciclados (PET y cartón), para muros y techos de edificaciones. Se tomo como objeto de estudio una vivienda de 90 m<sup>2</sup> aplicando la tecnología diseñada sobre la cual se realizaron valoraciones económicas, de materiales, producción de paneles, así como indicadores de impacto ambiental (consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>) de los principales materiales. Los resultados obtenidos mostraron que la vivienda con la tecnología diseñada puede construirse de forma progresiva permitiendo la combinación con otros sistemas constructivos. Con respecto al costo se encontró que es menor, del orden de 30% comparado con una vivienda que emplea materiales convencionales. Por otra parte se observó que los insumos industrializados como el cemento y el acero se emplean en menor cantidad en la vivienda con la tecnología alternativa con los beneficios ambientales que esto representa.

**Palabras claves:** Consumo energético, emisiones de Co<sub>2</sub>, materiales alternativos, sistema convencional, vivienda progresiva.

### **ABSTRACT**

The research purpose was the development of a constructive system with ferrocement sandwich panels and recycled materials (PET and cardboard), for buildings walls and roofs. It takes as study object a 90 m<sup>2</sup> housing, applying the designed technology on which economical and materials assessments, panels production were carried out, as well as environmental impact indicators (energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions ) of the main materials. The obtained results showed that the housing with the designed technology can be built in a progressive way allowing the combination with other constructive systems. With regard to the cost it was found that is 30% less compared with housing that uses conventional materials. On the other hand, it was observed that the industrialized inputs as cement and steel are used in less quantity in the housing with the alternative technology with the environmental benefits that this represents.

**Key words:** Energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, alternative materials, conventional system, progressive housing.

## **INTRODUCCIÓN**

El enfoque actual de los programas de vivienda del sector gubernamental y de la producción de empresas privadas, basadas en la oferta de viviendas completas o “llave en mano”, ha dejado de tener vigencia cuando el crecimiento de los costos y precios de las viviendas supera el crecimiento de los salarios reales y del ingreso de las familias. En México la oferta de vivienda para familias de ingresos medios ha sido apoyada por acciones del sector gubernamental, a través de la construcción de vivienda de interés social, sin embargo los sectores de menores ingresos que no son sujetos a crédito difícilmente pueden adquirir estas viviendas. Esta situación obliga al desarrollo de alternativas viables que pueden solucionarse mediante proyectos de crecimiento progresivo con tecnologías apropiadas que atiendan la demanda de vivienda nueva o de aquella construida con materiales precarios.

Por otra parte en muchas ocasiones el problema de la vivienda no es el déficit, sino la falta de condiciones para que la población pueda de una manera proactiva buscar la solución a su problemática de alojamiento, y no esperar que el gobierno se disponga a buscar dicha solución. Las familias van construyendo su hábitat mientras se aloja de acuerdo a su crecimiento y de los ingresos con los que cuentan. Todo lo que se construye es porque va hacer utilizado de inmediato, los residuos de la construcción se usan en el mismo proceso, materiales y componentes se rehúsan, y todo lo construido se va mejorando en el transcurso de varios años

De tal forma que los proyectos alternativos que se desarrollen deben de procurar en primer lugar el diseño de crecimiento progresivo iniciándose con una unidad básica que satisfaga las necesidades elementales, deben diseñarse la vivienda de una forma individual de acuerdo a las necesidades de cada familia, de modo que se pueda alcanzar una calidad tanto constructiva como habitacional hasta complementar el total de la vivienda.

La presente investigación apunta en la construcción del conocimiento de una forma sinérgica. La sinergia que se propone es de tipo tecnológico, socio-económico y ambiental. Tecnológico al desarrollar un sistema constructivo que garantiza seguridad, durabilidad y confort. Social, porque es una investigación aplicada para el desarrollo de viviendas para sectores sociales de bajos ingresos o nulos recursos. Ambiental porque debemos pensar en trabajar en una ciudad sustentable, empleando materiales renovables, que no causen daños al medio ambiente, y que promuevan prácticas de uso con materiales de desecho para integrarse en componentes constructivos para vivienda. Económico porque se considera que la escasez de vivienda es tan grande en relación a los recursos disponibles que no concebimos manera de hacer viviendas. Bajo este enfoque se presentan los resultados obtenidos de esta investigación en su primera etapa, que cumplió con los objetivos planteados de desarrollar un sistema constructivo con materiales no convencionales de ferrocemento y residuos sólidos urbanos; sencillo, flexible y con disminución de materiales industrializados y uso racional de los de origen natural.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Se seleccionó el ferrocemento como material estructural por las ventajas mecánicas, económicas y arquitectónicas que presenta [1], [2], [3], [4]. El sistema constructivo que se desarrolló consiste en una cimentación ligera poco reforzada, a partir de la cual se anclan y desplantan los muros y se continúa con la cubierta. El diseño del sistema implica actividades sencillas que personal con poca experiencia en albañilería puede realizar, inclusive jóvenes y aún mujeres pueden colaborar en la construcción de sus propias viviendas.

### **Diseño del sistema constructivo**

Es un sistema de construcción modular con paneles tipo sándwich que se combina con elementos de refuerzo convencional como cadenas de desplante y cerramiento, así como nervaduras reforzadas que rigidizan el techo lo que conlleva a la conformación de un sistema híbrido. El sistema constructivo es flexible y permite el crecimiento progresivo de espacios, ventaja que otros sistemas no ofrecen al ser sistemas de construcción cerrados.

**Producción de paneles.** La construcción de los paneles combina una producción de forma manual y montaje *in situ* que permite organizar la división del trabajo. La producción de los paneles tipo sándwich para la ejecución de las viviendas puede ser realizada por las propias familias o por mano de obra que requiere mínima capacitación.

El proceso consiste en habilitar una estructura tipo caja con malla electrosoldada y falso plafón, se continúa con el forrado de cartón de la estructura y posteriormente se rellena con botellas de PET. Se coloca una tapa que confina el relleno de botellas con lo que se obtiene un panel básico de 2.40 m x 0.90 m y 15 cm de espesor (Figura 1).



**Figura 1. Producción de paneles**

El sistema constructivo se experimentó en un espacio de 16 m<sup>2</sup> que corresponde a una recámara de un proyecto de vivienda progresiva tomado como caso de estudio para caracterizar el proceso constructivo y obtener datos, en particular de los rendimientos de mano de obra y con ello realizar un análisis a detalle de los costos.

En la Figura 2 se observa el proceso constructivo de los muros del modelo con los paneles antes mencionados. La cimentación es con zapatas corridas superficiales y poco reforzadas a partir de las cuales se anclan los paneles y se unen una pieza con otra con tramos de varilla y alambre recocado. Posteriormente ambas caras de los paneles se recubren con mortero cemento arena 1:3 y se curan por un período mínimo de una semana para garantizar la resistencia especificada.



**Figura 2. Maniobra y montaje de paneles para la construcción de muros**

En el caso del techo, el proceso consiste en construir una cadena de cerramiento en la parte superior de los muros. Se colocan puntales con madera para apoyar los paneles, y se arman nervaduras entre un panel y otro con una varilla de 3/8", finalmente se cuele una capa de compresión de 5 cm de espesor con mortero cemento-arena 1:2.5. Por la parte inferior se realiza un aplanado común con mezcla también de mortero.

La figura 3 presenta el modelo experimental de 16 m<sup>2</sup> donde se aplicó la tecnología de ferrocemento y residuos sólidos urbanos en los sistemas muro y techo. Los acabados finales en este sistema son similares a la construcción convencional, de ahí que la propuesta desarrollada se limita a los sistemas muros y techo de una vivienda.



**Figura 3. Modelo experimental construido con paneles tipo sándwich**

**Prototipo de vivienda.** El prototipo de vivienda para realizar la evaluación técnico-económica se tomó de Caballero [5] quienes proponen un modelo progresivo de casa a partir de un estudio socioeconómico y diagnóstico participativo realizado con personas que habitan colonias precarias en algunos municipios de la Zona Metropolitana de Oaxaca. La vivienda es un solo nivel tiene un área de 90 m<sup>2</sup>; cuenta con dos recámaras, sala-comedor y un baño completo (Figura 4).



Figura 4. Modelo de vivienda de 90 m<sup>2</sup> de crecimiento progresivo

**Productividad en la construcción de paneles.** Durante el proceso de construcción del modelo se monitoreo las actividades de construcción de los paneles. Dicha actividad fue realizada por una persona que tenía conocimientos básicos de albañilería quien se sometió a observación durante un período de dos semanas. Tiempo en el cual elaboró 24 paneles de sección rectangular de 2.40 x 0.90 m. Una vez recabada la información de procedió a su captura y se analizó en el programa estadístico SPSS versión 10.

**Análisis de costos.** Con el propósito de determinar las ventajas económicas del sistema desarrollado con respecto a la construcción convencional, se realizó un comparativo entre ambos sistemas. Se analizó la vivienda mencionada de manera detallada considerando las partidas de cimentación, estructura y acabados identificando las diferencias en cuanto a costos de construcción por tipo de sistema. Se elaboraron conceptos de obra propios del sistema de ferrocemento y reciclados, para lo cual se usaron datos de materiales y rendimientos de la mano de obra obtenidos de la etapa experimental donde se construyó el espacio de 16 m<sup>2</sup> descrito previamente. Se realizaron los presupuestos de viviendas considerando las mismas áreas de construcción y respetando las especificaciones y metodología constructiva particular para la generación de volúmenes y cantidades de obra. En el caso del sistema convencional se tomaron los precios unitarios de la base de datos del paquete de análisis de precios Unitarios NEODATA para una vivienda de interés social.

**Análisis de materiales e indicadores ambientales.** A partir de la cuantificación de materiales empleados en cada una de las viviendas en estudio se realizó un análisis particular de aquellos que tienen mayor impacto en los costos totales; estos fueron principalmente cemento, acero y agregados pétreos (arena y grava). A los cuales además se les determinó el costo energético, así como sus emisiones de CO<sub>2</sub> por kg de materia que emiten hacia la atmósfera, indicadores que de acuerdo a varios investigadores [6], [7] son los principales que afectan al ambiente. Las variables ambientales fueron determinadas siguiendo el planteamiento metodológico de Arguello y Cuchi [8], quienes basaron su investigación en el estudio sobre el impacto ambiental provocado por los

materiales empleados en la construcción en la Isla de Lanzarote y tomando como base de datos de metaBase del Instituto de Tecnología de Construcción de Cataluña.

## RESULTADOS

La Tabla 1 indica el costo directo de las viviendas por tipo de sistema; convencional (mampostería de block y losa de concreto) y alternativo (ferrocemento y residuos sólidos urbanos). Se encontró una disminución de costos de este último del orden del 30 % con diferencias notorias en las partidas de cimentación y estructura principalmente.

**Tabla 1. Presupuestos comparativos por partidas entre viviendas**

<i>Partida</i>	<i>Convencional</i>	<i>Sistema alternativo</i>	<i>Diferencia</i>
TRABAJOS PRELIMINARES.	\$1,456.82	\$1,432.55	1.67%
CIMENTACIÓN	\$41,670.62	\$10,904.61	73.83%
ESTRUCTURA	\$89,713.44	\$71,959.26	19.79%
ALBAÑILERIA	\$51,713.05	\$28,715.58	44.47%
HERRERIA	\$15,971.73	\$15,971.80	0.00%
INSTALACIÓN ELECTRICA	\$6,957.08	\$6,957.08	0.00%
ACABADOS	\$30,415.62	\$27,293.08	10.27%
INSTALACIÓN HIDROSANITARIA	\$14,880.13	\$14,880.13	0.00%
MUEBLES DE BAÑO	\$7,747.91	\$7,747.9	0.00%
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 260,526.40</b>	<b>\$ 187,483.59</b>	<b>28.04%</b>

En la Tabla 2 se reportan datos de la producción de los paneles se observa que la actividad que consume mayor tiempo es la que consiste en la construcción del armado estructural del panel, que comprende trabajos de corte, enderezado y armado con malla electrosoldada de la estructura tipo caja. Le sigue el forrado de la caja con cartón y la colocación de botellas PET, que es la actividad más sencilla y que consume menos tiempo.

Los datos estadísticos obtenidos nos brindaron información valiosa para poder conocer la media así como los valores mínimos y máximos en cada una de las actividades de la construcción de esta clase paneles. Se obtuvo como valor promedio de rendimiento por la producción unitaria de un panel el de 4.03 hrs., que se obtuvo a partir de la construcción de 24 paneles.



**Tabla 2. Análisis de datos de la producción de paneles**

Actividad	N	Mínima	Maxima	Media	Desviación standard
Armado de caja panel	24	79	99	88.63	5.82
Colocación de cartón	24	55	70	60.08	3.46
Colocación PET	24	23	67	46.42	9.58
Colocación tapa	24	15	34	25.08	4.20
Colocación malla metal	24	21	37	25.00	2.81
TOTAL. (min)		221	265	242.08	13.94
TOTAL (Hr)		3.68	4.42	4.03	0.23

De la explosión de insumos se observó que los materiales que tienen mayor peso en ambos sistemas son el acero, cemento y agregados pétreos. En la Tabla 3 se señalan los porcentajes de reducción que se tendrían si se construyera con el sistema de ferrocemento y reciclados, los cuales en todos los casos de los materiales analizados son menores comparados con el sistema convencional, haciéndose notar más la diferencia en el acero y la grava.

**Tabla 3. Consumo de materiales principales por sistema constructivo**

Material	Unidad	Sistema convencional	Sistema alternativo (ferrocemento+reciclados)	Diferencia
Acero	Ton	2.6	1.00	61.38%
Cemento	Ton	15.82	12.22	22.77%
Arena	M3	34.83	25.45	26.92%
Grava	M3	12.29	8.80	54.37%

En las Tablas 4 y 5 se resumen los costos energéticos y emisiones de Co<sub>2</sub> de los dos sistemas en comparación, se pueden ver que los de mayor impacto son los industrializados (acero y cemento), con valores mayores de los materiales empleados en el sistema convencional.

**Tabla 4. Costos energéticos y emisiones de Co<sub>2</sub> vivienda con sistema convencional**

Material	Costo energético por kg de materia		Emisión de Co <sub>2</sub> por kg de materia
	MJ	KWh	
Acero	90761	25205.52	7260.85
Cemento	68975.20	19158.02	6486.20
Agregados	7068	1979.04	494.76

**Tabla 5. Costos energéticos y emisiones de Co<sub>2</sub> vivienda con sistema alternativo**

Material	Costo energético por kg de materia		Emisión de Co <sub>2</sub> por kg de materia
	MJ	KWh	
Acero	35052	9734.36	2804.14
Cemento	53279.2	14798.42	5010.2
Agregados	5137.5	1438.50	359.63

## CONCLUSIONES

El sistema constructivo compuesto por paneles tipo sándwich modulares forman un sistema flexible que se puede combinar con otros materiales y/o sistemas comúnmente usados tanto en viviendas como en otras edificaciones. Dichos paneles pueden ser empleados en lugar de

estructuras de concreto reforzado de espesores sólidos. Estos paneles son ligeros y permiten reducir el tamaño y las necesidades de refuerzo de otros elementos estructurales asociados.

Por lo anterior el sistema alternativo desarrollado combinado con estructuras convencionales resulta una opción técnica y económicamente viable para construir viviendas de bajo peso con las ventajas que esto representa sobre todo en zonas de actividad sísmica frecuente como el pacífico de las costas del sur de México.

Por otra parte se pudo observar que la producción de componentes constructivos es lo suficientemente simple que actividades como el forrado con cartón y relleno con botellas PET de los paneles, podrían ser realizadas por mujeres inclusive niños. Con un ritmo de producción efectuado por una sola persona se obtendría en una semana 12 paneles que cubrirán las necesidades para la construcción de tres muros de un espacio para recámara de 16 m<sup>2</sup> aproximadamente.

En lo que respecta al uso de materiales mayoritarios en el sistema de ferrocemento y reciclados se encontró que el cemento y el acero se emplean en menor cantidad en la vivienda propuesta comparada con aquella que emplea materiales convencionales, con los beneficios ambientales que esto implica, al reducirse el costo energético, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, cifras que aumentarían si el sistema alternativo se aplica en la construcción masiva de viviendas.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional de México por el financiamiento del proyecto: "Desarrollo de la tecnología fe+reciclado para vivienda económica y su evaluación sísmica en la Zona Metropolitana de Oaxaca. SIP 20100365. Así mismo a la COFAA por la beca de exclusividad al autor del trabajo.

### **REFERENCIAS**

1. A. Fernández, "Ferrocement research and development in Oaxaca, México", *Journal of ferrocement*, 26 (1996): pp. 259-266.
2. A. Fernández, P. Montes, R. Alavéz, "Small resistant, durable and low cost houses" in *Proc. 7th International Symposium of Ferrocement and thin Reinforcement Cement Composites. National University of Singapore. Singapore, (2001): pp. 307-315.*
3. Fernandez, P. Cano "Seismic characteristics of low-cost monolithic housing", *Journal of ferrocement*, 31, (2001): pp. 137-142.
4. R. Mattone, "Ferrocement: Experiments and potential application". *Journal of Ferrocement. 26 (2006): pp. 275-279.*
5. J.L. Caballero, M.E. Flores, J. Hernández, "Evaluación de la calidad de vivienda en colonias precarias de la ciudad de Oaxaca", *Revista Universitaria UABJO 1,0 (2010): pp. 29-36.*
6. A. Guggemos, A. Horvath, "Decision-Support Tool for Assessing the Environmental Effects of Constructing Commercial Buildings." *J. Archit. Eng. 12, 4 (2006): pp. 187-195.*
7. A. Dimoudi, C. Tompa. "Energy and environmental indicators related to construction. *Resources, Conservation and Recycling 53 (2008): pp. 86-95.*
8. T. Arguello, A. Cuchí, "Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 con techo-Chiapas del CYTED". *Informes de la Construcción 60 (2008): pp. 25-34.*