

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE TRES CLASES DE PLACAS TIPO SÁNDWICH DE FERROCEMENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL

EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF THREE KINDS OF PANELS FERROCEMENT SANDWICH TYPE FOR RURAL HOUSING CONSTRUCTION

LINA MARCELA GUERRA-GARCÍA

M.Sc., Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, marcela_1220@yahoo.com.mx

FERNANDO DA COSTA-BAÊTA

PhD., Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, baeta@ufv.br

ILDA DE FÁTIMA FERREIRA-TINÔCO

Dr. Sc., Professora, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, iftinoco@ufv.br

JAIRO ALEXANDER OSORIO-SARAZ

Dr. Sc., Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, aosorio@unal.edu.co

ROBINSON OSORIO-HERNANDEZ

M.Sc., Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, robinson0413@gmail.com

Recibido para revisar Diciembre 21 de 2012, aceptado Julio 30 de 2013, versión final Agosto 21 de 2013

RESUMEN: Gracias a experiencias positivas en el medio urbano, las placas tipo sándwich de ferrocemento se presentan, como una alternativa a la demanda de construcciones rápidas y de bajo costo que impone la problemática de vivienda rural en América Latina. Diversas propuestas en este sentido pueden ser evaluadas previamente a través de simulaciones. Este estudio evaluó el comportamiento mecánico de tres placas tipo sándwich de ferrocemento, para definir el sistema constructivo de una propuesta de vivienda rural, a través de una simulación con elementos finitos, por medio del software SolidWorks®. Con base en un diseño previo para vivienda rural, fueron diseñadas tres alternativas de placas tipo sándwich de ferrocemento, evaluando su resistencia a la rotura y deformación, aplicando el cálculo de esfuerzos de Von Mises. Las tres alternativas mostraron resultados satisfactorios de resistencia y deformación, optando por la combinación de dos de las tres alternativas para la definición del sistema constructivo según criterios de practicidad y costos.

PALABRAS CLAVE: Prefabricado, simulación, elementos finitos.

ABSTRACT: Thanks to positive experiences in urban, sandwich panels ferrocement type are presented as an alternative to the demand for fast, low construction cost imposed by the rural housing problem in Latin America. Various proposals in this regard may be previously evaluated through simulation. This study was performed to evaluate the mechanical behavior of three panels of ferrocement sandwich type, to define the building system of rural housing proposal, from a simulation with the application of the finite element method. Based on a preliminary design for rural housing, three alternatives were designed sandwich type ferro-plates, then evaluating their tensile strength and displacement by applying the calculation of Von Mises stress in a simulation by the finite element method, by SolidWorks® software. The three alternatives were satisfactory offset resistance and, choosing the combination of the second and third alternatives for the definition of the construction system according to criteria of practicality and costs.

KEY-WORDS: Prefabricated, simulation, finite element.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática de la vivienda rural en los países de América Latina, presenta varias características que son comunes, donde la precariedad de las condiciones que

ofrecen y la carencia absoluta de vivienda en muchos casos, son predominantes. En los últimos años sin embargo, se han implementado programas para mejorar las condiciones habitacionales del medio rural, con el interés principalmente de conocer la efectividad de

estos como respuesta a las demandas de sus habitantes y la complejidad con un modelo sustentable para el territorio [1].

En Brasil por ejemplo, el gobierno federal inició el Programa Nacional de Vivienda Rural en 2003, que facilita el acceso a la reforma o construcción de viviendas de las familias agricultoras socioeconómicamente más vulnerables [2]. Mientras en Colombia, el decreto 00900 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012), permitirá a los beneficiarios de programas estratégicos, así como a la población desplazada, el acceso a vivienda rural 100% gratuita [3].

Este tipo de políticas generan demanda de construcciones rápidas y de bajo costo. El ferrocemento es uno de los materiales con características que posibilitan este tipo de obras, ya que es de fácil construcción y reparación, no requiere mano de obra calificada ni mucho tiempo de ejecución, genera bajo costo, es resistente mecánicamente, así como resistente a la abrasión y al impacto, es impermeable y puede ser concebido con espesores mínimos entre 10 y 15 mm, disminuyendo el peso propio de las estructuras considerablemente [4].

Experiencias positivas en el uso de placas prefabricadas tipo sándwich de ferrocemento aplicadas en viviendas de países de América Latina, permiten pensar que esta puede ser una buena opción para la vivienda rural. Empresas constructoras en México [5] y Chile [6], comercializan casas de bajo costo, basadas en este tipo de paneles, con refuerzos especiales para responder eficientemente al alto nivel de sismicidad de estas zonas.

En Brasil, la aplicación de esta tecnología está representada en edificaciones de carácter público, construidas por el arquitecto João Filgueiras Lima (Lelé) [7], mientras son escasas las exploraciones en el campo habitacional, de las cuales [8], presentó un aporte, evaluando el comportamiento estructural y térmico de un prototipo de casa a escala real, basado en paneles prefabricados de ferrocemento tipo sándwich.

En Colombia, la construcción de vivienda con placas de ferrocemento es común. Sin embargo, el uso de este material en forma de placas tipo sándwich no lo es. Es usual encontrar en Colombia edificaciones construidas con placas de ferrocemento con espesores alrededor de

los 20mm [9], las cuales transmiten calor al interior con facilidad, generando ambientes carentes de confort térmico. Soluciones de este tipo suelen ser rechazadas por los pobladores rurales, ya que para muchos de ellos, los sistemas constructivos de tan poco espesor tienen poca estabilidad estructural y baja calidad.

En América Latina, debido al bajo presupuesto dedicado al desarrollo de la ciencia y la tecnología (menos del 0.5% de PIB, frente al 2% y 3% del PIB en países desarrollados) [10], resulta difícil la experimentación a escala real sobre la viabilidad de las propuestas que pueden resultar entorno a sistemas constructivos de ferrocemento. Sin embargo, el surgimiento de la simulación computarizada se ha convertido en una herramienta de gran ayuda para estos análisis, permitiendo ahorro de materia prima y trabajo [11]. Las simulaciones a través del método de elementos finitos han sido masivamente empleadas para el análisis estático y dinámico de sistemas estructurales [12], de modo que se puedan hacer ajustes en los diseños y/o elegir los modelos que finalmente sean evaluados a escala real.

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico de tres placas tipo sándwich de ferrocemento, para definir el sistema constructivo de una propuesta de vivienda rural, a partir de una simulación con la aplicación del método de elementos finitos.

2. METODOLOGÍA

Partiendo del diseño previo de una propuesta de vivienda rural para países tropicales y subtropicales como Colombia y Brasil, la cual se observa la Figura 1, fueron elaboradas tres alternativas de placas prefabricadas tipo sándwich de ferrocemento, con variaciones en la forma de conexión, buscando el mejor sistema constructivo para este tipo de vivienda.

2.1. Características de las tres alternativas

Las tres alternativas tienen varias características comunes, como puede verse en la Figura 2: son placas tipo sándwich con 1,0m de ancho por 2,70m de largo y cada tapa de ferrocemento tiene un espesor de 15mm; en el núcleo tienen posibilidad de contener un material de aislamiento térmico y así mismo aprovecharse para

la instalación de redes eléctricas e hidrosanitarias; en los extremos y en el centro tienen refuerzos verticales; hay paneles con adaptaciones para puertas y ventanas embebidas.



Figura 1. Planta propuesta de vivienda rural para países tropicales y subtropicales [13]

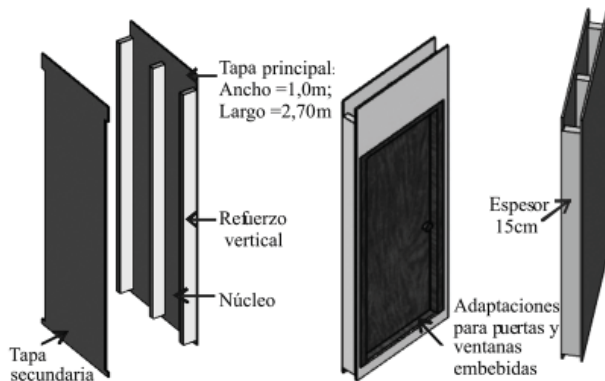


Figura 2. Características comunes de las alternativas.

La primera alternativa se trata de un sistema constructivo mediante placas con unión de tipo hembra en sus dos extremos, como se ve en las Figuras 3 y 4, generando un espacio vacío entre placas, que debe ser llenado con hormigón o mortero, y funciona como conector. La Figura 5 muestra los elementos que componen cada placa en su interior vistos frontalmente. En este sistema las conexiones en las esquinas y en paredes intermedias

deben ser hechas en obra, en forma de pilar, como se muestra en la Figura 6.

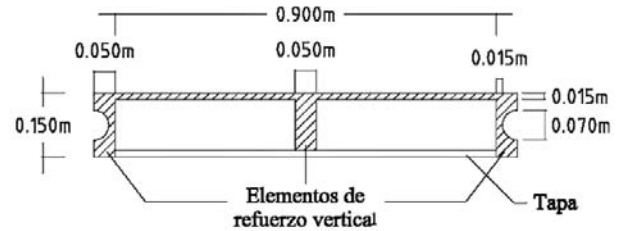


Figura 3. Corte transversal primera alternativa

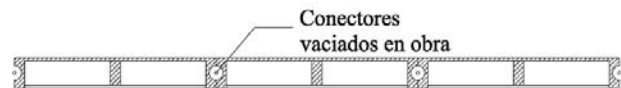


Figura 4. Conexión entre placas de paredes continuas primera alternativa.

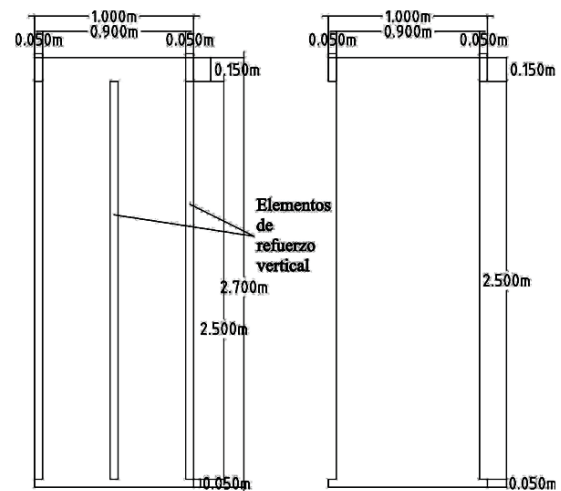


Figura 5. Vista frontal interior placa primera alternativa: (A) tapa principal; (B) tapa secundaria.

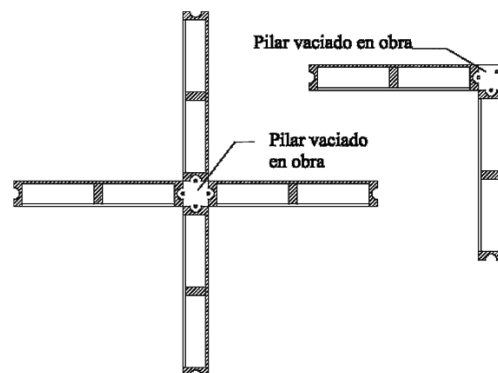


Figura 6. Conexión de placas en esquinas y paredes intermedias primera alternativa.

La segunda alternativa consiste en una placa simple, como se muestra en las Figuras 7 y 8, donde las uniones entre placas son prácticamente inexistentes. La conexión de este sistema es generada solo a partir de la viga de fundación (Figura 9) y la viga de amarre superior (Figura 10), las cuales son comunes para las tres alternativas. Los elementos que componen cada placa en su interior vistos frontalmente son similares a los de la Figura 5. Como se puede apreciar en la Figura 11, el proceso constructivo también requiere pilares vaciados en obra para formar esquinas y paredes intermedias.

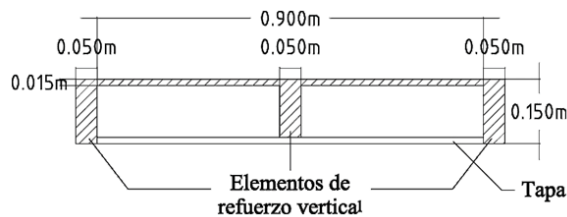


Figura 7. Corte transversal segunda alternativa.

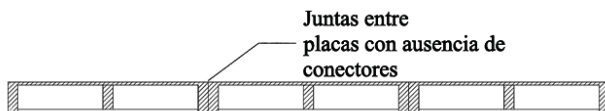


Figura 8. Conexión entre placas en paredes continuas segunda alternativa.

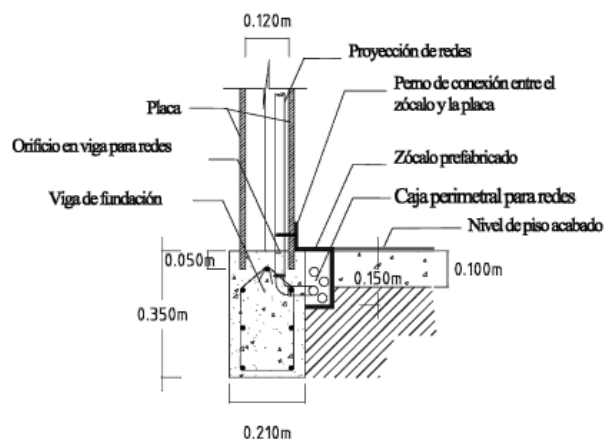


Figura 9. Detalle de viga de fundación.

En la tercera alternativa fue considerada una conexión por medio de “dientes” y pernos, la cual se trata de un sistema machihembrado en los extremos de las placas, en sentido vertical, como se observa en las Figuras 12 y 13. La función de los pernos es unir las tapas de la placa para facilitar el manejo durante el transporte y

la instalación. Los “dientes” van perforados para ser atravesados por una barra de acero durante el montaje, conectando el sistema tanto a la viga de fundación como a la viga de amarre. La Figura 14 muestra las conexiones para la formación de esquinas y de paredes continuas.

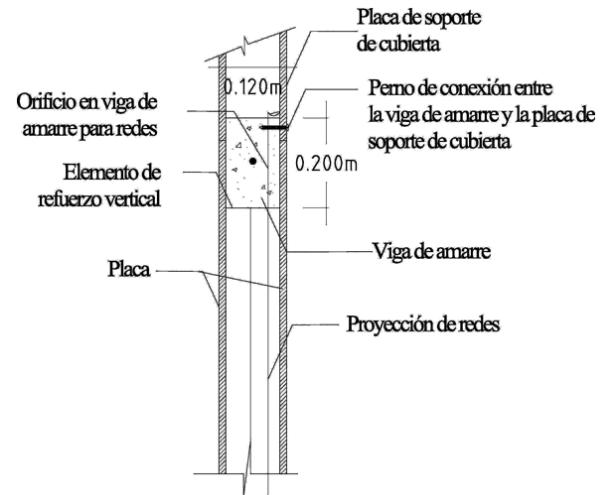


Figura 10. Detalle de viga de amarre.

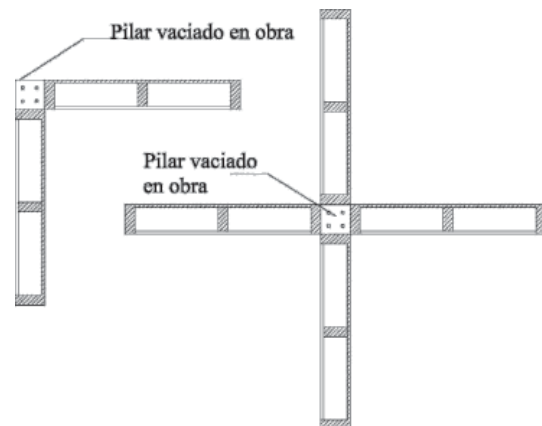


Figura 11. Conexión de placas en esquinas y paredes intermedias segunda alternativa.

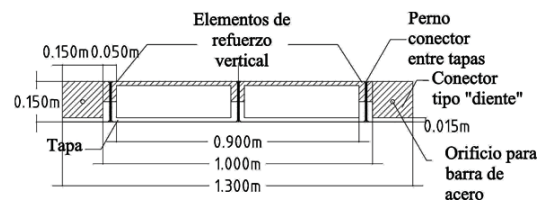


Figura 12. Corte transversal tercera alternativa.

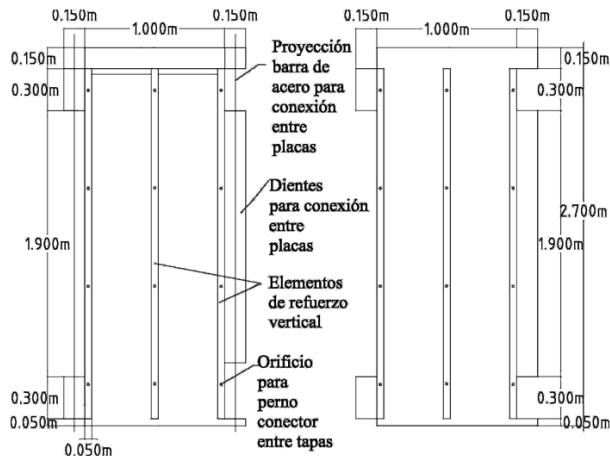


Figura 13. Vista frontal interior placa tercera alternativa: (A) tapa principal; (B) tapa secundaria.

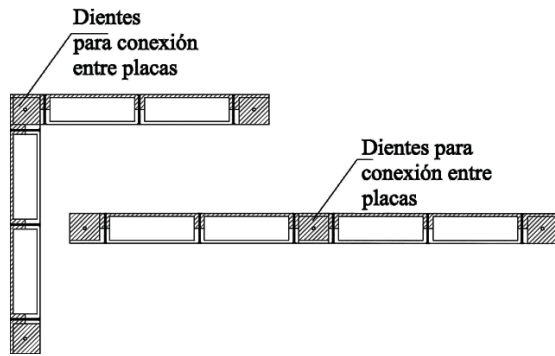


Figura 14. Conexión de placas en esquinas y paredes continuas tercera alternativa.

2.2. Propiedades mecánicas de las tres alternativas de placa

Con la ayuda del software SolidWorks®, se realizó una simulación utilizando el método de elementos finitos aplicado a cada opción de panel de forma individual, para conocer su resistencia y deformación. El software basó la simulación en el cálculo de los esfuerzos de Von Mises, que se resume en la ecuación 1 [14].

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad [1]$$

Donde, σ_1 , σ_2 , e σ_3 , representan las tensiones principales.

Las condiciones de contorno fueron las siguientes:

- Las cargas verticales soportadas por las placas, donde se eligió la que soporta la mayor área de cubierta dentro del diseño de la casa. De acuerdo con la norma [15], tales cargas estuvieron constituidas por el peso de la cubierta en teja de barro, el peso de la viga de amarre en la parte superior de las paredes, el peso propio de la placa, además se asumió un peso de 70 kg/m² sobre la cubierta como carga viva.
- La carga horizontal correspondiente al viento máximo para la región sur de Brasil, de 60km/h, o 16,66 m/s, según las intensidades medidas en el litoral de esta zona [16], ya que constituye una de las zonas con mayor potencial eólico del país [17]. La presión de esta carga equivale aproximadamente a 260N/m², ó 27kg/m², según las ecuaciones 2 y 3, para el cálculo de presión de viento sobre una estructura [14].

$$P = C \cdot q \cdot K \quad [2]$$

Donde,

P = presión del viento sobre la estructura (N/m²);

C = Coeficiente eólico;

q = Presión dinámica del viento (N/m²);

K = Factor eólico de esbeltez (como h/b < 5,

K = 1, siendo h = altura y b = ancho).

Para encontrar la presión dinámica se utilizó la ecuación 3 [14].

$$q = 0,625 \cdot V_s \cdot S_4 \quad [3]$$

Donde,

V_s = velocidad del viento (m/s);

S_4 = Coeficiente de variación en la densidad del aire con la altura sobre el nivel del mar (altitud de 500, $S_4 = 0.94$);

Considerando $C = 1,6$ para paredes en barlovento: