

## Evaluación del comportamiento estructural del componente prefabricado para techo Domotej\*

### *Structural behavior evaluation of Domotej\* precast roof component*

EDUWIN GUILLERMO PÉREZ LEAL, GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO<sup>1</sup> Y ÁNGEL EDUARD RODRÍGUEZ SUESCA

#### RESUMEN

Ante la necesidad evidenciada de tecnologías alternativas de techo para la vivienda de los grupos sociales de menores ingresos, factibles de ser realizados mediante un proceso de autoconstrucción, tanto en Chiapas, México; como en Boyacá, Colombia y el resto de América Latina, se presentan los resultados de la evaluación a la resistencia mecánica del componente para techo Domotej. El objetivo fue demostrar que el componente principal del sistema cumple con la resistencia exigida por las normas vigentes para ser aplicado principalmente en la vivienda de interés social. Para conocer su capacidad de carga tomando como referencia la normatividad vigente, el componente fue evaluado experimentalmente durante 2008 por un periodo de diez meses: primero en una estancia de seis meses en la Facultad de arquitectura de la UNACH y, posteriormente, cuatro meses en la Facultad de ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Con lo anterior se cumplió con el objetivo propuesto, lo que permite visualizar su aplicación en el contexto de estudio.

**Palabras clave:** cubierta, Domotej, techo prefabricado

#### ABSTRACT

Facing the evident need for alternative technologies of roof for housing of the low income population, feasible to be carried out through a self-build process in Chiapas, Mexico as well as in Boyaca, Colombia and the rest of Latin America, we present the results of the mechanical resistance assessment of the roof component Domotej. The objective was to demonstrate that the main component of the system meets the required resistance by the current regulations to be applied in social housing mainly. To recognise its load capacity, taking the current regulations as a reference, the component was experimentally assessed in 2008 during a 10-month period: first in a six-month stay at the Faculty of Architecture of UNACH in Chiapas, Mexico, and afterwards in a four-month period at the Faculty of Engineering of the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). The proposed objective was accomplished, allowing us to visualize its application in the context of the study.

**Key words:** roof, Domotej, prefabricated roof.

#### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el crecimiento demográfico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, y en general del estado de Chiapas, México, ha generado diferentes problemas sociales que afectan a una gran parte de la población, entre estos el aumento del déficit de vivienda adecuada para satisfacer las necesidades básicas de la población citada. Parte de esta problemática también se vive en Colombia. Con base en lo anterior, el cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda (Cocovi), en búsqueda de alternativas constructivas, propuso un sistema de cubierta denominado Domotej, aplicado en un modelo experimental de vivienda de interés social construido en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la UNACH.

Dicho sistema incluye el mejoramiento de su desempeño térmico y es apto para ser utilizado en clima tropical, lo cual se ha demostrado en

publicaciones anteriores (Castañeda y Vechia, 2006; Castañeda, Quiroga y Vechia, 2007; Castañeda, 2008). Además, puede ofrecer algunas ventajas sobre sistemas tradicionales porque requiere menor inversión económica y porque puede emplearse un método de construcción progresiva llevada a cabo por el mismo usuario. Así mismo, genera algunas diferencias estructurales, las cuales deben ser analizadas para que el sistema pueda garantizar la seguridad adecuada de aquellas edificaciones que empleen este sistema.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

##### El contexto

El lugar de residencia de cada ser humano es una de las necesidades básicas que para satisfacerse debe cumplir unas condiciones mínimas de comodidad, entre las que se puede nombrar el

\*El Componente prefabricado para techos Domotej, fue desarrollado y está en proceso de patente por el Dr. Gabriel Castañeda Nolasco, profesor de la Facultad de Arquitectura de la UNACH.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Arquitectura. Blvd. Belisario Domínguez 1081. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Correo-e: gnosco2@gmail.com

tamaño, el material empleado para su construcción, la temperatura, y en general su capacidad para proteger a sus habitantes de los fenómenos naturales que los rodea como movimientos sísmicos, grandes velocidades de viento, inestabilidad de los suelos, entre otros.

Sin embargo, actualmente existen muchos miles de personas que no tienen una vivienda adecuada para vivir dignamente, debido a las grandes crisis económicas que se presentan en diversos países. México, Colombia y muchas otras naciones, especialmente de América Latina, han presentado este grave problema desde hace varias décadas, convirtiéndose en los últimos años en la dificultad a resolver de manera urgente para ofrecer una mejor calidad de vida a los ciudadanos de cada lugar.

Para lograr este objetivo, en cada país se ha adelantado programas de vivienda para aquella población más desprotegida económicamente. Por ejemplo, en Colombia se han propuesto programas para el financiamiento de vivienda de interés social promovidos por diversas entidades del Estado, como el Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial (VMVDT), el Fondo Nacional de Vivienda (FNV), el Departamento Nacional de Planeación (DNP), las Cajas de Compensación Familiar (CCF), y entidades territoriales como municipios y departamentos. Dichos programas se basan en otorgar subsidios y, si es necesario, créditos a las personas que tienen ingresos inferiores a dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV), que de acuerdo con estudios actualmente alcanza un índice del 40% de la población total del país (Daughters, 2003). Estos esquemas están sujetos a cambios a través del tiempo de acuerdo con los resultados obtenidos para garantizar el buen funcionamiento.

De igual manera, en México se promueven programas similares de financiamiento y subsidios a través de instituciones como el Instituto de Vivienda del Distrito Federal (INVI), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit), la Renovación Habitacional Popular (RHP), el Fondo Nacional de Habitaciones Populares (Fonhapo). A pesar de esto no ha sido posible satisfacer las necesidades de todas las comunidades que lo requieren, pues el crecimiento demográfico es evidente y desmesurado, con tasas que oscilan entre 1.41% para Colombia y 1.14% para México (IndexMundi, 2008). Por esta razón están surgiendo ideas que apoyan la consecución de inmuebles para los grupos socia-

les anteriormente mencionados, con bajo costo de inversión sin perder comodidad ni seguridad, incluso proponiendo sistemas constructivos llevados a cabo por el mismo usuario.

### **Características actuales de cubiertas para viviendas de interés social**

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, se ha observado que la gran mayoría de la población busca construir las cubiertas para la vivienda utilizando la tecnología de concreto armado fundido monolíticamente en el lugar, lo cual requiere de una inversión inicial considerable. Esto sucede bajo el concepto predominante de vivienda segura y duradera incluso en las colonias precarias que aspiran llegar a construir su techo con esta tecnología (Castañeda y Vechia, 2007).

Paralelamente, en Boyacá, Colombia, las nuevas viviendas dispuestas para la población menos beneficiada económicamente utilizan normalmente teja de asbesto como cubierta, pues resulta ser un material más económico y más fácil de instalar que las losas de concreto armado destinadas para este fin. Esto se debe a que el clima de la región oscila en rangos entre 8 y 22 °C y resulta adecuado emplear el material mencionado porque garantiza la comodidad térmica y la protección requerida a los usuarios. En esta región también existen las típicas cubiertas de arquitectura colonial provenientes de España, que emplean piezas de arcilla cóncavas que descansan sobre una base de bahareque adheridas con masa de barro para lograr sujetarlas correctamente.

Sin embargo, en Colombia hay regiones que deben soportar altas temperaturas en donde emplear teja de asbesto como cubierta no es la solución más recomendable para ofrecer la mejor comodidad a los usuarios, ya que este material generalmente no aísla el calor suficientemente. Es allí donde puede ser posible implementar nuevas tecnologías de cubierta como el sistema Domotej.

### **Amenaza a la que se exponen las viviendas en México**

Es importante considerar el riesgo existente en el sur de México por ser el lugar principal donde se pretende implementar el sistema de cubierta para vivienda sugerido, a fin de atender las medidas de seguridad adecuada. El estudio de riesgo de daños implica dos factores fundamentales:

la amenaza es uno de ellos y compete al nivel de exposición de la edificación frente al daño que pueda sufrir de acuerdo con las características del lugar en el que se encuentre. El otro factor es la vulnerabilidad y se refiere a la respuesta de la edificación a los fenómenos externos ocurridos teniendo en cuenta las características propias de ésta. En consecuencia, el riesgo representa probabilidad de que la edificación sea afectada por algunas de las manifestaciones destructivas de los diversos fenómenos que se presentan en el área de amenaza (Meli, 2005).

De acuerdo con lo anterior, es relevante mencionar que la posición geográfica del sur de México y particularmente del estado de Chiapas no es la más favorable en cuanto a fenómenos naturales se refiere, debido a que en esta región interactúan tres placas tectónicas: la placa del Pacífico, la de Cocos y la del Caribe, y existen dos volcanes activos que la afectan sísmicamente, como el volcán Tacaná y el Chichón (Cenapred, 2007). Así mismo, dicha región está rodeada de zonas ciclo-genéticas, por lo cual es susceptible a sufrir todos los tipos de riesgos de origen natural (Centro Nacional de Huracanes de EEUU, 2007). Esto justifica que las nuevas tecnologías constructivas de edificaciones sean evaluadas previamente para que se puedan aplicar de manera confiable.

### Sistema de cubierta Domotej

Es un mecanismo de cubierta que emplea dos procesos importantes de construcción. El primero de ellos comprende elaborar elementos Domotej de manera prefabricada, cuya composición consta de materiales económicos y de fácil consecución como el petatillo (Figura 1), y el segundo consta de la construcción *in situ* de la cubierta empleando estos elementos previamente fabricados.

### El componente prefabricado Domotej

Para su construcción es necesario contar con un molde perimetral cuadrado o cimbra de madera u otro material, de las dimensiones deseadas del Domotej. Hasta hoy se ha trabajado con una medida estándar de 1 x 1 m. Una vez hecha la cimbra se procede a colocarla sobre un área limpia y plana en la cual se vaciará una cantidad de arena mojada dentro de ésta, con el fin de hacer un domo con dicho material, con una altura en la

parte central de 6 cm (Figura 2). Es preciso señalar que las dimensiones laterales de este domo deben ser menores que las del molde en 8 cm, 4 cm a cada lado en ambos sentidos, es decir de 92 x 92 cm. En seguida se coloca un plástico cubriendo la arena para evitar su adherencia con las piezas de petatillo (Figura 3), las cuales se colocan sobre éste en forma de espiral de manera



Figura 1. Petatillo



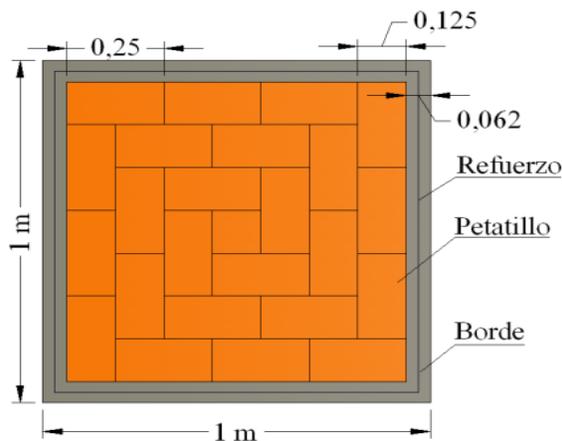
Figura 2. Arena dentro de cimbra



Figura 3. Plástico aislante

que cubran toda el área que abarca el domo hecho con arena (Figuras 4 y 5); luego se coloca el refuerzo perimetralmente a éste. Dicho refuerzo puede constar de alambre de amarre trenzado o de delgadas barras de acero (alambrón), cuyo costo no es muy elevado. Posteriormente se realiza el colado del mortero sobre los elementos de petatillo esparciéndolo como una capa uniforme de 1 cm de espesor. El mortero debe tener unas características de adherencia adecuadas. Se sugiere una mezcla cemento/arena en proporción 1:3. (Figuras 6 y 7)

Inicialmente las piezas deberán dejarse inmóviles, se indica un tiempo mínimo de 48 horas mientras adquieren resistencia, y luego se almacenan evitando que se rompan. Deberá aplicarse agua sobre el mortero para un adecuado curado (Figura 8). El proceso de construcción del Domotej ya descrito es artesanal; sin embargo, en lugar de arena se pueden utilizar moldes de domo estándar que permitan construir las piezas más rápidamente pudiendo ser industrializadas. (Figura 9)



**Figura 4.** Armado petatillo



**Figura 5.** Armado real

### Proceso constructivo de la cubierta Domotej

La cubierta propuesta consta de varios elementos prefabricados Domotej (Figura 10) colocados en forma de una matriz quedando pequeñas juntas laterales en sus uniones. Estos elementos se adhieren entre sí por medio de una capa de concreto aplicada en la superficie (Figura 12).



**Figura 6.** Aplicación de mortero



**Figura 7.** Extendido de mortero



**Figura 8.** Curado



**Figura 9.** Elaboración en serie



**Figura 12.** Fig. 12 Placa superior



**Figura 10.** Elemento prefabricado Domotej



**Figura 11.** Instalación Domotej

Cada Domotej descansa sobre vigas de acero instaladas uniformemente (Figura 11). Sobre la losa de concreto se ubica la capa vegetal que se encarga de disminuir los efectos térmicos del ambiente dentro de la vivienda, colocando previamente el correspondiente material orgánico

de unos 10 cm de espesor para un buen desarrollo de las plantas. Se sugiere adaptar césped para dar estética a la cubierta. (Figura 13).

La estructura sugerida para la cubierta está compuesta por perfiles de acero de lámina delgada abiertos de 2" x 6" calibre 14, es decir perfiles C-150 x 150 mm x 2.0 mm que actúan como vigas simplemente apoyadas, soldadas adecuadamente en sus extremos para que puedan recibir el peso de los elementos prefabricados Domotej. Estos elementos prefabricados son colocados secuencialmente sobre los perfiles anteriormente referidos, partiendo desde el nivel más bajo hasta alcanzar el más alto. En otras palabras, se comienza en el voladizo y la primera pieza se sujeta con ángulo estructural de 1" x 1" calibre 14 para evitar resbalamientos, y la sucederán las otras piezas hasta alcanzar la parte más alta del montén donde se une con la cumbre. (Figuras 14 y 15)



**Figura 13.** Cubierta vegetal



**Figura 14.** Proceso de instalación cubierta



**Figura 16.** Malla de refuerzo



**Figura 15.** Cumbre



**Figura 17.** Placa rigidizante de concreto

Posteriormente, cuando todos los elementos prefabricados Domotej están colocados se extiende una malla electro-soldada de 3 mm cada 10 cm, de manera que cubra totalmente el área de los elementos prefabricados Domotej (Figura 16). Ésta sirve de refuerzo de una delgada capa de concreto compuesta por arena gruesa de río de 210 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 17), el espesor de esta capa es de 3 cm a partir del centro del elemento prefabricado. Debe llevarse a cabo el correspondiente proceso de curado para adquirir la óptima resistencia del material.

### **El método de análisis**

Como se observó anteriormente, el sistema de cubierta es novedoso y por lo tanto es de vital importancia que se garantice la seguridad a los usuarios. Por eso se procedió a realizar dos evaluaciones de la misma: la resistencia mecánica de los elementos prefabricados Domotej y el comportamiento estructural de esta cubierta aplicada en un modelo de vivienda experimental.

### ***Resistencia mecánica del componente prefabricado***

El ensayo consistió en someter varios elementos prefabricados Domotej de 1 x 1 m de área, de manera independiente, bajo carga vertical tratando de simular su trabajo en la estructura. Los objetivos fueron:

- Probar la capacidad de carga que puede alcanzar el sistema Domotej para inicialmente considerar la factibilidad de que este sea utilizado con seguridad como cubierta.
- Someter varias probetas Domotej bajo carga para observar sus comportamientos a medida que ésta aumenta.
- Hacer varios ensayos con diferencias tanto en la geometría como en el refuerzo de las probetas para analizarlas y compararlas entre sí.
- Establecer el tipo de falla que presentan estos elementos de acuerdo con sus características.
- Iniciar un estudio relacionado con el sistema Domotej para analizar su aplicabilidad en diversas estructuras como sistemas de entrepiso.

### **Parámetros de medición**

La prueba de resistencia de los elementos empleados en el sistema Domotej se hizo teniendo en cuenta dos variables: 1) la carga que soportaría el elemento prefabricado Domotej a medida que éste se deformara, y 2) deducir si la falla presentada era de tipo dúctil o frágil. De esta manera fue posible obtener gráficas que ilustran el comportamiento buscado.

### **Tipos de probetas**

Se fallaron en total 7 probetas, de las cuales 3 fueron construidas utilizando un alambre de amarre trenzado como elemento de confinamiento. Las dimensiones de estos elementos eran de 1 x 1 m por 8 cm de alto en su parte central. Otras dos probetas tenían alambros de 3 mm de diámetro como refuerzo perimetral y otras dos, además del alambros como refuerzo perimetral, tenían un refuerzo transversal cruzado del mismo alambros. Vale la pena mencionar que la curva, en los cuatro domos que contenían alambros, disminuyó considerablemente; la altura en su centro era apenas de 4 cm.

### **Equipo utilizado**

Los datos fueron obtenidos a través de equipos especializados para medir la carga y la deformación. Se empleó una celda de carga con capa-



**Figura 18.** Alambre trenzado



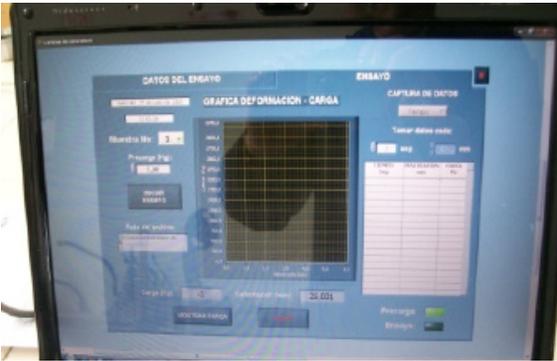
**Figura 19.** Alambros perimetral y transversal



**Figura 20.** Ganchos de anclaje, alambros



**Figura 21.** Alambros perimetral



**Figura 22.** Software empleado



**Figura 26.** Montaje



**Figura 23.** Colocación de arena



**Figura 27.** Vigas de apoyo



**Figura 24.** Celda de carga



**Figura 28.** Vista inferior de probeta



**Figura 25.** Deformímetro



**Figura 29.** Vista inferior de probeta



**Figura 30.** Agrietamiento de probeta

idad máxima de 4.5 t para medir la capacidad de carga de las probetas, y al mismo tiempo un deformímetro que se encargó de medir la deformación de las mismas. Estos dos equipos fueron calibrados y puestos a funcionar dentro de un mismo software creado exclusivamente para estos ensayos. Con este sistema fue posible determinar la carga máxima soportada y su respectiva deformación, así como la gráfica que representa el comportamiento del elemento de prueba.

Para transferir la carga se utilizó un gato hidráulico con capacidad máxima de carga de 30 t, el cual fue dispuesto y sujetado a un marco de prueba en forma invertida. Para transferir la carga en un área adecuada y en forma distribuida, sobre cada probeta se colocó una platina cuadrada de 28 x 28 cm y bajo ésta una delgada capa de arena que hiciera contacto tanto con la superficie de la platina como con la superficie del elemento prefabricado. La celda de carga estaba sujeta al pistón del gato y el deformímetro al mismo para lograr resultados verdaderos de los aforos. Las probetas fueron apoyadas sobre dos vigas de acero paralelas para que el ensayo fuera lo más parecido al comportamiento real del sistema Domotej empleado sobre placas de entrepiso.

### ***Comportamiento estructural en el modelo experimental de vivienda***

Para el análisis de riesgos de la edificación se utilizó un software adecuado (SAP2000) para incluir tanto los efectos sísmicos y meteorológicos existentes, como las cargas generadas por el sistema de cubierta teniendo en cuenta parámetros de los reglamentos de construcción (NTC del RCDF, 2004; NSR, 1998).

### ***Características del modelo experimental***

La cimentación está constituida por concreto ciclópeo utilizando piedra maciza sobre la cual se coloca la cadena de desplante encargada de distribuir las cargas de la vivienda a dicha cimentación. Como estructura principal, Cocovi sugiere la utilización de secciones de acero de lámina delgada porque facilita la construcción de la edificación, lo cual ya genera alguna diferencia puesto que para viviendas generalmente no se emplea el acero como estructura primordial.

En cuanto a los muros de cerramiento, las piezas de mampostería tradicionalmente utilizadas se convierten una vez más en la materia prima, aunque son instaladas en forma diferente. La vivienda utiliza muros de mampostería compuestos por paneles prefabricados confinados con castillos y dalas, los cuales están compuestos de concreto reforzado con una barra de acero. En el caso de los castillos, la barra se suelda en su parte superior a la viga de acero (montén) y en la parte inferior a la cadena de desplante.

El sistema funciona como un muro doble, puesto que para lograr un aislamiento térmico se instalan dos paneles paralelos para cubrir la misma área dejando una junta entre ellos de 5 cm, la cual va llena de fibra orgánica como aserrín, o en otro caso poliestireno, resultando un espesor total del muro de 15 cm. Sin embargo, en caso que no se quiera rellenar la junta con ningún material es posible dejarla libre obteniendo resultados térmicos satisfactorios, según Cocovi. La cubierta ya ha sido explicada en detalle anteriormente.

### ***Fundamentos del análisis***

Para conocer si el comportamiento que presenta una vivienda de este tipo es adecuado, considerando la cubierta especificada, bajo eventos sísmicos y de viento, se han tenido en cuenta dos requisitos fundamentales que deben cumplir los elementos que conforman la estructura. Uno de ellos se refiere a la verificación de la deriva, lo que significa que el desplazamiento relativo de la cubierta con respecto al piso esté dentro del rango permitido por las normas correspondientes. Esto indica el grado de rigidez que posee la estructura y especialmente las columnas (NSR, 1998). El otro requisito es que la capacidad de carga de los elementos propuestos cumpla adecuadamente con las combinaciones de carga

dispuestas por las normas. En este aspecto, se evaluó en el software la estructura con las distintas combinaciones incluyendo eventos sísmicos y de viento y se observó que no todos los elementos se comportaban bien bajo algunas combinaciones de carga, por lo cual fue necesario hacer las sugerencias respectivas para garantizar la seguridad requerida (Pérez, 2008).

No obstante, es importante resaltar que el comportamiento de toda la cubierta se asemeja al de una placa rígida, pues todos los componentes prefabricados Domotej están adheridos mediante una delgada placa superior que rigidiza la estructura de dicha cubierta, y si se garantiza que la losa dispuesta sobre los domos se comportará satisfactoriamente desde el punto de vista estructural, es posible utilizarse frecuentemente como cubierta, y como consecuencia el análisis restante se concentra en verificar la resistencia de los elementos prefabricados Domotej individualmente bajo cargas que podrían ser superpuestas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los elementos prefabricados Domotej que fueron construidos con alambre trenzado como refuerzo perimetral ofrecieron buena resistencia y satisfacen el valor mínimo de carga, sin olvidar que la curvatura que tenían era mayor en comparación con los domos reforzados con alambón. Las Figuras 35, 37 y 39 muestran que el tipo de falla es frágil, ya que la deformación sufrida por las probetas es poca mientras se aumenta la carga, y cuando fallan lo hacen súbitamente, puesto que se rompe el alambre y por consiguiente el petatillo queda sin confinamiento para resistir las cargas. La Figura 37 muestra una alta capacidad de carga de la probeta respectiva (A2), el valor fue mayor gracias a que la curvatura era más alta que en las probetas A1 y A3.

Los domos construidos únicamente con alambón perimetral tuvieron una resistencia más baja que los reforzados con alambre; sin embargo, la falla no se presentó por falta de resistencia de los materiales, ya que al terminar estos ensayos se observó que el acero y el petatillo no habían fallado. Lo que realmente ocurrió fue que hubo una falla por flexión debido a que estos domos tenían una curva muy disminuida. Los petatillos se juntaron lo suficiente para caber en el cuadro demarcado por el acero y se desprendieron del mortero posteriormente, el cual sí se rompió rápidamente.

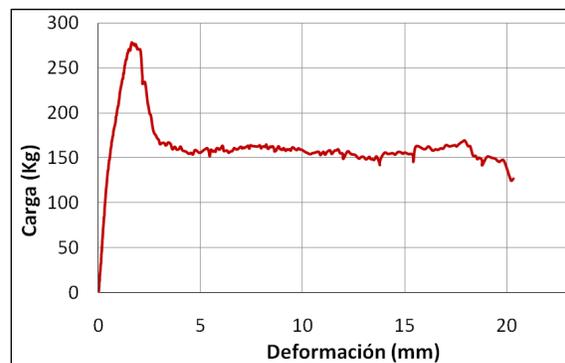


Figura 31. Alambre trenzado como refuerzo perimetral



Figura 32. Falla probeta A1

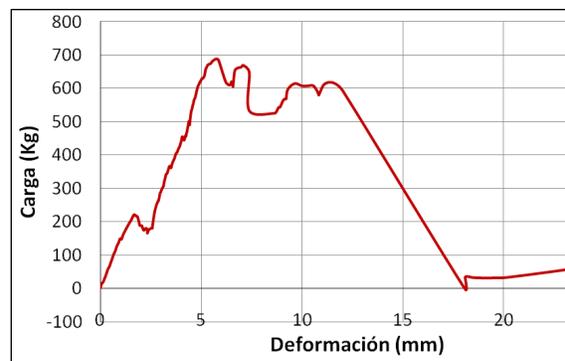


Figura 33. Alambre trenzado como refuerzo perimetral



Figura 34. Falla probeta A2



**Figura 35.** Alambre trenzado como refuerzo perimetral



**Figura 39.** Probeta con alambres perimetral y transversal



**Figura 36.** Falla probeta A3



**Figura 40.** Falla probeta B2



**Figura 37.** Probeta con alambres perimetral y transversal



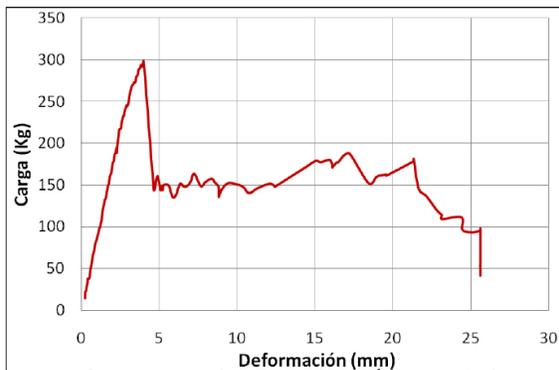
**Figura 41.** Probeta con alambres perimetral



**Figura 38.** Falla probeta B1



**Figura 42.** Falla probeta C1



**Figura 43.** Probeta con alambrcn perimetral



**Figura 44.** Falla probeta C2

Los domos que poseían refuerzo con alambrcn perimetral y transversal tuvieron un comportamiento más dúctil que los reforzados con alambre trenzado, y su falla no fue súbita sino progresiva, como se muestra en las Figuras 39 y 41, generando ventajas para los fines deseados pues siempre se busca evitar fallas súbitas en los materiales que forman parte de una estructura. También es necesario mencionar que la curvatura de estos elementos era similar a la que presentaban los domos reforzados con alambrcn perimetral únicamente, y si se aumenta la curva se pueden obtener mejores resultados.

Con base en lo anterior, se ha observado que la curvatura de las probetas es relevante en su comportamiento bajo diversas cargas. A mayor curvatura la capacidad de carga aumenta y, por tanto, la seguridad que puede ofrecer el sistema. Esto demuestra el funcionamiento de los elementos prefabricados Domotej.

### Comportamiento estructural del Domotej

Particularmente, cada domo se comporta estructuralmente como un arco puesto que transmite las cargas hacia los apoyos haciendo trabajar sus elementos de arcilla (petatillos) a compresión. La fuerza axial se distribuye hacia los costados y es transmitida al acero para que trabaje bajo tensión, funcionando como un elemento de confinamiento.

### Comportamiento en conjunto

De acuerdo con los resultados obtenidos, los elementos prefabricados Domotej deben soportar un valor de carga de 180 kg/m<sup>2</sup>, equivalente a la carga viva que se generaría durante el proceso constructivo de la cubierta, lo cual cumple satisfactoriamente con todas las probetas falladas. Posteriormente se colaría la capa superior de concreto y durante su fraguado no habría ninguna carga adicional. En el momento en que esta capa adquiera su resistencia óptima, actuaría como una losa tradicional, que se encargaría de soportar la mayor parte de los esfuerzos generados por las cargas superpuestas. De esta manera la matriz de domos funcionaría como una cimbra durante el proceso constructivo, y como parte de la estructura durante su vida útil.

**Cuadro 1.** Capacidad de carga y deformaciones de probetas Domotej

Probeta	Descripción	Carga Max. (Kg)	Deformación <sup>2</sup> (mm)	Deformación Máx. (mm)	Figura
A	1 Alambre trenzado	278.390	1.632	22.354	16
	2 Alambre trenzado	688.135	5.747	18.324	18
	3 Alambre trenzado	302.079	1.502	18.272	20
B	1 Alambrcn perimetral y transversal	401.600	4.979	24.590	22
	2 Alambrcn perimetral y transversal	375.071	4.583	23.917	24
C	1 Alambrcn perimetral	200.206	1.976	22.489	26
	2 Alambrcn perimetral	297.765	4.019	25.437	28

## Recomendaciones

- Pueden utilizarse elementos prefabricados Domotej reforzados con alambre de amarre, así como reforzados con alambón en el sistema de cubierta, pues todos satisfacen las resistencias esperadas para tal fin; por ello, la selección del refuerzo debe hacerse desde el punto de vista económico y aunque la diferencia en costos entre los tipos de refuerzo no es muy significativa, probablemente sea el alambre de amarre el más indicado.
- Podrían llevarse a cabo otros ensayos para tener más datos referentes al tema, cambiando y comparando las características geométricas de las probetas. Además, sería conveniente probar el funcionamiento de los elementos que conformarían la placa en conjunto, es decir, hacer ensayos de elementos prefabricados Domotej con la respectiva capa superior, variando las características de cada uno de ellos, como espesores, refuerzos y curvaturas, con objeto de emplearlos en otras aplicaciones.

## Ventajas del sistema frente a losas de concreto empleadas como cubierta

- Si bien es cierto que el petatillo o materia prima utilizada para la construcción de los elementos prefabricados Domotej es producida y negociada con facilidad en el sur de México, estas piezas de arcilla son muy poco utilizadas en Boyacá y en general en Colombia; no obstante, pueden mandarse a elaborar en fábricas artesanales de productos de arcilla a bajo precio, y podría implementarse su fabricación industrial en caso de que la demanda de los elementos prefabricados Domotej sea considerable.
- La fabricación de los elementos prefabricados Domotej puede llevarse a cabo con herramientas rústicas y con un proceso artesanal, lo cual generaría trabajo y apoyo a la población desprotegida económicamente que quiera ocuparse de su elaboración; sin embargo, sería posible industrializar la construcción de estos elementos para facilitarlos y a su vez para disminuir el tiempo de producción de los mismos, lo que influiría en la calidad del producto y en su fácil consecución.
- Si se elaboran elementos prefabricados con alta calidad tanto para su función estructural como para la estética, después de terminar la construcción de una cubierta como la planteada

podría evitarse la utilización de acabados en su cara inferior, puesto que el petatillo estaría cumpliendo con los dos oficios a la vez. Sin embargo, si se deseara utilizar otro tipo de acabado sería posible aplicarlo, ya que habría nervios a cada metro que permitirían su fácil instalación.

- Este sistema de cubierta ofrece un proceso constructivo alternativo que mejora y facilita su fabricación debido a que los elementos que lo conforman serían fabricados en suelo firme y su montaje se podría realizar de manera práctica, ofreciendo una ventaja frente a una losa de concreto empleada como cubierta. El colado de la capa superior se haría de manera convencional aunque con facilidad debido a su delgado espesor, ya que se evitaría el uso de cimbra, mejorando así la comodidad del trabajo de las personas encargadas de llevarlo a cabo.

## CONCLUSIONES

La observación de las características de un modelo experimental de vivienda de interés social propuesta en México despertó en Colombia el interés de investigar con mayor profundidad algunos elementos que lo componen, para evaluar la posibilidad de emplearlos en diversas tareas iguales y diferentes a la inicialmente propuesta. Por ello, puede decirse que se cumplieron las expectativas con los experimentos realizados con los elementos prefabricados Domotej, puesto que se garantiza un buen comportamiento de éstos dentro del sistema de cubierta aplicado a viviendas aún localizadas en zonas de alta amenaza por fenómenos naturales; no obstante, el tema debe seguir siendo investigado para explorar alternativas constructivas que podrían surgir para adaptarse a otras aplicaciones, como entresijos.

## AGRADECIMIENTOS

Se hace un reconocimiento a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (Faunach) por permitir realizar procesos de investigación dentro de su organización, en especial al Cuerpo Académico Componentes y Condicionantes de la vivienda (Cocovi) y al Sistema de Investigación SIINV-UNACH; así mismo, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por ofrecer su apoyo tanto en recursos físicos como académicos durante la realización de la misma.

## REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1998). Normas colombianas de diseño y construcción sísmo-resistente (NSR-98). Títulos A, B, C, E, F y H.
- Castañeda, G.; Quiroa, J. y Vecchia, F. (2007). Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales, *Revista Tecnología y Localizándose* 22-II, 9-13.
- Castañeda, G. y Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 11-2, 21-30.
- Castañeda, G. y Vecchia, F. (2006). Tecnología y construcción, Comportamiento térmico de un sistema de techo alternativo para vivienda social en Tuxtla Gutiérrez, Facultad de Arquitectura, UNACH, *Tecnología y Construcción*, 22-III, 43-49.
- Castañeda, G. (2008). Adaptação tecnológica para teto de habitação social: Estudo de caso em Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Tesis Doctoral, Universidad de San Pablo.
- Centro Nacional de Huracanes y Centro de Huracanes del Pacífico Central. (2007). Consulta: 23 de octubre de 2007, <http://www.nhc.noaa.gov/satellite.shtml>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2007). Sistema integral de riesgos de desastres en México, Dirección nacional de protección civil, Atlas de peligros en el estado de Chiapas.
- Daughters, R.D. (2003). Programa de vivienda de interés social, Banco Interamericano de Desarrollo, Colombia.
- IndexMundi. (2008). Colombia, México (Consulta: 14 de octubre de 2008) [http://indexmundi.com/es/colombia/tasa\\_de\\_crecimiento.html](http://indexmundi.com/es/colombia/tasa_de_crecimiento.html) [http://indexmundi.com/es/mexico/tasa\\_de\\_crecimiento.html](http://indexmundi.com/es/mexico/tasa_de_crecimiento.html)
- Meli, R. (2005). Experiencias en México sobre reducción de vulnerabilidad de edificaciones para vivienda, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Normas técnicas complementarias sobre el criterio y acciones para el diseño estructural de edificaciones (NTC-RCDF). (2004). Diseño de cimentaciones, por viento, por sismo y de estructuras metálicas del reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Pérez, E. (2008). Análisis de vulnerabilidad frente a fuerzas externas de un nuevo modelo de vivienda social, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Consulta: 11 de octubre de 2008, en <http://ehyner84.blogdiario.com/>