

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN SISTEMA DE TECHOS PARA VIVIENDA SOCIAL

DESIGN, CONSTRUCTION SOCIAL HOUSING AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A SYSTEM OF CEILING FOR

Autores: Valentín J. Morales Domínguez

Rafael Alavez Ramírez

Margarito Ortiz Guzmán

Institución: Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario
de Investigación para el Regional Unidad Oaxaca.Desarrollo Integral

Correo electrónico: valentinmd@yahoo.com.mx

RESUMEN

El sistema de techo consistió en la elaboración de componentes constructivos prefabricados híbridos de mortero armado y suelo que ofrecen resistencia mecánica para la construcción de techos para vivienda social. Se diseñó un componente sección «C», de 0.50 m x 3.00 m x 0.025 m. Para la caracterización de la resistencia a la flexión de las canaletas de mortero armado se utilizó un marco equipado con un cilindro hidráulico de acción doble con capacidad de carga de 50 toneladas y 11.8 pulgadas de carrera. También se realizó un análisis mediante elemento finito utilizando el software SAP2000, para esto, se tomó el mejor resultado experimental de los componentes ensayados. Con los resultados obtenidos de la resistencia la flexión, se concluye que el mejor comportamiento de los componentes evaluados, fue cuando se emplearon cuatro varillas de 3/8 de diámetro como refuerzo en los patines, dos en cada patín, colocados en la parte inferior y superior y como armado general malla electrosoldada del tipo 6x6 8/8. Mediante el análisis con elemento finito se puede entender que la estructura de la canaleta propuesta como losa, se comporta como una viga de alma abierta, cuando la carga es aplicada sobre los tímpanos.

Palabras clave: Diseño, Componente constructivo, Resistencia mecánica, Elemento finito.

ABSTRACT

The roof system consisted of the elaboration of prefabricated hybrid components of reinforced mortar and floor, which offer mechanical resistance for the construction of ceilings for social housing. A section «C» component was designed, 0.50 m x 3.00 m x 0.025 m. For the characterization of the flexural strength of the reinforced mortar gutters, a loading frame equipped with a hydraulic double action cylinder with capacity of 50 tons and 11.8 inches of stroke was used. A finite element analysis was also performed using the SAP2000 software. For this purpose, The best experimental result of the components tested was used. With the results obtained from the flexural strength, it is concluded that the best behavior of the components evaluated, occurred when four rods of 3/8 "diameter were used as reinforcement in the ribs, two in each rib, placed at the bottom and top, and as a general armature electrowelded mesh type 6x6 8/8. Through the analysis with finite element can be understood that the structure of the proposed channel as slab behaves like an open beam, when the load is applied on the ribs.

Keywords: Design, Construction component, Mechanical strength, Finite element.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades termofísicas en materiales de construcción son un factor muy importante para minimizar las ganancias térmicas por radiación o conducción o bien para almacenar la energía térmica proveniente de la bóveda celeste y obtener condiciones de confort térmico, así como ahorro de energía.

Fatiha (2003), considera que los edificios deben ser diseñados para tener alta inercia térmica para obtener una temperatura ambiente cómoda, pero la inercia térmica depende de intervalo de tiempo y el factor de reducción que a su vez dependen de una compleja interacción de la densidad del material, la capacidad de calor específico y conductividad térmica.

El suelo, se ha utilizado desde que el hombre aprendió a construir casas y ciudades hace más de 10,000 años, el suelo sin duda ha sido uno de los materiales más ampliamente usados en el mundo. Se estima que más de una tercera parte vive en una casa construida con suelo. Dentro de la tradición de la construcción con suelo a nivel mundial se reconocen 12 métodos de construcción con suelo (Houben y Hubert, 1984).

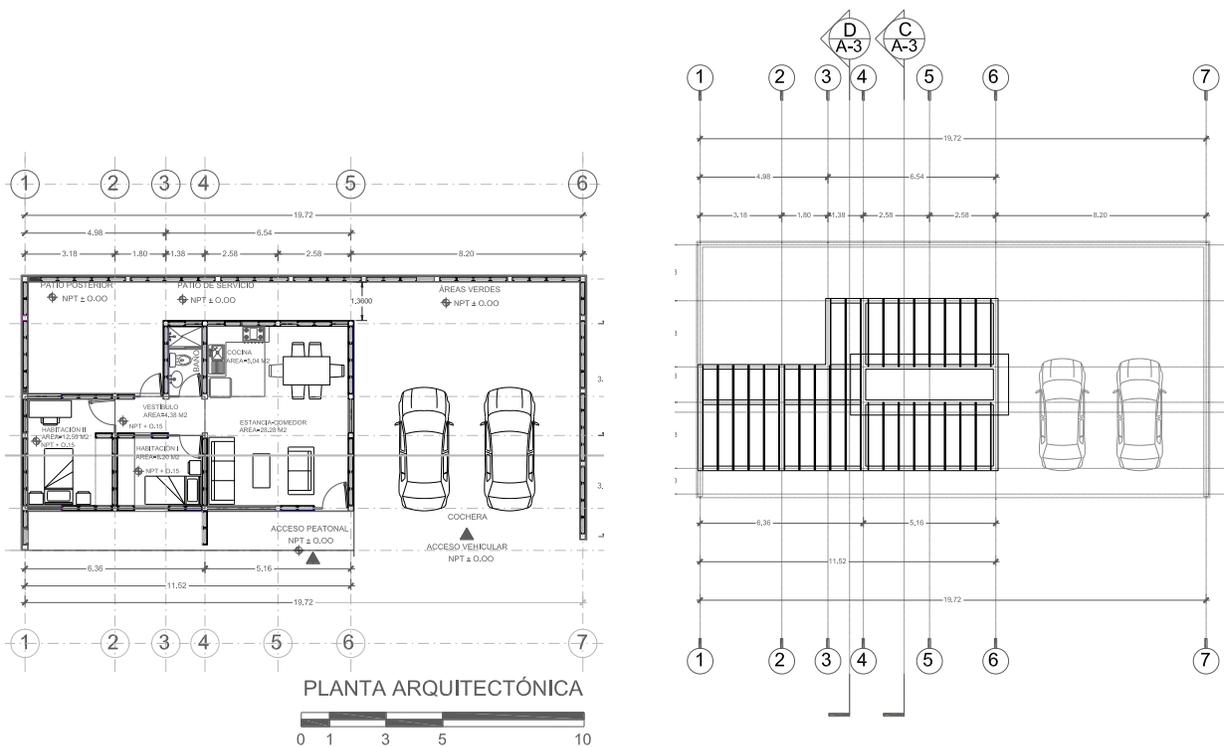
Freda et. al (2011), Realizaron un estudio en campo para evaluar los beneficios de techumbres sin aislamiento y con aislamiento. Para evaluar dichos beneficios se construyeron dos cámaras idénticas con dimensiones de 4m x 4m x 3m. Ambas cámaras de pruebas tienen diseños idénticos y la envolvente se construyó con materiales convencionales. Los resultados indican que el aislamiento del techo reduce la temperatura interior durante el día hasta 8°C. Salah (2011). Evaluó el efecto de la radiación solar de techumbres verdes para tal efecto se utilizó un modelo termodinámico así mismo caracterizó las propiedades termofísicas de las techumbres en cámaras experimentales. El modelo propuesto se basa en la ecuación de balance de energía. Los resultados de la simulación mostraron que el uso de la vegetación en techumbres mejora no solo las condiciones de confort térmico si no también el desempeño de energía de una edificación.

Con la finalidad de construir una estructura de techo que soporte elementos aislantes, se construyeron canaletas tipo «C» de mortero armado con distintos arreglos en su armado de acero para su evaluación mecánica y cuyos resultados se reportan en el presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del componente constructivo del sistema de techo

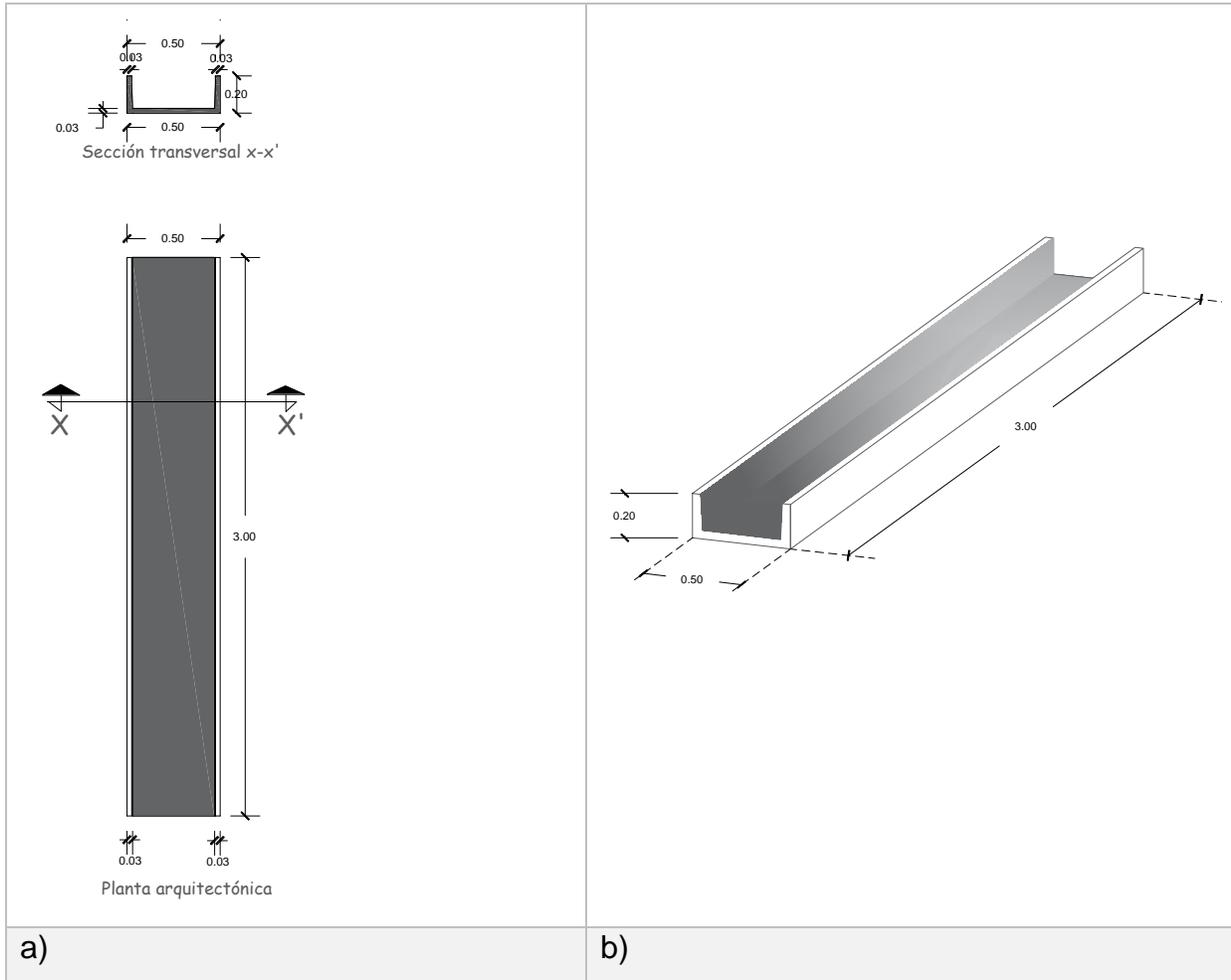
Para el diseño del componente constructivo del sistema de techo de una vivienda, se consideró el diseño de una vivienda modular donde el sistema de techo está diseñado con canaletas prefabricadas modulares. Se muestra la planta arquitectónica del prototipo de vivienda (Figura 1) y la planta estructural del sistema de canaletas prefabricadas (Figura 2).



Figuras 1 y 2. Planta arquitectónica y estructural del prototipo de vivienda.

La figura 3 muestra el diseño del componente cuyas dimensiones son de 3 m de largo por 50 cm de ancho y un peralte en los patines de 20 cm. Es un elemento prefabricado sección canal con un peralte de 20 cm, que permitirá el vaciado de suelo estabilizado dentro de él, con el propósito de ayudar al amortiguamiento térmico y disminución de las temperaturas internas en las viviendas.

Para la construcción del sistema de techo prefabricado se diseñó y construyó una cimbra metálica con estructura de cuadrados de $\frac{1}{4}$ " y lámina metálica de 3 mm. La figura 4 muestra la planta arquitectónica y sección transversal de la cimbra del componente para losa. La cimbra está constituida por tres partes: La base, y los dos bastidores periféricos que sirven para el colado de los patines del componente.



Lamina metálica de 3mm.

Estructura interior de la cimbra
 A base de cuadrados de $\frac{1}{4}$ "

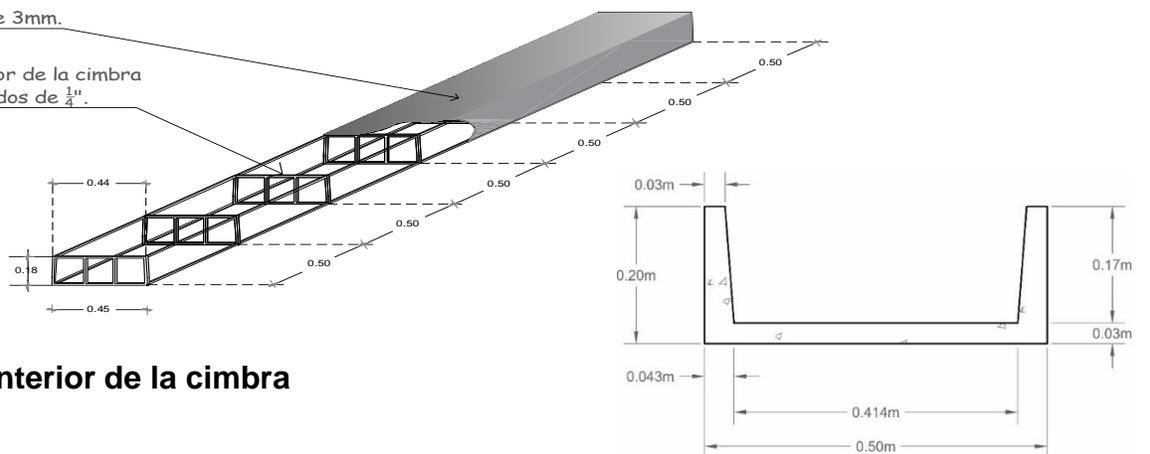


Figura 3. a) Planta arquitectónica, b) Vista isométrica de la canaleta

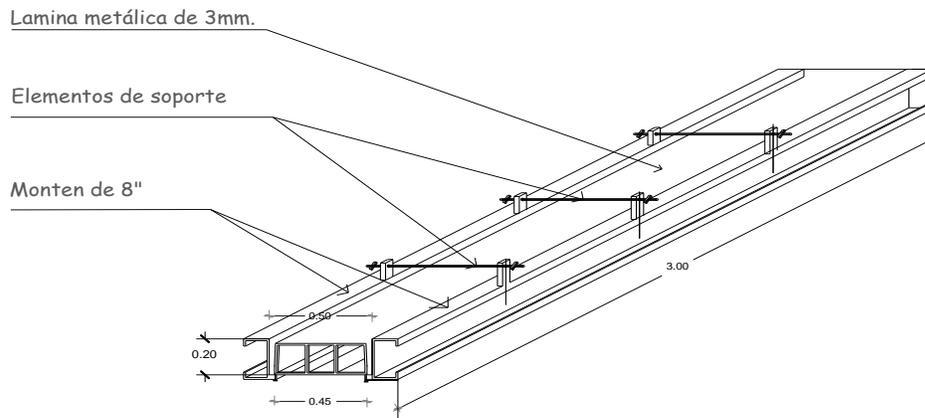


Figura 4 Planta arquitectónica y sección de la cimbra para la elaboración de placas.

Caracterización mecánica

Para llevar a cabo la caracterización mecánica se propusieron diferentes tipos de armado de refuerzo con los cuales se construyeron siete especímenes para ensayarlos a la flexión. Lo anterior tuvo el propósito de conocer el comportamiento estructural de cada uno de los diferentes componentes ante las diferentes cargas de servicio y actuantes sobre ellas, en particular cuando se coloque la capa aislante, la cual se propone con un colado de tierra aligerada con aserrín.

La tabla 1 muestra los siete casos de especímenes construidos con sus diferentes armados, así como las consideraciones que se realizaron para la aplicación de las cargas tanto al centro del componente como en sus patines.

Caso	No. de varillas de 3/8" de diámetro, en patines	Malla electrosoldada 6x6		Carga sobre losa	Carga sobre patines
		10/10	8/8		
1	4	X		X	
2	2	X		X	
3	4		X	X	
4	0	X		X	

5	4	X			X
6	4		X		X
7	0	X			X

Tabla 1. Armado de especímenes y condiciones de carga en la prueba de flexión

En general el armado de los componentes para el sistema losa se reforzaron con mallas electrosoldadas de calibres 6x6 10/10 y 6x6 8/8, así como con varillas de 3/8", en la zona de patines.

La figura 5 muestra el proceso de construcción de las canaletas, las cuales fueron coladas utilizando un vibrador. Para el colado se empleó una mezcla de mortero cemento arena 1:3.



Figura 5. Proceso de elaboración del componente canaletas.

Para realizar las pruebas mecánicas se revisó la Norma Mexicana NMX-C-405-1997-ONNCCE que corresponde a «Industria de la Construcción-Paneles para uso estructural en muros, techos y entrepisos». La cual, de acuerdo a la clasificación de dicha norma el componente diseñado corresponde a una clasificación TIPO II. Por lo anterior, se diseñó la prueba de resistencia a la flexión para el componente en estudio que debe de cumplir lo siguiente: «Los paneles estructurales TIPO II así como sus uniones, deben resistir las cargas totales de diseño (cargas de servicio multiplicadas por el factor de carga correspondiente) aplicadas perpendicularmente al plano de la losa, sin rebasar una flecha de $L/360$, donde L es la longitud del claro mayor y recuperarse de su deformación al

retirar la carga». Para la caracterización de la resistencia a la flexión de las canaletas de mortero armado que conforman el sistema de losa se utilizó un marco de carga construido por el área de mecánica del CIIDIR IPN Unidad Oaxaca equipado con un cilindro hidráulico de acción doble con capacidad de carga de 50 toneladas y 11.8 pulgadas de carrera.

Los especímenes de ensaye se construyeron de acuerdo a las especificaciones de diseño. Se colocó el componente de losa en posición horizontal sobre cuatro postes de acero, de tal manera que los extremos de este espécimen quedaran libremente apoyados. Se habilitó un micrómetro en la parte inferior de la pieza para medir la deformación en su centro geométrico, utilizando un pedestal rígido para soportarlo. Se aplicó la carga con un dispositivo hidráulico y un marco de carga sobre el espécimen hasta llegar a la carga total que por área debería soportar el mismo. Se registraron las deformaciones obtenidas al final de la aplicación de la carga total. El mismo procedimiento se realizó para determinar la carga que soportaban los patines en cada una de las diferentes probetas con sus diferentes armados.

Las figuras 6a, 6 b, muestran el acondicionamiento de los especímenes para aplicar las cargas de soporte en la parte media, así como en los patines.

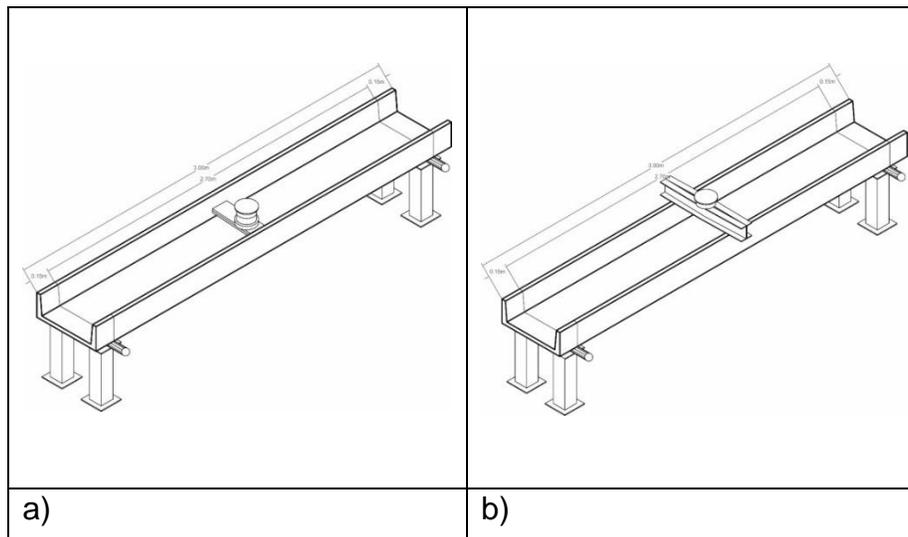


Figura 6. a) Aplicación de la carga concentrada sobre la losa de la placa, b) Aplicación de la carga concentrada sobre el componente y sus patines.

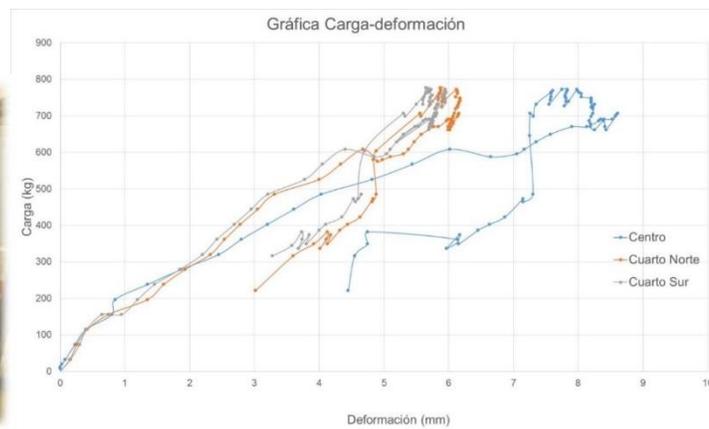
Análisis de la canaleta de losa de ferrocemento, mediante elemento finito, utilizando el software SAP2000. Con la finalidad de conocer el comportamiento mecánico de la canaleta de mortero armado utilizada en la losa se realizó un análisis mediante elemento finito utilizando el software SAP2000, para esto, se tomó el mejor resultado experimental del componente obtenido en el marco de carga del laboratorio de pruebas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización mecánica del componente constructivo para sistema de techo.

Caso 1. Aplicación de carga central en losa, componente elaborado con malla electrosoldada 6x6 10/10 y cuatro varillas de 3/8" de diámetro en los patines. En la figura 7 se muestra un detalle del arreglo del ensayo, donde se aprecia que la carga fue de tipo concentrada y se aplicó al centro del componente en la parte inferior de ésta.

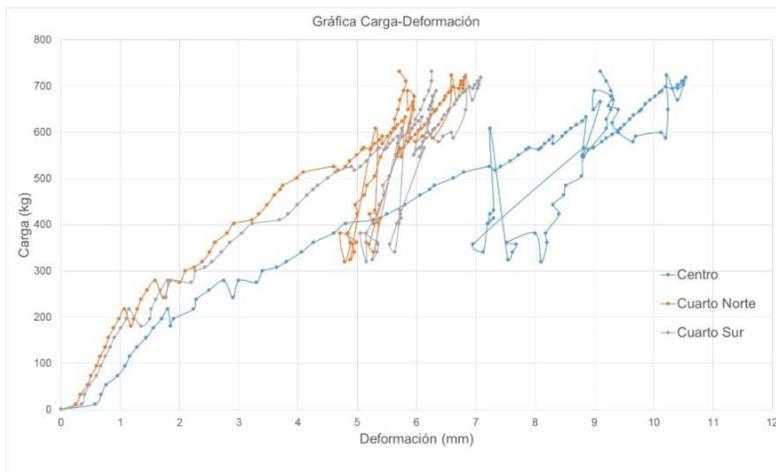
La figura 8 muestra la gráfica carga-deformación, donde se observa el comportamiento general del componente durante su ensayo, resaltando la recuperación de los patines después de la falla de la losa por el empotramiento de la placa de carga.



Figuras 7 y 8: Detalle de las fallas después de la aplicación de carga y gráfica carga-deformación del ensayo a flexión de la placa.

Caso 2. Aplicación de carga central en el componente elaborado con malla electrosoldada 6x6 10/10, y dos varillas de 3/8" de diámetro en los patines. Este ensayo

también consideró la carga concentrada al centro del componente y sobre la losa, en la figura 9 se aprecia la penetración de la placa de carga en la losa. En la figura 10 se observa la recuperación de las deformaciones cuando la losa se separa de los patines y estos tienden a recuperar su forma inicial.



Figuras 9 y 10: Detalle de la aplicación de carga concentrada sobre el componente y gráfica carga-deformación del ensayo a flexión de la placa, se aprecia la recuperación de los patines después de la falla de la losa por el empotramiento de la placa de carga.

Caso 3. Aplicación de carga central en losa del componente construido con malla electrosoldada 6x6 8/8 y cuatro varillas de 3/8" de diámetro en los patines. La carga aplicada en este caso fue también concentrada y aplicada al centro del componente y sobre la losa (figura 11). En la gráfica mostrada en la figura 12 se observan las deformaciones registradas contra las cargas aplicadas, también se aprecia tanto la recuperación de las deformaciones cuando la losa se separa de los patines y estos tienden a recuperar su forma inicial (Figura 13), lo mismo que en los cuartos de la losa como la deformación permanente (línea amarilla) observada en la zona dañada de la losa. La carga máxima registrada en este caso fue de 772 kg.



Figuras 11 y 12. Detalle general del ensayo a flexión y Gráfica donde se aprecia la recuperación de los patines y parte de la losa (no dañada) así como la deformación permanente al centro de la placa donde se empotró la placa de carga.

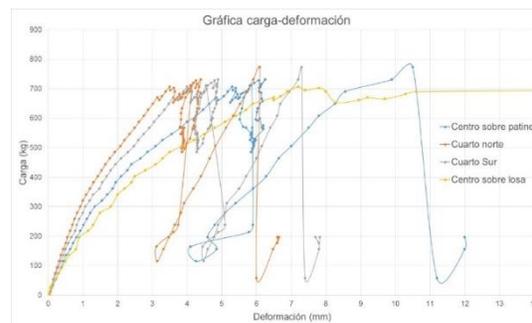
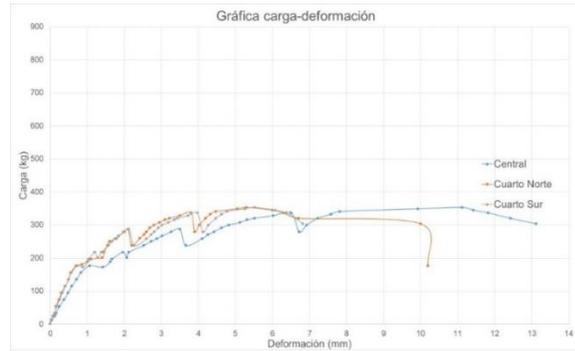


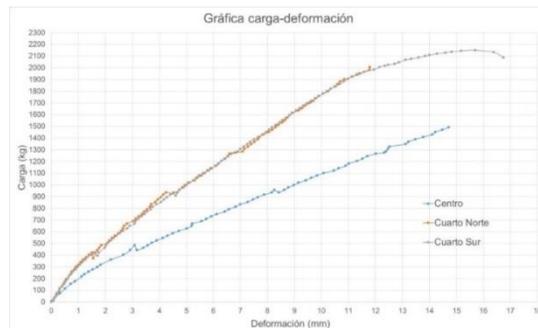
Figura 13. Detalle de la gráfica 12, donde se aprecia la recuperación de los patines y parte de la losa del componente (no dañada) en sus cuartos.

Caso 4. Aplicación de carga central en componente, placa elaborada con malla electrosoldada 6x6 10/10, sin varillas en los patines. La aplicación de la carga aplicada fue concentrada y en el centro del componente y sobre la losa. En la figura 14 se observan las grietas tanto en los patines como en la losa del componente, la falla final se dio tanto en los patines como en la losa.



Figuras 14 y 15. Detalles de la falla tanto en la losa como en los patines. Comportamiento de las deformaciones ante las cargas aplicadas sobre la losa del componente

Caso 5. Aplicación de carga sobre los patines, componente construido con malla electrosoldada 6x6 10/10, y cuatro varillas de 3/8" de diámetro en los patines. Se muestra una vista general del ensayo a flexión del componente, ésta se aplicó en su centro y sobre sus patines, en este caso la deformación central no se pudo medir por limitaciones del equipo. La figura 18 muestra detalles de las grietas y falla del componente después del ensayo, en este caso el espécimen se deformó y agrietó, pero no colapsó.



Figuras 16 y 17. Vista general del ensayo a flexión, aplicando la carga sobre los patines y comportamiento de las deformaciones.



Figuras 18: a) Detalles de las grietas y 18b) falla de la placa.

Caso 6. Aplicación de carga sobre los patines, componente construido con malla electrosoldada 6x6 8/8 y cuatro varillas de 3/8" de diámetro en los patines. La figura 19 muestra una vista general del ensayo a flexión del componente el cual se aplicó sobre los patines y al centro de la longitud del mismo, en este caso similar al anterior, la probeta se deformó y agrietó, pero no colapsó, también en este caso las deformaciones no pudieron medirse por limitaciones del equipo.

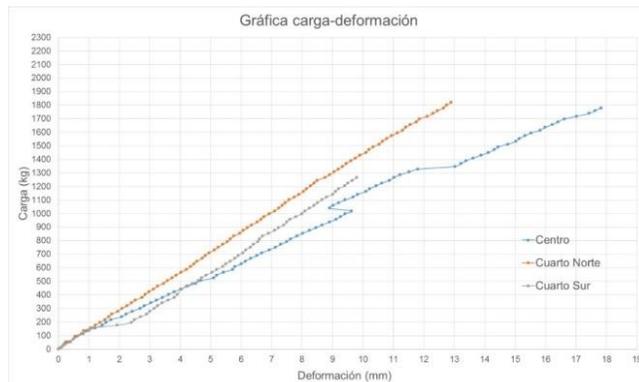
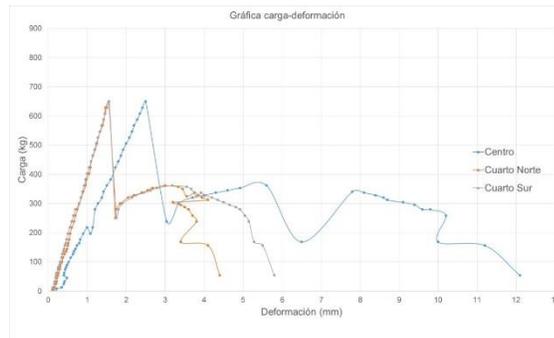


Figura 19. Vista general del ensayo a flexión, aplicando la carga sobre los patines y comportamiento de las deformaciones

Caso 7. Aplicación de carga sobre los patines, probeta elaborada con malla electrosoldada 6x6 10/10, sin varillas en los patines. La figura 20 muestra el componente después del ensayo, en este caso se observó una fractura frágil donde la placa se colapsó.



Figuras 20 y 21. Vista general del ensayo a flexión, aplicando la carga sobre los patines, se observa la ubicación de los micrómetros y detalle de la falla. Grafica carga-deformación donde se aprecia la forma abrupta de la falla y la deformación posterior debida al trabajo de los alambres de la malla electrosoldada.

Caso	No. de varillas de 3/8" de diámetro, en patines	Malla electrosoldada 6x6		Carga sobre losa	Carga sobre patines	Carga máxima (Kg)
		10/10	8/8			
1	4	X		X		772
2	2	X		X		723
3	4		X	X		772
4	0	X		X		353
5	4	X			X	2150
6	4		X		X	2117
7	0	X			X	649

Tabla 2: Armado de especímenes y condiciones de carga en la prueba de flexión.

Análisis de la canaleta de losa de ferrocemento, mediante elemento finito, utilizando el software SAP2000.

Para el análisis mediante elemento finito se realizó el modelo de canaleta de ferrocemento, para utilizarse como elementos de losa; con las dimensiones de 3.0 m de longitud; 0.5 m de ancho y 0.18 m de patines (Figura 22).

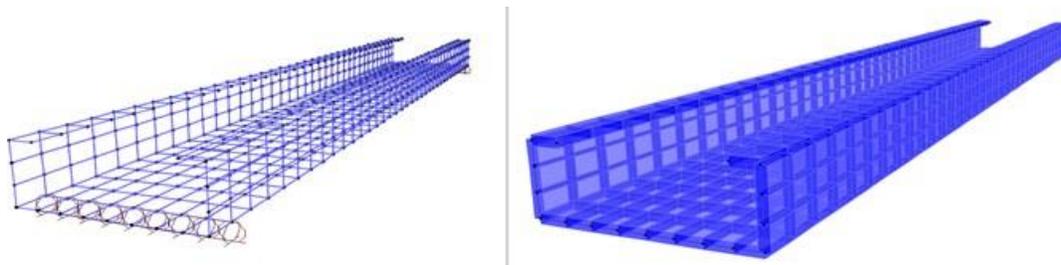


Figura 22. Modelo geométrico con elementos tipo Shell.

Las propiedades que se consideraron para el material fueron:

Módulo de elasticidad $E = 270000 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de Poisson $\nu = 0.18$

Peso volumétrico $P_v = 2096 \text{ kg/m}^3$

Los elementos en el sentido «x» tienen una relación ancho/alto de 1 /1.34 y los elementos en el sentido «Y» tienen una relación ancho/alto de 1 /1.38

El espesor que se manejó fue de 2.5 cm

Una vez realizado el modelo geométrico, se procedió a introducir la carga máxima que soportaron las muestras ensayadas en el laboratorio, la cual es de una magnitud de 2117 kg de manera gravitacional, aplicada de manera puntual al centro de una placa de frontera colocada en el eje transversal de la canaleta, apoyándose sobre el cuerpo de los patines (Figura 23).

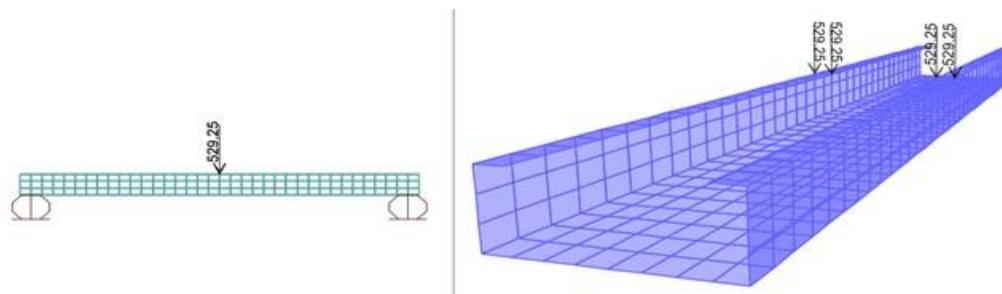


Figura 23. Aplicación de la carga puntual máxima, sobre cuerpo de los patines.

Se consideró la aplicación de la carga máxima de 2117 kg aplicada en la pestaña de los tímpanos y a la mitad de la longitud de la canaleta, como en el modelo se introduce la

carga de manera puntual actuando directamente sobre cuatro nodos, cada fuerza es de 529.25 kg.

Los desplazamientos que se generan por efecto de la carga aplicada al centro de la canaleta son de alrededor de 4 mm.

Los esfuerzos que se producen en el sentido del eje local 1, mismo que coincide con el eje «X» (S11), del punto de aplicación de la carga hacia la parte inferior de la estructura, van cambiando de magnitud, iniciándose con valores de 200 kg/cm² en compresión, hasta 63 kg/cm² en tensión, localizándose el cambio de compresiones a tensiones a 2/3 de la altura, partiendo de la zona de aplicación de la carga.

En el sentido del eje local 2, el cual coincide con el eje «Z» se presentan los esfuerzos S22, los cuales se aprecian que en las caras interiores de los tímpanos prevalecen en toda la altura, los esfuerzos de compresión, al momento de aplicar la carga en la parte superior de los tímpanos estos se desplazan hacia el interior de la canaleta, por lo tanto, en la cara exterior de los tímpanos aparecen esfuerzos de tensión, el cambio de signo para pasar de tensión a compresión y viceversa, se da a 1/8 de la longitud interior (Li) entre apoyos de la estructura.

En la figura 30 se presenta el diagrama de momentos, en el que se puede observar la zona de momento máximo, tanto en los tímpanos como en la losa o fondo de la canaleta; de acuerdo a las magnitudes de los momentos, el cambio de signo de momentos positivos con negativos, también se conserva en el rango de 1/8 de la longitud interior entre apoyos, midiéndose a partir del apoyo.

En la figura 24 se puede apreciar el estado de trabajo o de fatiga en porcentaje respecto uno de otro, los elementos que aparecen al 100%, son los que están más fatigados o esforzados. De acuerdo a las características de participación en cada uno de los elementos del modelo, se puede entender que la estructura de la canaleta propuesta como losa, se comporta como una viga de alma abierta, cuando la carga es aplicada sobre los tímpanos.

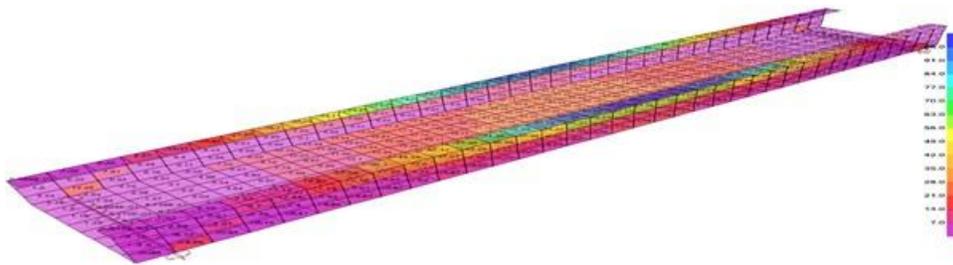


Figura 24. Diagrama de trabajo virtual de los elementos.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la caracterización mecánica se concluye que el mejor comportamiento de los componentes de losas evaluados se dio cuando se emplearon cuatro varillas de 3/8" de diámetro como refuerzo en los patines (tabla 2), dos en cada patín, colocados en la parte inferior y superior, y como armado general malla electrosoldada del tipo 6x6 8/8, aunque resistió una carga similar a la armada con malla electrosoldada 6x6 10/10, presentó menores deformaciones cuando se ensayó con carga concentrada sobre la losa. De acuerdo a las características de participación en cada uno de los elementos del modelo, se puede entender que la estructura de la canaleta propuesta como losa, se comporta como una viga de alma abierta, cuando la carga es aplicada sobre los tímpanos. En la estructura de la canaleta propuesta como losa, se observó que los elementos que se encuentran esforzados son los patines, se deben de cuidar más y con la intención de que puedan soportar cargas más grandes, se tendrían que incrementar en su espesor y en su armado.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- FATIHA, A.L.; NACER, M. Y ABD-EL-HAMID, A.: *Sauvageot H. Temperature variations in a housing of the semi-arid region of Djelfa (Algeria)*, Build Environ, 38: 511–9, 2003.
- MORRIS, F.; AHMED, A.Z. Y ZAKARIA, N.Z.: *Thermal performance of naturally ventilated test building with pitch and ceiling insulation*, In 3rd ISESEE 2011 - International Symposium and Exhibition in Sustainable Energy and Environment. (pp. 221-226), 2011.

HOUBEN, H. Y HUBERT, G.: *Earth construction, a comprehensive guide. Published by ITDG Publishing Shumacher Centre for technology and Development Bourton Hall, Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire CV23 9 QZ, UK www.itdgpublishing.or.uk/, 1984.*

EDDINE OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R.; JAFFAL, I. Y TRABELSI, A.: *Assessment of green roof thermal behavior. A coupled heat and mass transfer model, Building and environment, 46:2624-2631, 2011.*