

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PROPUESTA DE LOSA MODULAR EN ARCO PARA CASAS HABITACIÓN

STRUCTURAL DESIGN OF A MODULAR ARCHED SLAB
PROPOSAL FOR RESIDENTIAL HOUSING

Clemente Gutiérrez Moreno¹
Alejandro Clemente Chávez²
José Zirahuén Peña Campos³

^{1,2,3} *Universidad Autónoma de Querétaro, México*

¹ *clemen_1407@hotmail.com*

² *aclemente@uaq.mx*

³ *zirahuenpc@gmail.com*





RESUMEN

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el déficit actual de vivienda en México afecta aproximadamente al 34 % de la población. La explosión demográfica del país genera una demanda anual de 1 500 000 nuevas viviendas; sin embargo, no se satisface ni el 80 %, debido en gran parte al alto costo de construcción de los sistemas de techo. Este trabajo presenta un sistema de Losa Modular en Arco (LMA) para casas habitación que optimiza la firmeza estructural mediante el aprovechamiento de la ductilidad del acero, el cual mejorará el comportamiento del sistema ante cargas accidentales; todo ello está basado en criterios normativos.

Palabras clave: construcción, déficit de vivienda, estructuras, innovación, losas, optimización.

ABSTRACT

According to the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), the housing deficit in Mexico currently affects approximately 34 % of the population.

The country's population growth generates a demand for 1.5 million new households; however, not even 80 % of this demand is met, largely due to the expensiveness of building roof systems. This work presents a Modular Arched Slab (MSA) system

for residential houses that allows optimizing the structural performance by means of capitalizing on the ductility of steel to provide the system with a better behavior against accidental loads, all of it based on normative criteria.

Keywords: construction, housing deficit, structures, slabs, innovation, optimization.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía [1] reporta que el déficit actual de vivienda afecta aproximadamente al 34 % de la población. En 2012, el déficit habitacional en México era de poco más de 15 millones de viviendas [2]; actualmente, la explosión demográfica genera una demanda anual de 1 500 000 nuevas viviendas; sin embargo, no se satisface ni el 80 %. Según estudios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [3], este problema aqueja a toda América Latina y el Caribe: casi 59 millones de personas habitan una vivienda inadecuada. Las carencias de vivienda del país se agrupan en tres tipos: las privaciones de servicios básicos, el hacinamiento generalizado y la indisponibilidad de los materiales de construcción. Respecto a esta última, la mayoría de las viviendas, urbanas y rurales, está desprovista de techos de concreto, tabique, ladrillo o similares.

Una losa es una placa plana generalmente horizontal cuyas caras superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí; en las construcciones, se utilizan para extender superficies planas. Puede estar apoyada en elementos estructurales de mampostería, concreto reforzado o acero, o de forma directa sobre el terreno [4]. Este trabajo desarrolló un sistema de losa modular en arco (LMA) con la intención de enfrentar la problemática del techado, atendiendo a los criterios normativos y la practicidad económica y de construcción.

Este trabajo propone el diseño de una losa modular en arco para reducir los costos de construcción de viviendas y satisfacer la demanda de hogares cada vez más urgente.

MARCO TEÓRICO

LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA

Los sistemas de vigueta y bovedilla están constituidos por diversos elementos portantes: las viguetas de alma abierta o cerrada pretensada, las bovedillas como elementos aligerantes, las mallas electrosoldadas, las capas de compresión y el apuntalamiento provisional [5] (Figura 1). Este sistema es uno de los más utilizados en México debido su precio; no obstante, su desventaja es que depende de elementos prefabricados, de un exceso de mano de obra para su preparación y los acabados a menudo presentan agrietamientos en la unión de viguetas y bovedillas. [6] y [7] ensayaron sistemas de este tipo para evaluar su optimización y encontraron que, en condiciones reales, están expuestos a cargas mucho mayores que la reglamentada; por tal motivo, se podría diseñar un sistema optimizado que sustituya a este modelo, pues es muy popular y utilizado en la actualidad.

LOSA MACIZA DE CONCRETO

Una losa de esta especie es un elemento plano, con sus superficies principales muy cercanas entre sí, conformada por concreto hidráulico y acero de refuerzo. Los inconvenientes de este sistema son su peso, necesidad de cimbra, la frecuencia de deflexiones en claros de más de 4 m y la cuantiosa mano de obra; además, dichos aspectos elevan el costo.

Este tipo de losa se elabora a base de una retícula de bloques huecos o sólidos; el espacio entre estos se rellena con concreto reforzado colado en el lugar [10] (Figura 3). Constituye un sistema de gran eficiencia estructural para

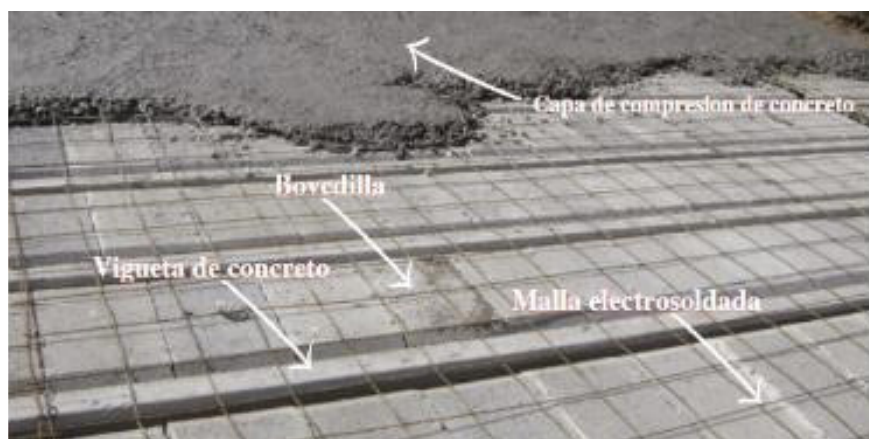


Figura 1. Sistema Vigueta y Bovedilla.

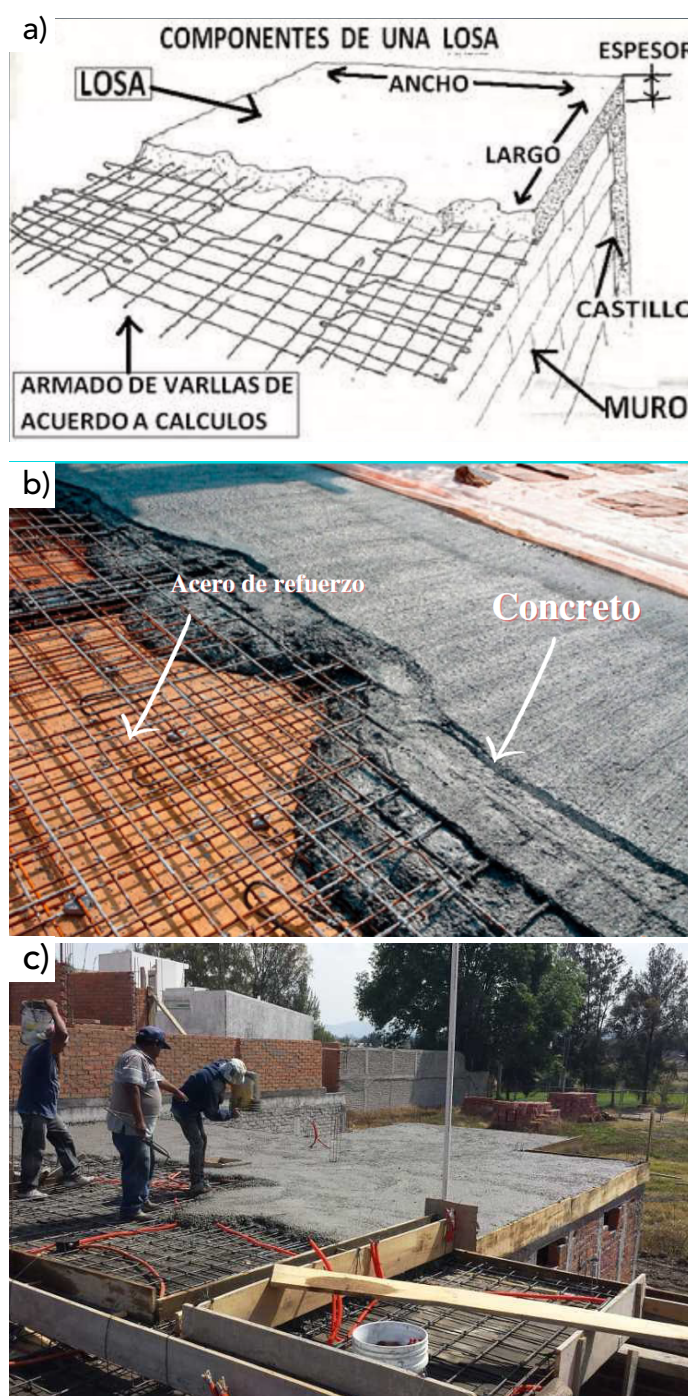


Figura 2. Losa maciza de concreto armado a) [8]; b) y c) [9]. Losa nervada o reticular.



Figura 3. Losa reticular.

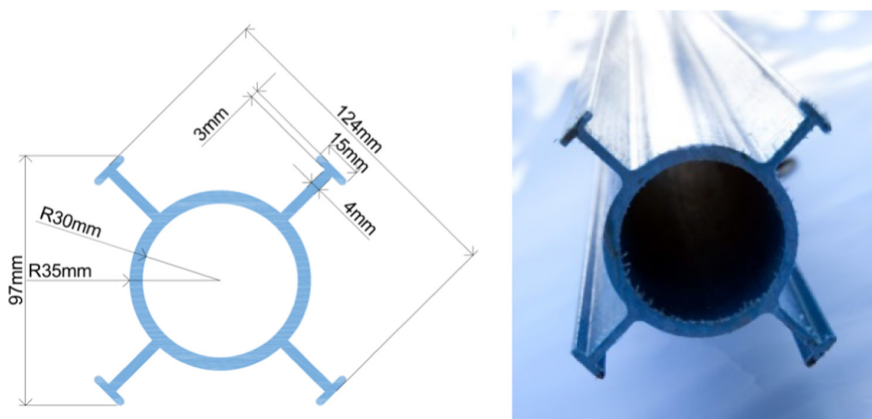


Figura 4. Tubo hueco de acero [12].

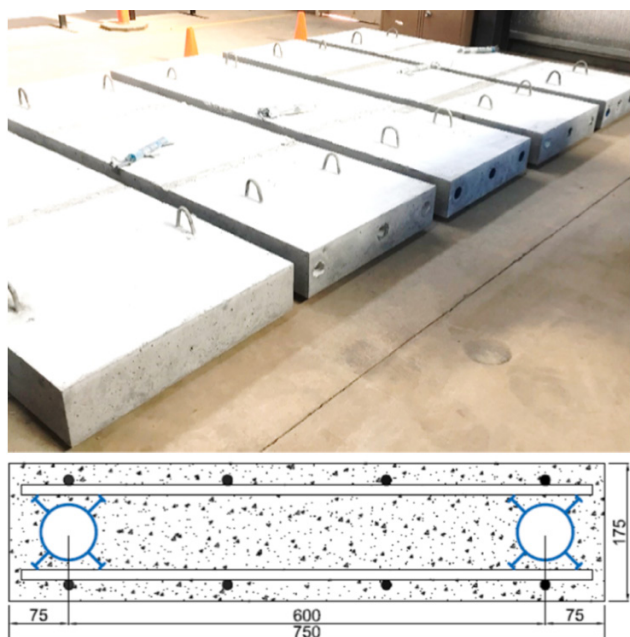


Figura 5. Sistema de refuerzo compuesto con tubos huecos [12].

cubrir claros amplios. Por otra parte, su proceso constructivo es mucho más costoso que las alternativas anteriores listadas para casas habitación, debido a los casetones y la mano de obra.

Con respecto a estos dos últimos sistemas, en el trabajo de Lee et al. [11], se probaron diferentes dosificaciones de los componentes para losas y vigas de mortero ligero reforzado, cuidando que el peso volumétrico de los morteros estuviera en el rango entre 1600 y 1800 kilogramos por metro cúbico. Los resultados ante las condiciones de carga preestablecidas fueron aceptables; además, se encontró un método de falla similar al del concreto reforzado. En suma, la optimización de sistemas de losas de entrepiso es de interés para la investigación en la actualidad.

SISTEMA DE REFUERZO COMPUESTO CON TUBOS HUECOS (HOLLOW CRS)

Este sistema australiano busca disminuir la cantidad de concreto utilizado en la losa mediante un tubo de acero hueco que, además de aligerar el elemento, lo refuerza [12] (Figura 4).

El sistema probado es modular y prefabricado (Figura 5). Se aumentó la capacidad de carga del sistema en un 112 % y la rigidez en un 24 % en comparación con una losa maciza de concreto reforzado. Asimismo, se observó que estos tubos de refuerzo modifican la dirección de las grietas, alargando el punto de falla.

Al-Rubaye et al. [13] desarrollaron un sistema similar, donde se utilizan los mismos elementos, solo que los tubos están hechos de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP, por sus siglas en inglés). Este logró reducir en 9 %

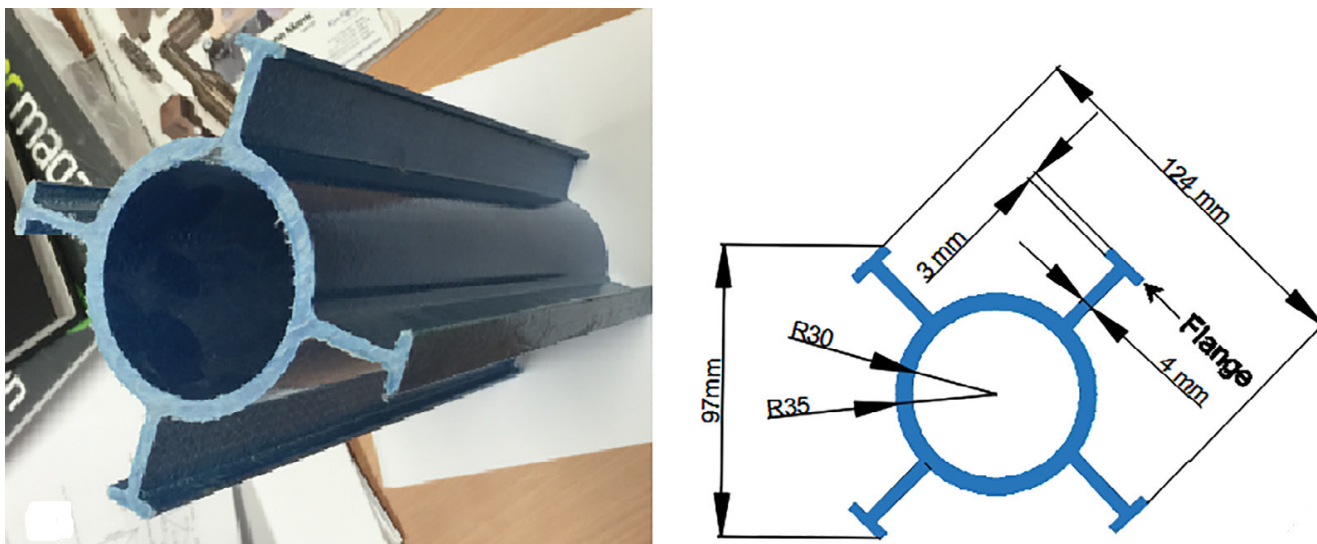


Figura 6. Tubo de polímero reforzado con fibra de vidrio [13].

el peso respecto a la losa maciza de concreto, incrementar la rigidez un 33 %, disminuir en un 24 % la pérdida de rigidez tras el agrietamiento del concreto y fortalecer la capacidad de carga en un 45 %. En la figura 6 podemos ver un ejemplo del tubo de polímero reforzado con fibra de vidrio; este material fue elegido debido a la similitud de su módulo de elasticidad con respecto al del acero.

LOSA CON VIGUETAS C DE METAL ROLADO EN FRÍO

Está formado por una capa de concreto sostenida por viguetas de acero rolado en frío tipo C (Figura 7). [14] probó diferentes muestras variando los conectores de cortante y el espesor del perfil tipo C en busca del mejor rendimiento ante las condiciones de carga de las normas correspondientes.

El objetivo de este trabajo fue comparar la manera en que se transmite la fuerza cortante entre los elementos de acero y el concreto, con diferentes disposiciones de los pernos de cortante. El resultado ofrece una comparación entre los diferentes especímenes, pero podemos destacar que varios

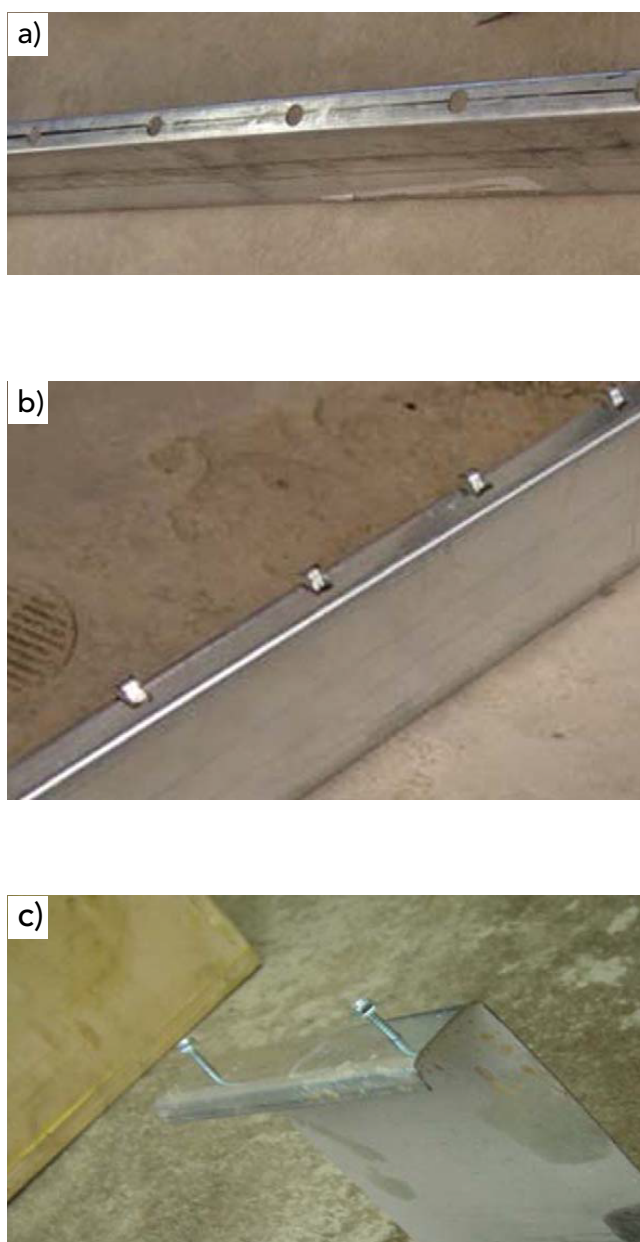
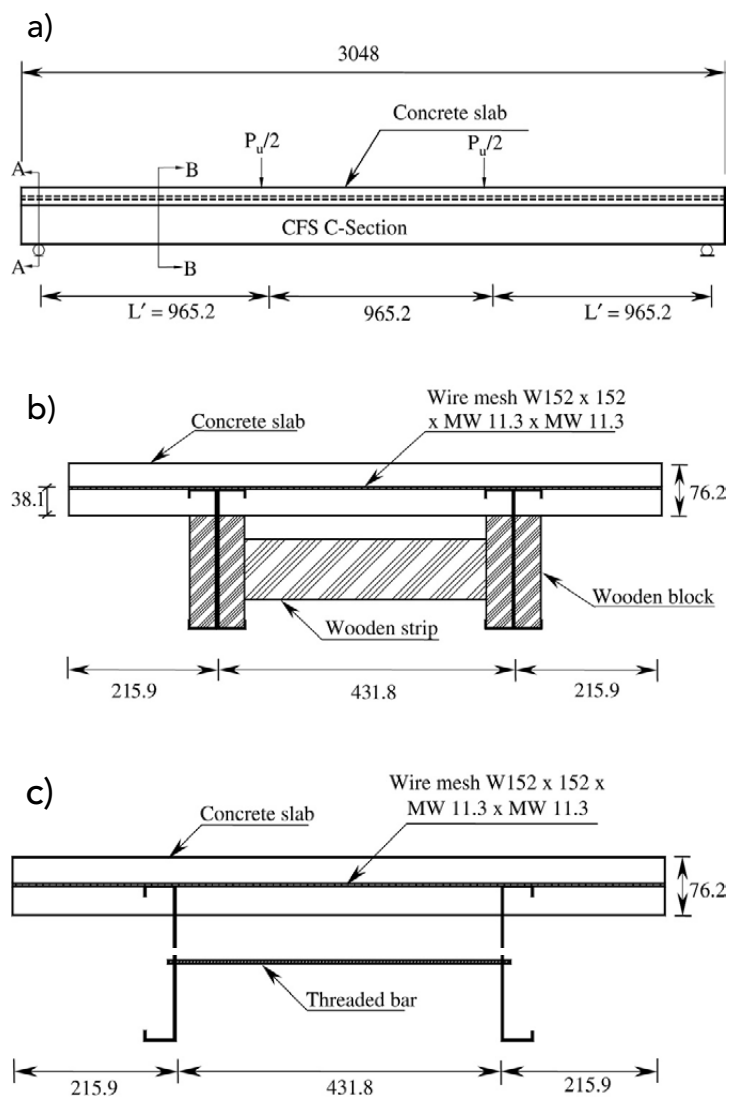


Figura 7. a) Agujeros preperforados, b) Tornillos auto perforantes, c) Pestañas prefabricadas dobladas.



, Figura 8. a) Alzado de muestra a escala real, b) Sección A-A, c) Sección B-B' [14].



Figura 9. Prueba de muestra a escala real [14].

sistemas de losa de entrepiso se encuentran en desarrollo.

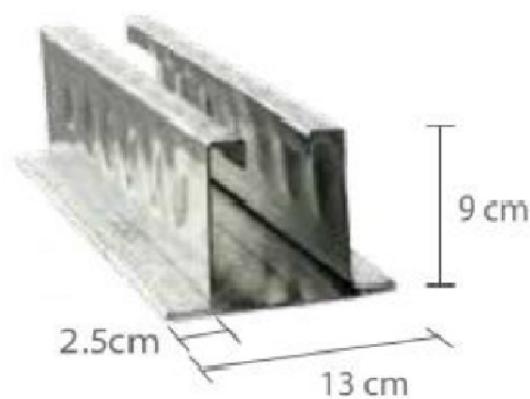
VIGACERO®

Creado en Perú en el 2014, es un ágil sistema de techo aligerado conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido (EPS) de alta densidad. Su objetivo es emplear el poliestireno expandido de alta densidad para minimizar la cantidad de concreto y, en consecuencia, el peso de la losa [15].

Rivera Granados [16] realizó un ensayo a una losa de este tipo, donde se destaca una carga de rotura igual a 34 kilonewtons. Además, se modeló el sistema VIGACERO junto con uno convencional de viguetas de concreto en el software ETABS 2016; los resultados se muestran en la Figura 10. La comparación de estos datos con los parámetros estipulados por el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú (RNE 2009) conduce a pensar que el sistema llegaría a fallar a causa de los momentos flexionantes actuantes sobre él [17].

El Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú indica que para el diseño de estructuras con sistema VIGACERO solo hay que agregar un factor de reducción al momento nominal. En el caso del cortante vertical, el diseño se hará como si se tratara de un elemento monolítico de la misma sección transversal [18]. Ninguno de los sistemas presenta ficha técnica sobre la eficiencia ni el comportamiento y modo de falla.

Por lo mencionado anteriormente, para promover el desarrollo de nuevos sistemas estructurales



a) sistema VIGACERO® b) viga de acero galvanizado [15].

Tabla 1. Resultados de modelación en ETABS 2016 del sistema VIGACERO [17]

RESUMEN DE RESULTADOS			
VIGACERO		CONVENCIONAL	
DEFLEXIÓN			
RNE 0.0086	Resul. 0.0175	RNE 0.0086	Resul. 0.0065
20.35 %		7.56 %	
MOMENTOS			
ØMn	Mu	ØMn	Mu
0.72	0.1204	0.252	0.0915
13.09 %		36.31 %	
CORTANTES			
ØVn	Vu	ØVn	Vu
0.98	0.3092	1.04	0.2119
31.55 %		20.38 %	

para la vivienda en los últimos años, la UAQ ha invertido en la investigación de tecnologías para la construcción de vivienda (p. ej., creación del centro de tecnologías para la vivienda CETEVI 2017-2020) a la par con algunos trabajos desarrollados en sistemas de losa [7], [19].

La propuesta de LMA se sustenta en las siguientes características:

- Modulable
- Estructuralmente eficiente
- Fácil y rápidamente ejecutable
- Económico
- Fabricado con materiales comerciales
- Ligero
- Prefabricado
- Montable sin maquinaria pesada
- Armable sin mano de obra ni equipo especializados
- Dúctil antes del colapso.

METODOLOGÍA

El diseño del sistema LMA está enfocado a casas habitación cuyos claros libres más grandes son en promedio de 3.5 m de centro a centro. La geometría propuesta se muestra en la Tabla 1; se aprecia que está constituida de perfiles de acero PTR de 1" × 1", redondo liso de 1/4" y varillas de 3/8".

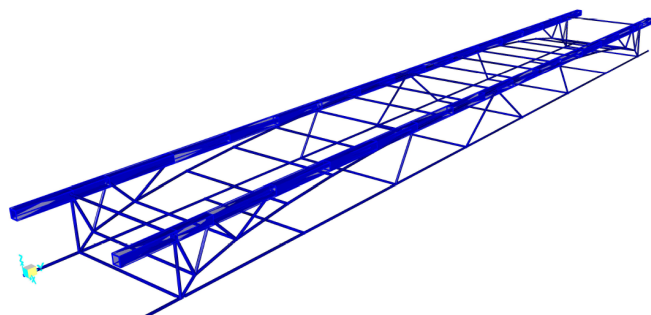
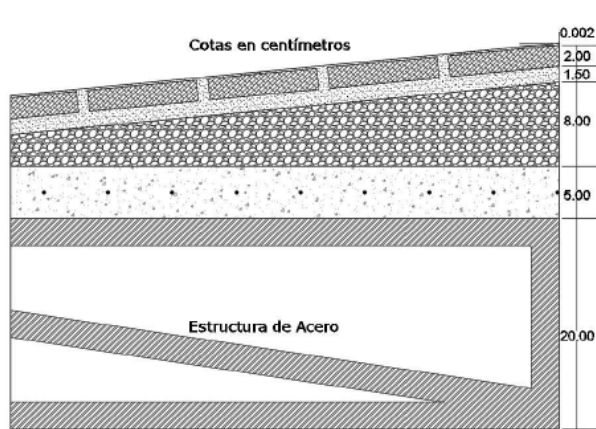


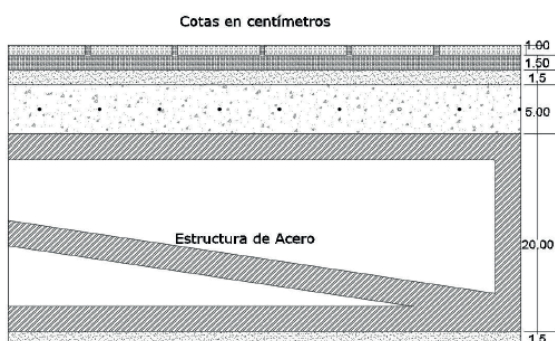
Figura 11. Propuesta de módulo para losa.

Los estados de cargas a soportar en el sistema LMA utilizados para modelar el sistema aparecen en las Figuras 12 y 13.



ESTADO DE CARGAS LOSA AZOTEAS			
ELEMENTO	ESPESOR (M)	KG/M	KG/M
Impermeabilizante			5
Ladrillo	0.02	1500	30
Mortero	0.015	2100	32
Enrollado tezontle	0.08	1600	128
Capa compresión concreto	0.011	2400	264
Armadura módulo	0.2		28
Mortero aplanado	0.02	2100	42
Aumentos por reglamento: capa superior			20
Aumentos por reglamento: capa inferior			20
		CM	569
		CM MAX	100

Figura 12. Estado de cargas de la losa de azotea.



ESTADO DE CARGAS LOSA ENTREPISO			
ELEMENTO	ESPESOR (M)	KG/M ³	KG/M ²
Loseta cerámica	0.01	2300	23
Pegapiso	0.015	2100	32
Mortero	0.015	2100	32
Capa de compresión de concreto	0.11	2400	264
Armadura del módulo	0.2		28
Mortero de aplanado	0.02	2100	42
Aumentos por reglamento: capa superior			20
Aumentos por reglamento: capa inferior			20
		CM	460.4243829
		CM MAX	190
Combinación 1.3 cm + 1.5 cv			884

Figura 13. Estado de cargas de la losa de entrepiso.

La modelación para el análisis estructural se hizo en Structural Analysis Program SAP2000, como se muestra en la Figura 14. Tras la modelación, se validó experimentalmente bajo la norma NMX-C-406-ONNCCCE-2019 [20], "Componentes estructurales, prefabricados de concreto para sistemas de losas, especificaciones y métodos de ensayo" y prescribe los siguientes ensayos:

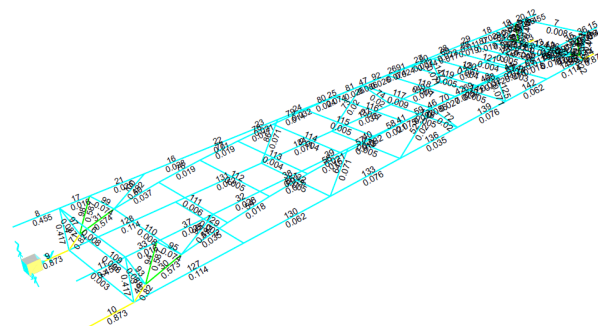


Figura 14. Modelo en SAP2000.

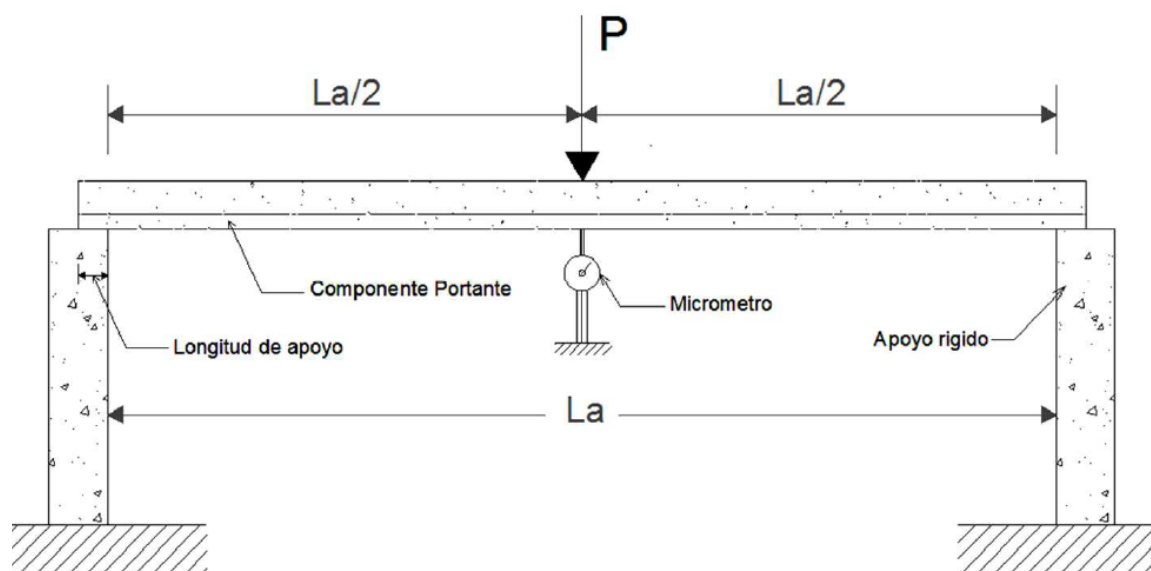


Figura 15. Esquema de la prueba "Resistencia del componente estructural" [20].

El primero, denominado "Resistencia del componente estructural", consiste en colocar una carga puntual máxima (P), aplicada al centro del claro libre del elemento estructural (Figura 15). La carga puntual aplicada debe generar un momento equivalente a la suma de la carga muerta de colado más una carga viva de 100 kilogramos por metro cuadrado [20]. La carga puntual máxima que se aplicará al elemento estructural está dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{e(w_m + w_v)L_a}{2}$$

P = Carga puntual máxima (kg)

e = Distancia entre ejes de vigueta (m)

w_m = Carga muerta de colado en sitio (kg/m^2)

w_v = 100 kg/m^2 (carga viva del colado)

L_a = Longitud de autoportancia del componente portante (m)

El segundo ensayo se denomina "Deformación y carga máxima de la losa". La carga de servicio mínima utilizada debe ser de 350 kg/m^2 , pero puede aumentarse a solicitud del fabricante. La carga distribuida de servicio aplicada, así como la carga última que se aplicó en el ensayo, debe aparecer en el certificado otorgado, o anexo a este. La carga se aplica verticalmente con una distribución uniforme sobre la superficie de la probeta. Se pueden aplicar varios pasos de carga, pero es importante que uno de ellos corresponda a la carga de servicio mínima y el último paso corresponda a la carga de servicio aumentada (1.4:

+ 0.3 de peso propio) la cual representa la carga última. Para el registro o medición de los desplazamientos, debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Se toman lecturas nuevamente 24 h después de terminar de aplicar la carga total y al descargar totalmente el sistema [15].

Realizadas las pruebas, se procede a la captura y caracterización de los datos, para después analizarlos, compararlos y brindar los resultados definitivos.

Los estándares normativos para validación del sistema LMA son:

Tabla 2. Estándares normativos para la validación del sistema.

ENSAYE	RESULTADOS ESPERADOS
Resistencia del componente estructural	Deflexión máxima: $L_a/300 = 11.6 \text{ mm}$
Deformación y carga máxima de la losa	Deflexión máxima: $L/360 = 9.7 \text{ mm}$
Deformación y carga máxima de la losa con carga de servicio aumentada	Se permiten deflexiones mayores a $L/360$ y grietas, pero sin llegar al colapso



DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El análisis en SAP2000 muestra que la deformación es la condición que rige el diseño para su aprobación en eficiencia estructural; es decir, lo que conocemos como deflexión permisible. La deflexión máxima obtenida es de 3.1 milímetros en condiciones de servicio, mucho menor comparada con la normativa que indica una deflexión máxima de 9 mm; sin embargo, el software emite solo deflexiones inmediatas: en el ensaye se medirá la parte complementaria de deflexiones diferidas. También se muestra en la Figura 7 que los elementos más esforzados se encuentran en los extremos cerca de los apoyos, en los cuales se espera tener mayor atención tanto en la modelación como en el ensaye real.

CONCLUSIONES

La modelación en SAP muestra una deflexión de 3 mm, menor que la permisible dictada por la norma de 9mm; por tal razón, se considera que el criterio es aceptable en la primera etapa de modelación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] SEDATU. "Programa Nacional De Vivienda 2014-2018", Ciudad de México, 2014.
- [2] BID, *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*,

Washington, D.C.: Pórtico Bookstore, 2012.

- [3] M. Loosemore, "Construction Innovation: Fifth Generation Perspective", American Society of Civil Engineers, San Diego, 2015.
- [4] J. Z. P. Campos. "Diseño estructural, construcción y ensaye de propuesta de tridilosa modular para casas habitación", Universidad Autónoma de Querétaro, 2021.
- [5] S. H. Fernández, "Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España", Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1990.
- [6] O. M. G. Cuevas. *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*, México: Limusa, 2005.
- [7] ONNCCE. "Industria de la Construcción – Componentes Estructurales Prefabricados de Concreto para Sistemas de Losas – Especificaciones y Métodos de Ensayo", Ciudad de México, 2019.
- [8] ONU. "Ciudades y comunidades sostenibles", 2019. [En línea]. Disponible: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/el-ods-del-mes-es-el-11>
- [9] P. M. d. T. S. A. de C. V. PREMEX. "Manual Técnico de Losas Prefabricadas", PREMEX, Tizayuca, 2013.
- [10] A. H. Nilson. *Diseño de Estructuras de Concreto*, Bogotá: Mc Graw Hill, 1999.
- [11] Construyendo.co, 09 Noviembre 2020. [En línea]. Disponible: <https://construyendo.co/losas/tipos.php>.
- [12] C. E. Y. Romero. "Armado de losas de concreto", 2014. [En línea]. Disponible: <https://sites.google.com/site/losasconcreto/home>.
- [13] Bloqueras.org. "Bloqueras.org", 2019. [En línea]. Disponible: <https://bloqueras.org/losa-de-concreto-armado/>.
- [14] P. ARCOTECHO, "Manual Técnico VIGACERO", VIGACERO. Lima, 2017.
- [15] W. M. Solis Trujillo. *Comporta-*

miento estructural del entrepiso de una vivienda de 3 niveles con el sistema prefabricado losa aligerada VIGACERO®, Lima: Universidad César Vallejo, 2018.

- [16] M. V. Cecilia y D. Martell León Prieto. "Evaluación técnica y económica entre los sistemas prefabricados de losa con viguetas vigacero y losa con viguetas pretensadas en un edificio multifamiliar en el distrito de Surquillo", Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019.