



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Diseño estructural, construcción y ensaye de propuesta  
de losa tipo modular de arco para losas de entrepiso de  
casas habitación

Tesis

Como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias (Estructuras)

Presenta

Clemente Gutiérrez Moreno

Dirigido por

Dr. Alejandro Clemente Chávez

Querétaro, Qro. A 13 de diciembre de 2022



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de  
Información



Diseño estructural, construcción y ensaye de propuesta  
de losa tipo modular de arco para losas de entepiso de  
casas habitación

**por**

CLEMENTE GUTIÉRREZ MORENO

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** IGMAC-300607-0123-1222



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias Estructuras

Diseño estructural, construcción y ensaye de propuesta  
de losa tipo modular de arco para losas de entrepiso de  
casas habitación

Tesis

Como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias (estructuras)

Presenta

Clemente Gutiérrez Moreno

Dirigido por

Dr. Alejandro Clemente Chávez

Presidente

Dr. Alejandro Clemente Chávez \_\_\_\_\_

Secretario

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza \_\_\_\_\_

Vocal

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández \_\_\_\_\_

Suplente

Dr. Saul Antonio Obregón Biosca \_\_\_\_\_

Suplente

Dr. Luis Francisco Pérez Moreno \_\_\_\_\_

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Qro. diciembre de 2022



## RESUMEN

Acorde al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, actualmente el déficit de vivienda en México afecta aproximadamente al 34% de la población debido a que el país demanda anualmente la construcción de 1,500,000 viviendas por el incremento poblacional y no se construye ni el 80% de esta demanda. Particularmente, se conoce que un rubro del déficit de la vivienda, está relacionado con el sistema de techo, por su alto costo en su construcción. En este trabajo se presenta un sistema de Losa Modular en Arco (LMA) para casas habitación que permite optimizar el desempeño estructural, practicidad en construcción y en lo económico; además de tener la intención de aprovechar la ductilidad del acero que proveerá al sistema un mejor comportamiento ante cargas accidentales; todo ello con base en criterios descritos en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019 y revisión adicional en base a NTC 2017. Los resultados de las pruebas descritas en las normas se encuentran en alrededor de un 40.7% arriba de lo solicitado en NMX-C-406-ONNCCE-2019 y un 9.6% al límite inferior de lo solicitado en NTC 2017; es decir el sistema LMA es un sistema aceptable optimizado.

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



## SUMMARY

According to the National Institute of Statistics and Geography, INEGI, the housing deficit in Mexico currently affects approximately 34% of the population because the country annually demands the construction of 1,500,000 homes due to population growth and not even 80% of this demand is built. Particularly, it is known that one aspect of the housing deficit is related to the roof system, due to its high construction cost. In this work we present a Modular Arched Slab (MSA) system for residential houses that allows optimizing the structural performance, practicality in construction and economics; besides having the intention of taking advantage from the ductility of the steel that will provide the system a better behavior against accidental loads; all of this based on the criteria described in NMX-C-406-ONNCCE-2019 standard and additional review based on NTC 2017. The tests results described in the standards are around 40.7% above what was requested in NTC 2017; so, the LMA system is an optimized acceptable system.

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



## DEDICATORIAS

*A mis Padres*, por la educación, el apoyo, el buen ejemplo y los valores inculcados a lo largo de mi vida, lo cual me ha formado como persona.

*A Dios*, por darme salud y la oportunidad de vivir.

*A mi Hermana y Hermano*, por su cariño, por su apoyo, comprensión y motivación que siempre nos unen.

*A mis amigos*, por la amistad, el apoyo y motivación brindado incondicionalmente sin haber vinculos mas allá de la amistad.



## AGRADECIMIENTOS

***A mi Universidad***, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado para prepararme para la vida profesional.

***Al CONACYT***, por el apoyo económico brindado, el cual, fue fundamental para el desarrollo de este trabajo y la dedicación exclusiva al estudio de la maestría lo que me permitió obtener el grado.

***Al Dr. Alejandro Clemente***, por ser mi director de Tesis, brindándome su tiempo para dirigir mi trabajo y sus atinados consejos producto de la experiencia que posee como investigador y profesional en el área que nos desarrollamos.

***Al Ing. Octavio Lecuona Rodríguez y la empresa Sisttemex S.A. DE C.V.***, por el apoyo brindado en la construcción del modelo físico de nuestro trabajo, el cual fue parte crucial para el desarrollo este trabajo.

***A mis compañeros estudiantes de Ingeniería Civil de la UAQ.***, por el apoyo brindado en la construcción del modelo físico de nuestro trabajo, así como su contribución durante el proceso experimental, lo cual fue parte crucial para el desarrollo este trabajo.



# ÍNDICE

Resumen.....	i
Summary .....	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas.....	vii
Indice de figuras.....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Tipos de losas.....	3
1.1.1 Losa maciza .....	3
1.1.2 Losa Reticular.....	8
1.1.3 Losacero.....	10
1.1.4 Vigacero.....	13
1.1.5 Novidesa .....	20
1.1.6 Losa alveolar.....	24
1.1.7 Vigueta y bovedilla.....	26
1.1.8 Semivigueta o vigueta de alma abierta y bovedilla .....	30
1.1.9 Bubbledeck .....	34
1.1.10 B-CORE Slab .....	37
1.1.11 Sistema de refuerzo compuesto con tubos huecos (hollow CRS) (Al-Fakher et al., 2021).....	38
1.1.12 Losa con viguetas “C” de metal rolado en frío (Lakkavalli & Liu, 2006). ....	40
1.1.13 Losa Tridimensional Modular (LTM) (Peña Campos , 2021).....	42
2. MODELO DE LOSA MODULAR EN ARCO (LMA).....	45
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	57
3.1. Hipotesis .....	57
3.2. Objetivos .....	57
4. METODOLOGIA .....	59
4.1 Resistencia del componente estructural .....	62
4.2 Deformación y carga máxima de la losa.....	64
4.3 Prueba al colapso .....	66



5.	Resultados y discusión .....	67
5.1	Resistencia del componente estructural .....	67
5.1.1	Modelo analítico .....	67
5.1.2	Modelo experimental .....	69
5.2	Deformación y carga máxima del sistema .....	72
5.2.1	Carga de servicio mínima .....	72
5.2.1.1	Modelo analítico .....	72
5.2.1.2	Modelo experimental .....	74
5.2.2	Carga última .....	77
5.2.2.1	Modelo analítico .....	77
5.2.2.2	Modelo Experimental .....	79
5.2.3	Carga al colapso.....	83
5.2.3.1	Modelo analítico .....	84
5.2.3.2	Modelo experimental .....	85
5.3	Precio Unitario .....	92
6.	Conclusiones .....	98
7.	Bibliografía.....	104
8.	ANEXOS.....	107



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales (NTC, 2017) .....	5
Tabla 1.2 Capacidad de carga, luz máxima y espesores (ARCOTECHO, 2017).....	18
Tabla 1.3 Carga última (ARCOTECHO, 2017) .....	19
Tabla 1.4 Momentos resistentes para las diferentes vigas (PREMEX, 2013).....	29
Tabla 1.5 En las siguientes tablas y gráficas se muestra el claro admisible según la carga, el tipo de vigueta, concreto y aligerante.....	30
Tabla 1.6 Resultados de deformaciones en ensaye de losa (Hernández, 2017) .....	32
Tabla 1.7 Selección del tipo de viga según claro y carga solicitada (CEMPOSA C. M., 2018) .....	33
Tabla 1.8 Especificaciones recomendadas por el fabricante para un correcto diseño dependiendo el espesor de la losa.....	37
Tabla 2.1 Caracterización de los materiales .....	51
Tabla 2.2 Dosificación del diseño de concreto en kilogramos de material por metro cubico de concreto.....	51
Tabla 2.3 Material necesario en botes por bulto de cemento .....	51
Tabla 5.1 Resultados de la prueba” Resistencia del componente estructural” .....	68
Tabla 5.2 Resultados de carga y descarga de la prueba "Resistencia del componente estructural" .....	69
Tabla 5.3 Resultados de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" .....	73
Tabla 5.4 Resultados de carga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" .....	75
Tabla 5.5 Resultados de descarga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" .....	75
Tabla 5.6 Resultados de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)" .....	78
Tabla 5.7 Resultados de carga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)" .....	80
Tabla 5.8 Resultados de descarga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)" .....	80
Tabla 5.9 Resultados de la prueba analítica "carga al colapso" .....	84
Tabla 5.10 Resultados de primera etapa de carga de la prueba "carga hasta colapso" .....	86
Tabla 5.11 Resultados de segunda etapa de carga de la prueba "carga hasta colapso" .....	87
Tabla 5.12 Comparación de resultados modelo analítico y modelo físico.....	92
Tabla 5.13 Resumen de precios unitarios.....	93
Tabla 5.14 Análisis de precios unitarios de sistema LMA (NEODATA, 2021). Nota: Los rendimientos de mano de obra se tomaron en base al modelo físico que se construyó.....	94
Tabla 5.15 Análisis de precios unitarios de sistema LTM (Peña Campos , 2021).....	95



Tabla 5.16 Análisis de precios unitarios de sistema Vigüeta y Bovedilla (NEODATA, 2021) .....	95
Tabla 5.17 Análisis de precios unitarios de sistema de losa nervada (NEODATA, 2021) ..	96
Tabla 5.18 Análisis de precios unitarios de sistema de losa maciza de concreto (NEODATA, 2021) .....	97
Tabla 6.1 Resumen de resultados de pruebas y revisión .....	100
Tabla 6.2 Comparación de resultados sistema LMA y sistema LTM .....	101



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 a) Detalle de losa maciza b) Elementos de losa maciza (Bloqueras.org, 2019) ...	4
Figura 1.2 Configuraciones de agrietamiento para distintos valores de la carga aplicada.....	7
1.3 Gráfica carga- deflexión de una losa (Cuevas, 2005).....	8
1.4 Distribución de momentos flexionantes en una losa cuadrada (Cuevas, 2005) .....	8
Figura 1.5 Losa reticular componentes .....	9
Figura 1.6 Componentes losacero (Habitissimo, 2009) .....	10
Figura 1.7 Propiedades mecánicas losacero TERNIUM (TERNIUM, 2020) .....	11
Figura 1.8 Propiedades y capacidad de carga (TERNIUM, 2020).....	12
Figura 1.9 Separación entre apoyos para Losacero (TERNIUM, 2020) .....	13
Figura 1.10 a) b) Componentes vigacero c) Detalle de conexión de viguetas y cadena de concreto reforzado (ARCOTECHO, 2017) .....	14
Figura 1.11 Dimensiones de viga de acero galvanizado (ARCOTECHO, 2017) .....	14
Figura 1.12 Resultados de ensaye de laboratorio a sistema VIGACERO (Rivera Grandados, 2016).....	15
Figura 1.13 Resultados de ensaye de laboratorio a sistema VIGACERO (Rivera Grandados, 2016).....	16
Figura 1.14 Resultados de modelación en ETABS 2016 del sistema VIGACERO (Solis Trujillo, 2018).....	17
Figura 1.15 a) b) Componentes sistema NOVIDESA c) Esquema de componentes de sistema NOVIDESA (Grupo Idesa S A de C V, 2012).....	21
Figura 1.16 Ficha tecnica paneles NOVIDESA (Grupo Idesa S A de C V, 2012) .....	22
Figura 1.17Seleccion de peraltes y armado de nervaduras (Grupo Idesa S A de C V, 2012) .....	23
Figura 1.18 a) b) Losa alveolar imágenes reales (TEIDE, 2018).....	24
Figura 1.19 Componentes losa alveolar (TEIDE, 2018) .....	25
Figura 1.20 Tipo de losa alveolar, claros libres y capacidad de carga .....	26
Figura 1.21 a) b) c) Componentes Vigueta y Bovedilla.....	27
Figura 1.22 Tipos de viguetas prefabricadas de concreto (PREMEX, 2013).....	28
Figura 1.23 a), b) c) Componentes de vigueta de alma abierta o semivigueta y bovedilla ..	31
Figura 1.24 Grafica carga-deformación del sistema semi vigueta y bovedilla (Hernández, 2017).....	32
Figura 1.25 a), b), c) Componentes sistema Bubbledeck (Structuralia, 2015).....	35
Figura 1.26 Esfuerzo resistente máximo a cortante para revisión de losa como placa plana (DANSTEK, Manual de diseño y calculo estructural de losa prefabricada Bubbledeck, 2016) .....	36
Figura 1.27 Especificaciones losa B-CORE.....	38
Figura 1.28 Tubo hueco de acero .....	39
Figura 1.29 Isométrico del Módulo del sistema LTM (Peña Campos , 2021) .....	43
Figura 1.30 Sistema "LTM" .....	43



Figura 2.1 Módulo LMA manipulado por una persona.....	47
Figura 2.2 a) Modelo 3d b) Perfiles del modelo c) Dimensiones del Modelo d)Modelo 3d con bases .....	48
Figura 2.3 Módulos físicos de LMA .....	49
Figura 2.4 Módulos LMA galvanizados.....	49
Figura 2.5 Colocación de primera capa del acabado inferior de la LMA .....	50
Figura 2.6 Catillo Armex y cimbrado de cadena de concreto .....	52
Figura 2.7 Cimbrado del sistema LMA.....	52
Figura 2.8 Módulos de LMA cimbrados con malla electrosoldada. ....	53
Figura 2.9 Proceso de colado de losa de concreto.....	53
Figura 2.10 Proceso de acabado de parte superior de losa de concreto.....	54
Figura 2.11 prueba de revenimiento en proceso de colado de concreto.....	54
Figura 2.12 Proceso de curado de losa de concreto.....	55
Figura 2.13 Sistema LMA .....	55
Figura 2.14 Sistema LMA .....	56
Figura 4.1 Diagrama de la metodología .....	59
Figura 4.2 Modelo en SAP; la imagen muestra los niveles de esfuerzo a los que está sometido bajo la combinación de carga gravitacionales según lo establecido en (NTC, 2017) .....	61
Figura 4.3 Estado de cargas losa de Azotea .....	61
Figura 4.4 Estado de cargas losa de entrepiso.....	62
Figura 4.5 Esquema de prueba “Resistencia del componente estructural” (ONNCCE, 2019) .....	63
Figura 4.6 Esquema de la prueba "Deformación y carga máxima de la losa" .....	64
Figura 4.7 Esquema de la prueba "Carga al colapso".....	66
Figura 5.1 Modelo experimental de la prueba "Resistencia del componente estructural". Modelo LMA sometido a carga $P=675$ kg al centro del claro. ....	67
Figura 5.2 Diagrama carga - deflexión de la prueba "Resistencia del componente estructural" Modelo LMA sometido a carga $P=675$ kg al centro del claro. ....	68
Figura 5.3 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Resistencia del componente estructural". Modelo LMA sometido a carga $P=675$ kg al centro del claro. ....	70
Figura 5.4 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Resistencia del componente estructural" Modelo LMA sometido a carga $P=675$ kg al centro del claro. ....	71
Figura 5.5 Grietas en acabado de parte inferior.....	71
Figura 5.6 Modelo experimental de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida $W_s=350$ kg/m <sup>2</sup> .....	72
Figura 5.7 Diagrama carga- deflexión de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida $W_s=350$ kg/m <sup>2</sup> .....	73



Figura 5.8 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$  ..... 76

Figura 5.9 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$ ..... 76

Figura 5.10 Modelo experimental prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$  ..... 77

Figura 5.11 Diagrama carga- deflexión de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$  ..... 78

Figura 5.12 Esfuerzos en cada elemento del LMA bajo la carga máxima estipulada en la prueba "Deformación y carga máxima del sistema" ..... 79

Figura 5.13 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$  ..... 81

Figura 5.14 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Deformación y carga máxima del sistema (carga ultima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$  ..... 82

Figura 5.15 Colapso del sistema. Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$  ..... 83

Figura 5.16 Figura 5.16 Diagrama carga- deflexión de la prueba analítica "Carga al colapso". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$  ..... 85

Figura 5.17 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Carga al colapso" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$ . ..... 88

Figura 5.18 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Carga al colapso" del sistema LMA, LMT (Peña Campos , 2021) y Sistema de vigueta y bovedilla (Clemente Chávez, y otros, 2016)..... 89

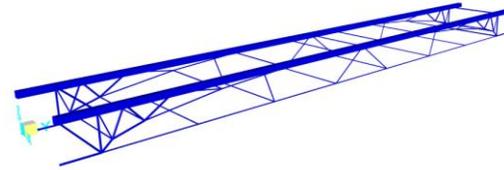
Figura 5.19 Diagrama carga-deflexión del sistema de losa vigueta y bovedilla de la prueba "carga al colapso" (Clemente Chávez, et al, 2016) ..... 90

Figura 5.20 Perspectiva de elementos que fallaron al colapso del sistema ..... 91

Figura 5.21 Detalle de elementos que fallaron al colapso del sistema ..... 91



# I



## 1. INTRODUCCIÓN

El déficit habitacional en el país agrupa carencias de vivienda en tres tipos, las que tienen que ver con los materiales que están construida, las que se refieren al espacio para que sus habitantes no padezcan hacinamiento y las carencias por falta de conexiones de servicios básicos indispensables. En el año 2012 el déficit habitacional en México era de poco más de 15 millones de viviendas (SEDATU, 2014). Este problema no solo está presente en México, sino en toda América Latina y el Caribe, pues según estudios del (BID, 2012), casi 59 millones de personas habitan en una vivienda inadecuada o construida con materiales precarios y carente de servicios básicos.

Un factor que contribuye al déficit de vivienda es la migración de la población a zonas urbanas, ya que, desde el 2007 más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en las ciudades, y se espera que para 2030 esta cantidad llegue al 60%, provocando una urbanización acelerada y como consecuencia un número creciente de habitantes de barrios pobres, con infraestructura y servicios inadecuados y sobrecargados (ONU, 2019), dificultando también el acceso a una vivienda digna.

Hablando de las carencias con respecto a los materiales de construcción, la mayor parte de las viviendas que presentan déficit son por problemas con el techo, pues carecen de uno hecho a base de concreto, tabique, ladrillo o similar, tanto en viviendas urbanas como rurales, hablando con datos más certeros, se puede decir que aproximadamente 2 de cada 10 casas en zonas urbanas carece de techo a base de concreto, tabique, ladrillo o similar y 6 de cada 10 en zonas rurales (SEDATU, 2014).

Anteriormente mencionamos el fenómeno de migración hacia las ciudades contribuye al problema de déficit de vivienda, para Ochoa Ramírez, et al (2019), una de las razones por las que la población cambia de residencia a una ciudad, es por que sale en busca de una mejor calidad de vida, además de mencionar que este problema de migración aqueja a la zona



metropolitana de la ciudad de Querétaro y a pesar de que existen programas de planeación urbana y territorial, no se contempla el crecimiento urbano a raíz de la migración.

Además del problema citado anteriormente, cabe mencionar que la construcción ha sido, desde tiempos muy remotos, una actividad indispensable para el desarrollo de la vida del ser humano, hay incluso quienes la consideran como una actividad esencial, aunque el sector de la construcción ha tenido históricamente los niveles más bajos de innovación, con solo el 30.8% de las empresas aplicando esta práctica (Loosemore, 2015), por lo que recientemente se ha colocado como uno de los principales objetivos de los profesionales de esta actividad, lo que los ha llevado a tratar de desarrollar nuevos sistemas constructivos cada vez más eficientes que satisfagan las necesidades de los usuarios, tratando de generar un ahorro económico sin poner en riesgo la seguridad estructural de las edificaciones.

En este trabajo desarrollaremos un sistema novedoso para losas de entrepiso y azotea de casas habitación principalmente de interés medio-bajo, con la intención de brindar información y conocimiento del comportamiento estructural y sobre todo las ventajas que este tiene sobre los sistemas existentes, enfocándonos principalmente en el sistema de vigueta y bovedilla.

Este nuevo sistema ha sido desarrollado con la intención principal de contribuir con el problema de déficit de vivienda que atraviesa el país, pero también busca disminuir la cantidad de concreto debido a que la producción del cemento, materia prima del concreto, genera el 7% de las emisiones de dióxido de carbono (Cahn, 1997). Además, para Martínez (2005), las actividades asociadas a la fabricación de hormigón, material más usado en el mundo por la industria de la construcción, genera en su proceso de elaboración fuertes impactos medioambientales, entre estos: erosión y pérdida de suelos naturales por la extracción de áridos naturales y, como se dijo anteriormente, elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo energético asociados a la fabricación de cemento, sin considerar los elevados volúmenes de material de demolición generados por construcciones que han concluido su vida útil.

También parte de nuestro trabajo será analizar el sistema vigueta y bovedilla, que es uno de los sistemas de losas más utilizados para casas habitación en el país, con el objetivo de encontrar las desventajas y debilidades de este para evitarlas en nuestro sistema y garantizar



su correcto desempeño, de acuerdo a lo reportado en el trabajo de Clemente Chávez, et al, (2018), donde se ensayó el sistema de vigueta y bovedilla.

En principio, el sistema está formado por perfiles de acero PTR de 1"x1", varillas de acero de diámetro de 3/8" y mallas conformando módulos de bajo peso, accesibles a la manipulación por hasta dos trabajadores. Actualmente en la Universidad Autónoma de Querétaro se está trabajando un sistema similar, el principio de su geometría está basado en un tipo de tridilosa, a diferencia de nuestro modelo, en el que usaremos una forma de arco para optimizar los materiales, el peso y el funcionamiento de este. Decidimos usar esta geometría pues desde de tiempos remotos has sido muy utilizada pues para algunos autores el arco es la "estructura ideal" (Fernández, 1990). Además, es de saberse que las losas tienden a fallar por flexión (Cuevas, 2005), otra de las razones por las que elegimos la forma de arco, pues esta geometría trabaja en su mayoría a compresión lo que nos llevará a tener un mejor comportamiento de nuestro modelo.

## **1.1. Tipos de losas**

### **1.1.1 Losa maciza**

Para Nilson, (1999), en las construcciones de concreto reforzado las losas se utilizan para proporcionar superficies planas y útiles, una losa de concreto reforzado es una amplia placa plana generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Puede estar apoyada en vigas de concreto reforzado, en muros de mampostería o de concreto reforzado, en elementos de acero estructural, en forma directa en columnas o en el terreno en forma continua.

Se conoce como losa maciza a aquella que esta formada en su totalidad por concreto reforzado, compuesto por el concreto, acero de refuerzo a flexión y acero de temperatura, que normalmente este refuerzo es una malla electrosoldada con la finalidad de soportar los esfuerzos por cambios de temperatura.

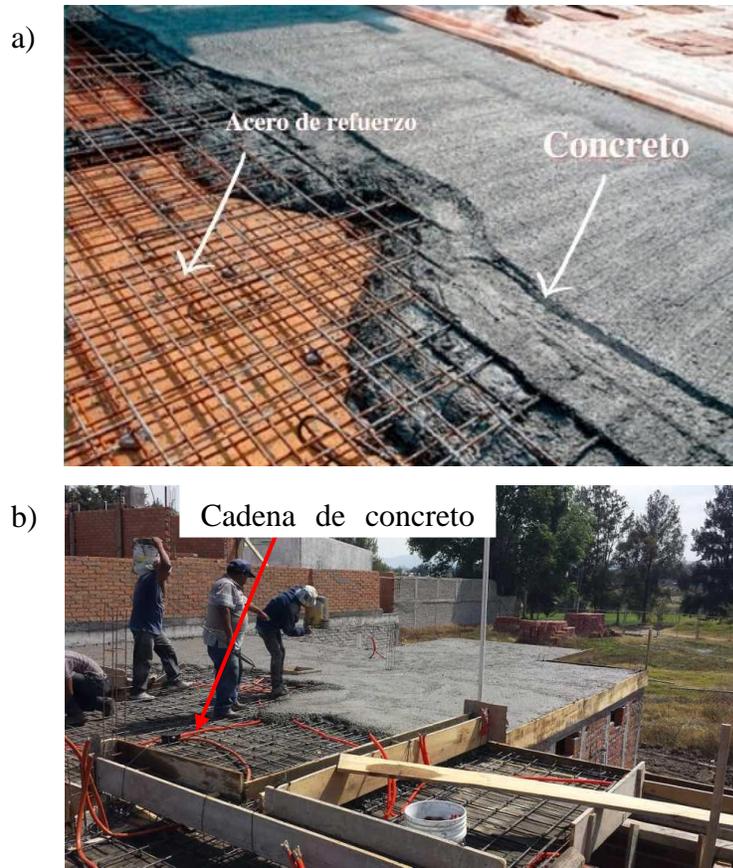


Figura 1.1 a) Detalle de losa maciza b) Elementos de losa maciza (Bloqueras.org, 2019)

Este tipo de losa es utilizada principalmente en casas habitación y en estructuras a base de marcos de concreto armado, aunque en la actualidad es poco común debido a que al estar compuesta solamente de concreto armado resulta muy pesada, generando la necesidad de elementos estructurales mas robustos y, por tanto, un costo mas elevado.

#### 1.1.1.1 Diseño

Un método para dimensionar losas de este tipo, es el descrito en las (NTC, 2017) donde obtenemos los momentos flexionantes utilizando la tabla 1.1, los cuales son obtenidos por unidad de ancho  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{m}$ , después se calcula el peralte y el porcentaje de refuerzo utilizando las fórmulas de flexión, como si se tratara de vigas de ancho unitario (Cuevas, 2005).



Tabla 1.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales (NTC, 2017)

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$													
			0		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0	
			I <sup>2</sup>	II <sup>3</sup>	I	II										
Interior Todos los bordes continuos	Negativo en bordes interiores	corto	998	1018	553	565	489	498	432	438	381	387	333	338	288	292
		largo	516	544	409	431	391	412	371	388	347	361	320	330	288	292
	Positivo	corto	630	668	312	322	268	276	228	236	192	199	158	164	126	130
		largo	175	181	139	144	134	139	130	135	128	133	127	131	126	130
De borde Un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	corto	998	1018	568	594	506	533	451	478	403	431	357	388	315	346
		largo	516	544	409	431	391	412	372	392	350	369	326	341	297	311
	Negativo en bordes discontinuos	largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0
		corto	630	668	329	356	292	306	240	261	202	219	167	181	133	144
	Positivo	largo	179	187	142	149	137	143	133	140	131	137	129	136	129	135
		corto	630	668	329	356	292	306	240	261	202	219	167	181	133	144

De borde Un lado largo discontinuo	Negativo en bordes interiores	corto	1060	1143	583	624	514	548	453	481	397	420	346	364	297	311
		largo	587	687	465	545	442	513	411	470	379	426	347	384	315	346
	Positivo	corto	651	0	362	0	321	0	283	0	250	0	219	0	190	0
		largo	751	912	334	366	285	312	241	263	202	218	164	175	129	135
De esquina Dos lados adyacentes discontinuos	Negativo en bordes interiores	corto	1060	1143	598	653	530	582	471	520	419	464	371	412	324	364
		largo	600	713	475	564	455	541	429	506	394	457	360	410	324	364
	Positivo	corto	651	0	362	0	321	0	277	0	250	0	219	0	190	0
		largo	751	912	358	416	306	354	259	298	216	247	176	199	137	153
Extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Negativo en bordes discontinuos	corto	1060	1143	970	1070	890	1010	810	940	730	870	650	790	570	710
		largo	651	0	370	0	340	0	310	0	280	0	250	0	220	0
	Positivo	corto	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0
		largo	751	912	730	800	670	760	610	710	550	650	490	600	430	540
Extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Negativo en borde continuo	largo	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710
		corto	570	0	480	0	420	0	370	0	310	0	270	0	220	0
	Positivo	largo	330	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0
		corto	1100	1670	960	1060	840	950	730	850	620	740	540	660	430	520
Aislado Cuatro lados discontinuos	Negativo en bordes discontinuos	largo	570	0	550	0	530	0	470	0	430	0	380	0	330	0
		corto	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0
	Positivo	largo	1100	1670	830	1380	800	1330	720	1190	640	1070	570	950	500	830
		corto	200	250	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830

<sup>1</sup> Para las franjas extremas (ver sección 7.5.1.2) los coeficientes se multiplicarán por 0.60.

<sup>2</sup> Caso I. Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

<sup>3</sup> Caso II. Losa no colada monolíticamente con sus apoyos.

Los coeficientes multiplicados por  $10^{-4} w a_1^2$ , dan los momentos flexionantes por unidad de ancho; si  $w$  está en  $\text{kN/m}^2$  (en  $\text{kg/m}^2$ ) y  $a_1$  en m, el momento tiene unidades de  $\text{kN-m/m}$  ( $\text{kg-m/m}$ ).

Para el caso I,  $a_1$  y  $a_2$  pueden tomarse como los claros libres entre paños de vigas.

Para el caso II,  $a_1$  y  $a_2$  se tomarán como los claros entre ejes, pero sin exceder del claro libre más dos veces el espesor de la losa.



De acuerdo con lo descrito en las (NTC, 2017) el cálculo de deflexiones puede omitirse si el peralte efectivo de la losa es por lo menos igual al perímetro del tablero dividido entre 250 para concreto clase I y 170 para concreto clase 2. Para calcular este perímetro, los lados discontinuos deben incrementarse en 50 por ciento si los apoyos de la losa no son monolíticos con ella, y 25 por ciento si lo son. En losas alargadas no es necesario tomar un peralte mayor que el que corresponde a un tablero con  $a_2 = 2a_1$  ( $a_1$ =lado corto,  $a_2$ =lado largo). Estas disposiciones son aplicables a losas en que  $f_s = 2520 \text{ kg/cm}^2$  y  $w = 380 \text{ kg/m}^2$ ; para otras combinaciones de  $f$  y  $w$ , el peralte efectivo mínimo se obtendrá multiplicando por  $0.032 \sqrt[4]{F_s W}$  el valor obtenido en la forma arriba indicada (0.182 si  $f_s$ , se expresa en MPa y  $w$  en  $\text{kN/m}^2$ ). En esta expresión,  $f_s$  es el esfuerzo en el acero en condiciones de servicio, en  $\text{kg/cm}^2$  (puede suponerse igual a  $0.6 f_y$ ), y  $w$  es la carga en condiciones de servicio, en  $\text{kg/m}^2$  (Cuevas, 2005).

Para el acero mínimo se utiliza la ecuación siguiente

$$A_s = \frac{66,000 h}{f_y(h + 100)} \quad (1.1)$$

Es necesario también revisar la seguridad contra fuerza cortante, en estos casos la fuerza cortante que actúa en un ancho unitario puede calcularse con la expresión:

$$V = \left( \frac{a_1}{2} - d \right) w \left[ 0.95 - 0.5 \frac{a_1}{a_2} \right] \quad (1.2)$$

### 1.1.1.2 Análisis y modo de falla

Para el análisis de este tipo de losas suponemos que la rigidez a flexión de los elementos donde están apoyadas es mucho mayor en comparación a la rigidez de la losa.

El comportamiento de una losa de este tipo cargada en el centro del claro lo podemos observar en la figura 1.3, obtenida de una losa cargada hasta la falla. De esta gráfica resaltamos tramo B-C que es donde inicia la fluencia del acero de refuerzo comenzando en las zonas de



momentos flexionantes máximos propagándose paulatinamente a las zonas de menores esfuerzos hasta alcanzar la resistencia de la losa, dando paso así, al método de falla. En la descripción anterior del comportamiento, se ha supuesto que la falla ocurre por flexión y que no hay efecto de cortante. En el caso de losas apoyadas directamente sobre columnas y de losas sujetas a cargas concentradas altas, es frecuente que la falla ocurra en cortante por penetración antes de que se alcance la resistencia en flexión (Cuevas, 2005).

Para ilustrar el avance del agrietamiento y de la fluencia del refuerzo en distintas etapas de carga, se presentan en la figura 1.2 las configuraciones de agrietamiento en la cara inferior de una losa cuadrada simplemente apoyada sujeta a carga uniformemente repartida en su cara superior, para distintos valores de la carga aplicada.

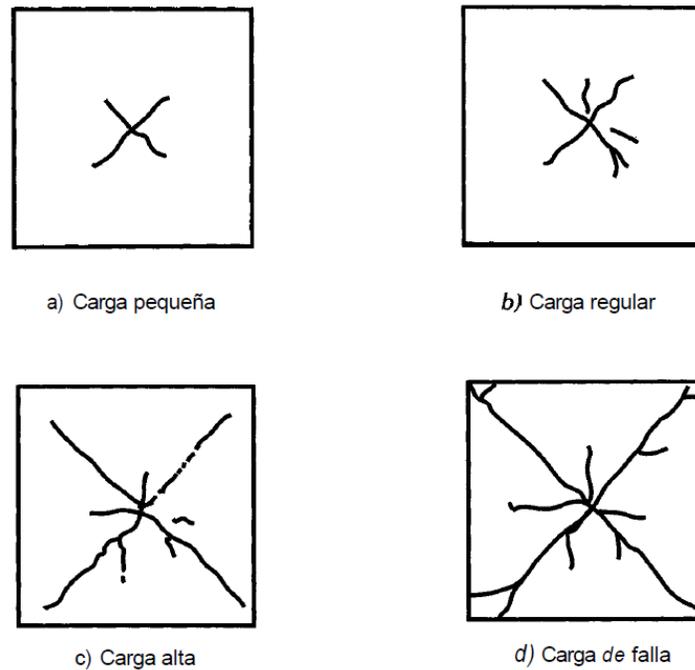
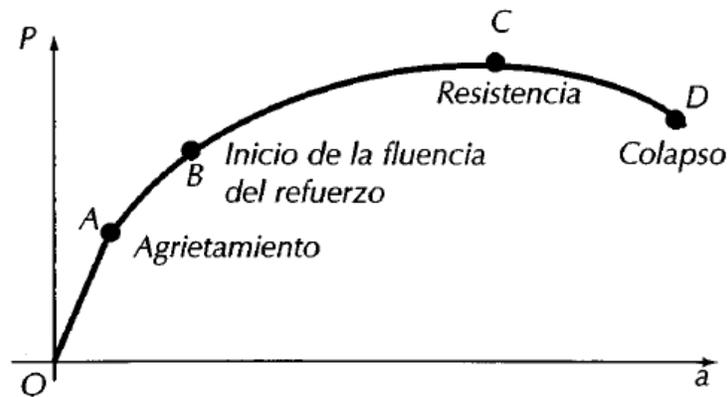
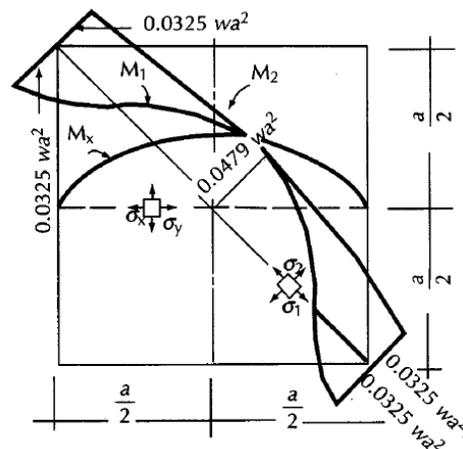


Figura 1.2 Configuraciones de agrietamiento para distintos valores de la carga aplicada



1.3 Gráfica carga- deflexión de una losa (Cuevas, 2005).



1.4 Distribución de momentos flexionantes en una losa cuadrada (Cuevas, 2005)

### 1.1.2 Losa Reticular

Estas losas aligeradas o también conocida como sistema de losa con caseton, están constituidas por vigas longitudinales y transversales a modo de nervios, de gran rigidez, que enlazan los pies de los pilares. Estas losas se construyen para estructuras de cargas desequilibradas, las vigas de unión de los pilares se calculan como zapatas continuas bidireccionales. Por lo general, el espesor mínimo de la losa es de 20 cm. Estas losas nervadas definen los arranques de los pilares en los encuentros de las vigas bidireccionales. Este tipo de losas se elabora a base de un sistema de entramado de traves cruzadas que forman una retícula, dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados permanentemente por bloques huecos o materiales cuyo peso volumétrico no exceda de 900 kg/m y sean capaces de resistir una carga concentrada de una tonelada. La combinación de elementos prefabricados de



concreto simple en forma de cajones con nervaduras de concreto reforzado colado en el lugar que forman una retícula que rodea por sus cuatro costados a los bloques prefabricados. (Constuyendo.co, 2020)



*Figura 1.5 Losa reticular componentes*

Este sistema constructivo es utilizado en estructuras a base de muros de mampostería así como también en estructuras a base de marcos de concreto reforzado, en resumen, es utilizada principalmente en estructuras donde los elementos estructurales son de concreto reforzado.

El análisis y diseño de este tipo de losa es igual que el que se utiliza para las losas macizas, el cual fue descrito en la sección anterior.

Con respecto a estos dos últimos sistemas, en el trabajo de Lee et al.,(2018) se probaron losas y vigas de mortero ligero reforzado, probando diferentes densificaciones de los componentes, cuidando que el peso volumétrico de los morteros estuviera entre el rango de 1600 y 1800 kilogramos por metro cúbico, obteniendo resultados aceptables ante las condiciones de carga pre establecidas; además de que se encontró un método de falla muy similar al del concreto reforzado, de este trabajo podemos confirmar que se ha estado trabajando en la optimización de sistemas de losas de entrepiso.



### 1.1.3 Losacero

Losacero es un sistema de entrepiso metálico que utiliza un perfil laminado diseñado para anclar perfectamente con el concreto y formar la losa de azotea o entrepiso. Losacero tiene tres funciones principales de acuerdo al Steel Deck Institute (SDI): La primera es actuar como plataforma de trabajo durante la construcción, es decir, sirve como cimbra para el colado, la segunda es proveer el refuerzo positivo por flexión a la losa de concreto y la tercera es proveer resistencia para cargas horizontales.

Elementos que la conforman:

- Viga de acero
- Conectores de cortante
- Losa (Concreto + Losacero)
- Refuerzo por temperatura

El refuerzo por temperatura es a base de una malla electrosoldada, por lo que la recomendación del SDI es que el área de acero mínima deberá ser igual a 0.00075 veces el área del concreto sobre el deck (TERNIUM, 2020).



Figura 1.6 Componentes losacero (Habitissimo, 2009)



### 1.1.3.1 Análisis y modo de falla

Las propiedades de la sección fueron calculadas de acuerdo al manual de perfiles rolados en frío de las especificaciones del American Iron and Steel Institute (AISI) edición 2001.

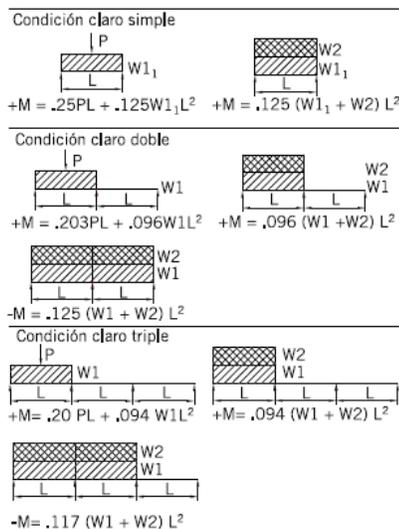
Los esfuerzos en la Ternium Losacero no deben exceder 0.6 veces el punto de fluencia o un máximo de 36 ksi bajo la combinación de cargas de concreto fresco y su peso propio; y las siguientes cargas vivas de construcción: 98 kg/m<sup>2</sup> de carga viva ó 68 kg de carga concentrada sobre una sección de 30.48 cm (TERNIUM, 2020).

#### Cálculo de las propiedades del perfil Ternium Losacero utilizado como plataforma de trabajo

Las propiedades de la sección fueron calculadas de acuerdo al manual de perfiles rolados en frío de las especificaciones del American Iron and Steel Institute (AISI) edición 2001.

Los esfuerzos en la Ternium Losacero no deben exceder 0.6 veces el punto de fluencia o un máximo de 36 ksi bajo la combinación de cargas de concreto fresco y su peso propio; y las siguientes cargas vivas de construcción: 98 kg/m<sup>2</sup> de carga viva ó 68 kg de carga concentrada sobre una sección de 30.48 cm de Ternium Losacero.

Fig. 1 Diagrama de cargas para momentos flexionantes



La deflexión bajo la carga uniforme de concreto más la carga de la Ternium Losacero no debe exceder L/180 de la longitud del claro ó 3/4".

**Comentarios:** Las cargas mostradas en la figura 1 representan la secuencia de cargas de concreto fresco sobre la Ternium Losacero usada como cimbra. Los 68 kg son el resultado aritmético de 91 kg (peso de una persona) por 3/4. El objetivo es incrementar 1/3 los esfuerzos debido a la carga provisional de la persona.

Fig. 2 Diagrama de cargas para deflexiones



Fig. 3 Diagrama de cargas para reacciones en los apoyos



#### Nota

Para figuras 1, 2 y 3:  
 P= 68 kg de carga concentrada  
 W1= Peso propio de la losa  
 W1<sub>1</sub>= 1.5 x peso de la losa + peso de Ternium Losacero ≤ peso de losa + peso de la Ternium Losacero + 146 kg/m<sup>2</sup>  
 W2= 98 kg/m<sup>2</sup>  
 L= longitud de claro (m)

Referencia: ANSI/SDI-C1.0

Figura 1.7 Propiedades mecánicas losacero TERNIUM (TERNIUM, 2020)



Cabe mencionar que no se encontró información acerca del método de falla del sistema lo que nos ayudaría a conocer un poco mejor la canalización de cargas hacia los apoyos de la losa, facilitando así la comprensión del comportamiento estructural del sistema y por tanto información útil para un mejor diseño de la estructura donde se va a utilizar.

### 1.1.3.2 Diseño

Malla de acero mínima recomendada por temperatura según el SDI		
Espesor de concreto CMS	Volumen de concreto	Tipo de malla / área de acero
	M3/M2	
5	0,085	Malla 6*6 -10/10 (0.61 CM2/Mt)
6	0.095	Malla 6*6 -10/10 (0.61 CM2/Mt)
8	0.115	Malla 6*6 -10/10 (0.61 CM2/Mt)
10	0.135	Malla 6*6 -8/8 (0.87 CM2/Mt)
12	0.155	Malla 6*6 -6/6 (1.23 CM2/Mt)

Propiedades de la sección de acero						
Cal	Esp. Acero base		Peso Kg/ml	Propiedades efectivas		
	Plg.	mm		IX +	SX +	SX-
				CM4/MT	CM3/MT	CM3/MT
22	0.0274	0.70	6.92	59.32	14.89	15.44
20	0,356	0,90	8,84	81,22	20,85	21,77

Concreto normal, F'C = 200 Kg/Cm2, P. Vol. 2400 Kg/M3 : N=10					
Calibre Espesor de diseño	Espesor de concreto	Peso propio	Claro máximo sin apuntalar		
			Simple	Doble	Triple
mm	Cms.	Kg/M2	Mts.	Mts.	Mts.
22 0.70	5	212	1.59	2.13	2.15
	6	236	1.53	2.05	2.08
	8	284	1.43	1.93	1.95
	10	332	1.41	1.82	1.84
	12	380	1.39	1.74	1.76
20 0.90	5	214	1.97	2.63	2.68
	6	238	1.89	2.53	2.58
	8	286	1.76	2.37	2.41
	10	334	1.73	2.23	2.28
	12	382	1.70	2.11	2.16

Notas: Claro máximo sin apuntalar según los criterios de cargas temporales, esfuerzos y deflexiones especificados en el ANSI/SDI C1,0-2006 Standard for Composite Steel Floor Deck. Se considera un esfuerzo máximo de la lámina actuando como cimbra de 0.6 Fy. Se considera una carga concentrada máxima de 91 kgs concentrada en un pie de ancho o una carga de instalación distribuida de 98 kg/m2. No aplica para cargas vivas de instalación o acumulación de concreto durante el colado mayores a estas cargas.

Figura 1.8 Propiedades y capacidad de carga (TERNIUM, 2020)

Este sistema es utilizado principalmente en construcciones en las que los elementos estructurales son de acero, aunque también es utilizado en construcciones mixtas (columnas de concreto-vigas acero) esto por la unión de las vigas de acero con la losa de acero galvanizada y los pernos de cortante.



LOSACERO SECCION 4 SIN PERNOS CONECTORES															
CALIBRE (ESPESOR DE DISEÑO)	ESPESOR DE CONCRETO	SOBRECARGA ADMISIBLE ( KG / M2 )													
		SEPARACIÓN ENTRE APOYOS EN METROS													
mm	CMS.	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00
22 0.70	5	2,000	1,611	1,239	956	777	627	511	419						
	6	2,000	1,836	1,388	1,047	888	718	586	480	396					
	8	2,000	2,000	1,637	1,404	1,123	910	744	612	506	419				
	10	2,000	2,000	1,858	1,711	1,371	1,112	911	751	622	517	429			
	12	2,000	2,000	2,000	2,000	1,626	1,321	1,084	895	743	618	515	426		
20 0.90	5	2,000	2,000	1,503	1,268	1,020	808	642	588	475					
	6	2,000	2,000	1,649	1,441	1,122	880	784	651	544	457				
	8	2,000	2,000	2,000	1,710	1,310	1,005	995	828	694	584	493	416		
	10	2,000	2,000	2,000	1,955	1,468	1,473	1,218	1,016	852	719	608	516	437	
	12	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,750	1,449	1,210	1,017	859	728	619	526	446

Importante: Para criterios de cálculo ver notas generales.

LOSACERO SECCION 4 CON PERNOS CONECTORES (VER NOTA 12)															
CALIBRE (ESPESOR DE DISEÑO)	ESPESOR DE CONCRETO	SOBRECARGA ADMISIBLE ( KG / M2 )													
		SEPARACIÓN ENTRE APOYOS EN METROS													
mm	CMS.	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00
22 0.70	5	2,000	2,000	1,720	1,363	1,099	898	741	617	517	435				
	6	2,000	2,000	1,949	1,545	1,246	1,019	842	702	588	496	419			
	8	2,000	2,000	2,000	1,910	1,541	1,261	1,043	870	730	616	522	442		
	10	2,000	2,000	2,000	2,000	1,836	1,503	1,244	1,038	873	737	624	530	450	
	12	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,746	1,445	1,207	1,015	857	727	617	525	446
20 0.90	5	2,000	2,000	2,000	1,764	1,430	1,176	978	821	695	591				
	6	2,000	2,000	2,000	2,000	1,626	1,338	1,113	935	792	674	577			
	8	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,661	1,384	1,164	986	841	720	619	534	
	10	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,985	1,654	1,392	1,180	1,007	863	743	641	554
	12	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,924	1,620	1,374	1,173	1,006	867	749	648

Importante: Para criterios de calculo ver notas generales.

Figura 1.9 Separación entre apoyos para Losacero (TERNIUM, 2020)

### 1.1.4 Vigacero

VIGACERO® es un sistema de techo aligerado conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido EPS de alta densidad, que facilita la construcción de losas aligeradas (techos) de una manera más rápida y sencilla, creado en Perú en el año 2014 (ARCOTECHO, 2017).

El objetivo del sistema es reducir en gran cantidad la carga de la losa aligerada por usar como aligerante el poliestireno expandido de alta densidad, además de reducir la cantidad de concreto lo que disminuye en gran proporción el peso propio de la losa (ARCOTECHO, 2017).

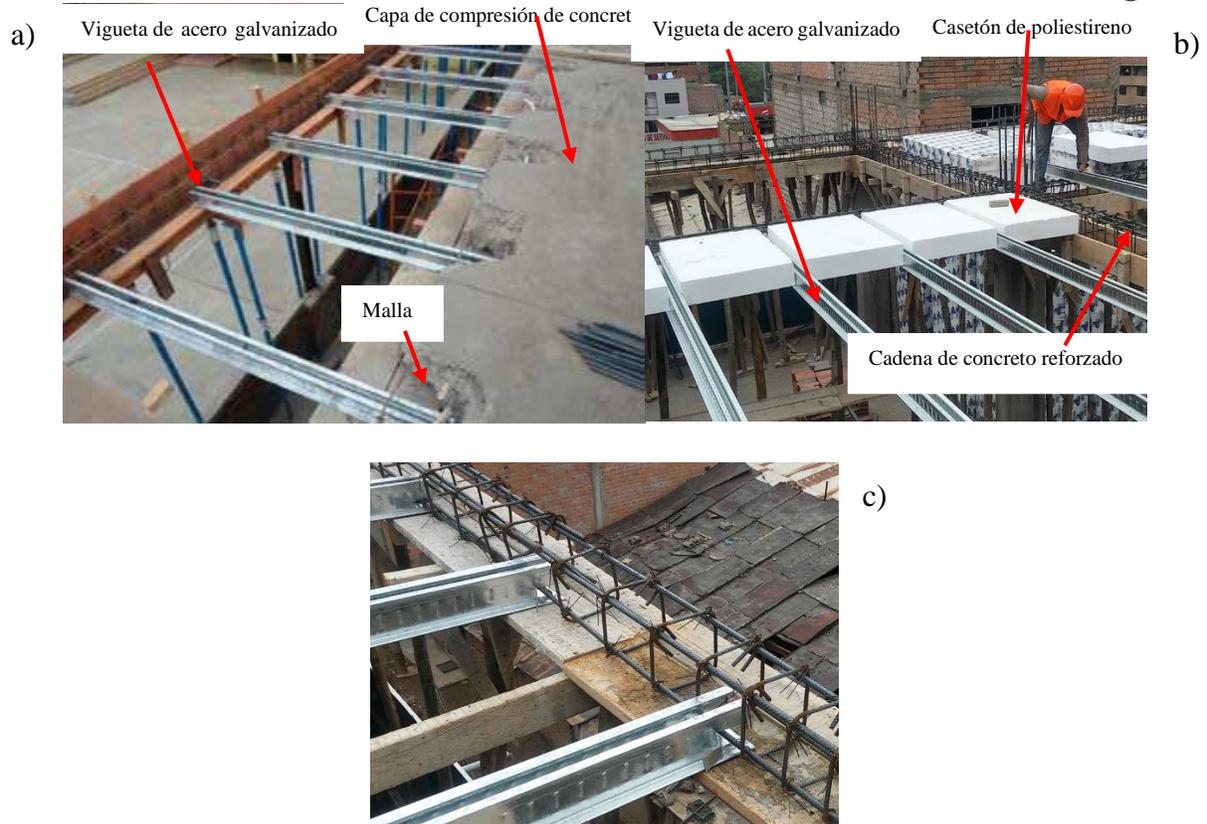


Figura 1.10 a) b) Componentes vigacero c) Detalle de conexión de viguetas y cadena de concreto reforzado (ARCOTECHO, 2017)

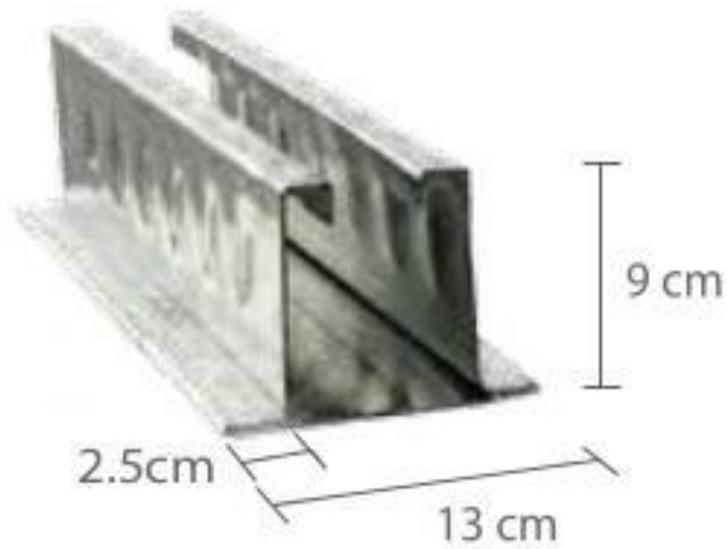


Figura 1.11 Dimensiones de viga de acero galvanizado (ARCOTECHO, 2017)



### 1.1.4.1 Análisis y modo de falla

No se encontró información acerca del método de falla del sistema que nos facilitara la comprensión del comportamiento estructural de éste pero en la figura 1.12 y 1.13 se muestran los resultados y la descripción de un ensayo realizado a una muestra de este sistema donde se destaca una carga de rotura igual a 34 kilo newtons.



**Ventajas del Sistema VIGACERO:**

1. Económico, rápido y fácil de instalar.
2. No requiere encofrados, solo se apuntala para luces libres a partir de 4.50 ml.
3. Viguetas más livianas y más resistentes.
4. Fácil de transportar, manipular y apilar.
5. Se puede utilizar en todos los sistemas constructivos.
6. Por tener un menor peso por metro cuadrado que un aligerado convencional, el sistema estructural tiene una mejor respuesta ante un sismo.

**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO**

**DE ESTRUCTURAS DE LA P.U.C.P.**

**Diseño de la losa de 3m de luz,** simplemente apoyada.

Vigueta de altura 9 cm, casetón de altura 12 cm, losa superior de 4 cm, peralte total de 16 cm, espaciamiento entre viguetas de 84 cm. Las nervaduras internas de concreto son de 8 cm. de ancho por 12 cm de altura.

Peso unitario del concreto =  $2400 \text{ kg/m}^3$   
Peso unitario del casetón =  $15 \text{ kg/m}^3$

**Carga muerta:**

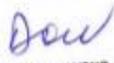
- losa superior	$2400 \times 0.04 = 96 \text{ kg/m}^2$
- nervadura	$2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m} \times 0.08 \text{ m} / 0.84 \text{ m} = 27.43 \text{ kg/m}^2$
- Vigueta	$4.86 \text{ kg/ml} / 0.84 \text{ m} = 5.79 \text{ kg/m}^2$
- Casetón	$15 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m} / 0.84 \text{ m} = 2.14 \text{ kg/m}^2$
- Acabados	$100 \text{ kg/m}^2$

Total carga muerta  $w_m = 131.4 + 100 = 231.4 \text{ kg/m}^2$

**Carga viva:** Según Norma E.020 Cargas, para viviendas  $w_v = 200 \text{ kg/m}^2$

Carga última de diseño de la losa  $w_u = 1.4 w_m + 1.7 w_v = 663.9 \text{ kg/m}^2$

Carga última de diseño para una vigueta  $w_{uv} = 0.84 w_u = 557.7 \text{ kg/m}$

  
**DANIEL ROBERTO QUIJUN WONG**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. del Colegio de Ingenieros Nº 28114

---

Calle Jorge Chávez # 263-265 - Of. 601 - Miraflores  
Edificio Jorge Chávez  
Lima 18 - Perú

Centro Telefónica: 201-3340  
E-mail: prismaing@gmail.com  
www.prismaing.com

Figura 1.12 Resultados de ensayo de laboratorio a sistema VIGACERO (Rivera Grandados, 2016)



Diseño por flexión de una vigueta de 3m de luz:

$$\text{Momento de diseño } Mu(3m) = wuv L^2 / 8 = \mathbf{627 \text{ kg-m}}$$

Para el ensayo de laboratorio de esta losa, se ensamblaron una vigueta central y dos medias viguetas a ambos lados. Esto implica que las cargas se distribuyen entre una vigueta entera y dos medias viguetas, por lo cual se asume que actúan como dos viguetas para efectos de resistencia y deformaciones.

En base a las curvas de carga y deformaciones obtenidas del ensayo, se puede tomar el estado asociado a la fluencia como el que define la capacidad del espécimen. En el gráfico de momento curvatura experimental, la posfluencia de la losa da un momento de  $24.80 \text{ kN-m} = \mathbf{2530 \text{ kg-m}}$ , que dividido entre dos viguetas efectivas da  $\mathbf{1265 \text{ kg-m}}$  de momento resistente experimental. Este resultado supera el momento de diseño  $Mu$  para la vigueta de  $\mathbf{627 \text{ kg-m}}$  por un factor de 2.

Como referencia, según la tabla del sistema VIGACERO, la losa de  $\mathbf{h=0.16m}$  para la luz de 4m, resiste  $300 \text{ kg/m}^2$  de carga viva.

#### Resultado de ensayos de la vigueta vigacero

En el ensayo de carga monotónica, se aplicó una carga  $P$  dividida en dos cargas iguales de valor  $P/2$  a los tercios de la luz libre (1.05 m de cada apoyo). Las cargas totales  $P$  obtenidas en el ensayo fueron:

Carga de fluencia  $P_f = 30 \text{ kN}$   
Carga máxima  $P_m = 36 \text{ kN}$   
Carga de rotura  $P_r = 34 \text{ kN}$

Estado al final de los ensayos:



  
**DANIEL ROBERTO QUIJUN WONG**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 28512

Figura 1.13 Resultados de ensayo de laboratorio a sistema VIGACERO (Rivera Grandados, 2016)



En el trabajo realizado por (Solis Trujillo, 2018), se modeló el sistema VIGACERO junto en un sistema de viguetas de concreto convencional en el software ETABS 2016 obteniendo los resultados mostrados en la figura 1.14, estos datos fueron comparados con los parámetros estipulados por el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú, RNE 2009, lo que nos lleva a pensar que el sistema llegaría a fallar a causa de los momentos flexionantes actuantes en el sistema.

Resumen de Resultados			
VIGACERO		CONVENCIONAL	
Deflexión		Deflexión	
RNE	RESUL.	RNE	RESUL.
0.0086	0.00175	0.0086	0.00065
20.35%		7.56%	
Momentos		Momentos	
ØMn	Mu	ØMn	Mu
0.72	0.1204	0.252	0.0915
13.09%		36.31%	
Cortantes		Cortantes	
ØVn	Vu	ØVn	Vu
0.98	0.3092	1.04	0.2119
31.55%		20.38%	

Figura 1.14 Resultados de modelación en ETABS 2016 del sistema VIGACERO (Solis Trujillo, 2018)

#### 1.1.4.2 Diseño

El Reglamento Nacional de Edificaciones RNE, 2009 de Perú indica que para el diseño de estructuras con sistema solo hay que agregar al momento nominal un factor de reducción (Cecilia & Martell Leon Prieto, 2019).

$$Mn = \rho * Fy * b * d^2 (1 - 0.59 * \rho * Fy / F'c) \quad (1.3)$$

$$\text{Ø}Mn = 0.90 \times Mn \quad (1.4)$$



Y en el caso del cortante vertical el diseño se hará como si se tratara de un elemento monolítico de la misma sección transversal (Cecilia & Martell Leon Prieto, 2019).

Tabla 1.2 Capacidad de carga, luz máxima y espesores (ARCOTECHO, 2017)

ACERO GALVANIZADO ESPESOR 1.50 mm									
DISTANCIA ENTRE EJES DE VIGUETAS ES 0.84 m y CASETON DE 0.75 m									
Sobrecarga Kg/m <sup>2</sup>									
Luz libre (m)	100	200	300	400	500	600	700	800	
	e = 4 cm			e = 5 cm					
ESPESORES DE ALIGERADOS									
SIN APUNTALAMIENTO	2.0								
	2.2								
	2.4								
	2.6		LOSA DE			LOSA DE			
	2.8		H = 14 cm			H = 15 cm			
CON APUNTALAMIENTO	3.0								
	3.2								
	3.4								
	3.6		H = 16cm			H = 17 cm			
	3.8								
	4.0								
	4.2				H = 20 cm		LOSA DE		
	4.4						H = 25 cm (*)		
	4.6								
	4.8								
	5.0					H = 30 cm (*)			
	5.2								
	5.4								
	5.6								
	5.8								
	6.0								
	6.2								
	6.4								
	6.6		HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA						
	6.8								
7.0									
7.2									
7.4									
7.6									
7.8									
8.0									

H = Espesor de la losa aligerada en cm.  
e = Espesor de losa de concreto encima de casetones EPS en cm.  
c = Espesor de casetones EPS en cm.  
(\*) El acero de refuerzo negativo se colocará solo en las losas continuas según diseño estructural.



*Daniel*  
**DANIEL ROBERTO GURIN WONG.**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 20114



Tabla 1.3 Carga última (ARCOTECHO, 2017)

TABLA 2 : CARGA ÚLTIMA PARA VIGUETAS VIGACERO® ESPACIADAS CADA 84 cm							
CARGA ULTIMA (Kg/m <sup>2</sup> ) SEPARACION ENTRE VIGUETAS 0.84m							
Espesor de concreto 4cm			Espesor del concreto 5 cm				
LUZ (m)	H = 9 cm	H = 12 cm	H = 15 cm	H = 20 cm	H = 25 cm	H = 30 cm	H = 33 cm
3,00	1807	2522	3104				
3,10	1638	2362	2907				
3,20	1489	2217	2728				
3,30	1358	2085	2565				
3,40	1241	1964	2416				
3,50	1138	1853	2280				
3,60	1046	1752	2155				
3,70	963	1636	2040				
3,80	889	1510	1934				
3,90	823	1397	1836				
4,00	762	1295	1746	1913	1950	2322	
4,10	708	1202	1662	1821	1856	2210	
4,20	659	1118	1584	1735	1769	2106	
4,30		1042	1511	1656	1688	2009	
4,40		973	1443	1581	1612	1919	
4,50		909	1379	1512	1541	1835	
4,60		851	1320	1447	1475	1756	
4,70		798	1243	1386	1413	1682	
4,80		749	1167	1329	1354	1613	
4,90		704	1097	1275	1300	1547	
5,00		663	1033	1224	1248	1486	
5,10			973	1177	1200	1428	
5,20			918	1132	1154	1374	
5,30			867	1090	1111	1323	
5,40			820	1050	1070	1274	
5,50			776	1012	1032	1228	
5,60				976	995	1185	
5,70				942	961	1143	
5,80				910	928	1104	
5,90				879	896	1067	
6,00				850	867	1032	
6,10				823	839	998	
6,20				786	812	966	
6,30				749	786	936	
6,40				714	762	907	
6,50				682	739	879	
6,60				651	716	853	
6,70					695	828	
6,80					675	803	
6,90					655	780	
7,00					637	756	
7,10					619	737	
7,20						717	
7,30						697	
7,40						678	
7,50						660	
7,60							543 (*)
7,70							526(*)
7,80							510(*)
7,90							495(*)
8,00							480(*)

(\*) Para estas luces consultar con nuestro Departamento Técnico.



Este sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferiran las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y traveses de concreto o de acero.

### **1.1.5 Novidesa**

Los Paneles de Entrepiso Aislante MAKROS NOVIDESA son un sistema de cimbra permanente para losas a base de Poliestireno Expandido de alta densidad (EPS) y sirven para conformar un sistema de losas nervadas en una sola dirección.

Los paneles MAKROS NOVIDESA cuentan con dos canales “C” de acero galvanizado calibre 22 embebidas en su interior, lo que le brinda una mayor rigidez y soporte al momento de transitar sobre los paneles, así como en la colocación del acero de refuerzo y la realización del colado. Estas canaletas son la razón por la cual no es necesario una cimbra complicada. Además nos sirven como soporte para la colocación de diferentes acabados así como el colgante o de falso plafón, paneles de yeso o la colocación de metal desplegado para la aplicación de algún aplanado.

Cada pieza de MAKROS NOVIDESA puede tener 15, 18, 20, 25, 29 ó 32 cm de peralte, 60 cm de ancho total en su parte baja y 47 cm en su parte alta. Las cejas laterales miden 6.5 cm por 5 cm de espesor las cuales al unirse entre si, generan el espacio necesario para armar nervaduras de 13 cm de ancho. La longitud de la pieza depende del proyecto arquitectónico teniendo como longitud máxima 12 m (Grupo Idesa S A de C V, 2012).

Panel m16 NOVIDESA

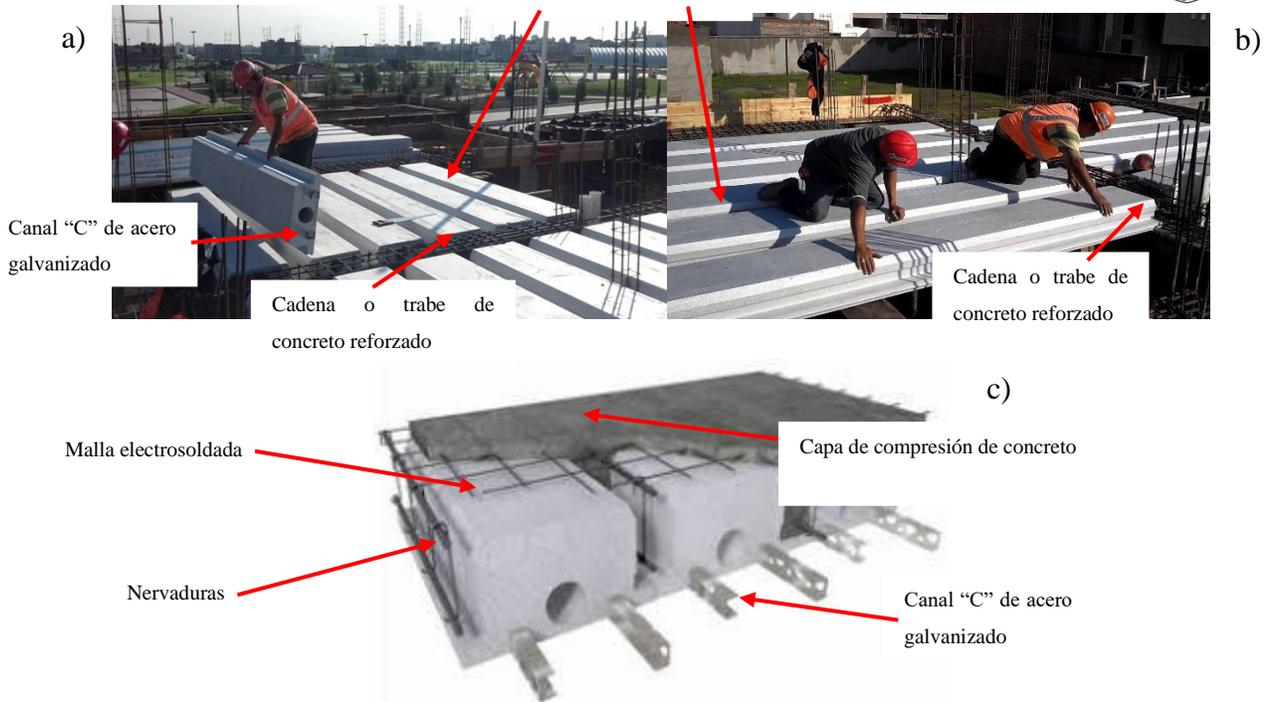


Figura 1.15 a) b) Componentes sistema NOVIDESA c) Esquema de componentes de sistema NOVIDESA (Grupo Idesa S A de C V, 2012)

### 1.1.5.1 Análisis y modo de falla

En el caso de éste sistema no sé encontró información acerca del método de falla que nos ayudaría a conocer un poco mejor la canalización de cargas hacia los apoyos de la losa, facilitando así la comprensión del comportamiento estructural del sistema y por tanto se brindaría información útil para un mejor diseño de la estructura donde se va a utilizar.

### 1.1.5.2 Diseño

#### Especificaciones

*Conductividad Térmica	0.0359 W/m·k
*Permeabilidad de vapor de agua	0.059 ng/Pa·s·m
*Adsorción de humedad (Volumen)	0.030%
*Densidad aparente	16.59 kg/m <sup>3</sup>
Aislamiento Acústico (STC)	40 dB
Ancho	60 cm (23.62")
**Longitud	hasta 12 m (39.36ft)
Peralte	15 cm (5.9")
Peso del panel	4.84 kg/m <sup>2</sup> (0.99 lb/ft <sup>2</sup> )
Peso EPS m <sup>2</sup>	1.84 kg/m <sup>2</sup> (0.37 lb/ft <sup>2</sup> )
Aplicación: Cimbra permanente termoaislante	Losa de entrepiso Losa de azotea Muro Tilt up Muro de Contención

\* Especificaciones certificadas bajo la NOM-018-ENER-2011  
 \*\* Longitud de acuerdo a las necesidades del proyecto.

#### Aislamiento Térmico

Espesor cm	M (m <sup>2</sup> ·K)/W	R (Ft <sup>2</sup> ·Fh/BTU)
15	3.58	20.29

#### Ventajas

- Ejecución de construcción **rápida, sencilla y limpia**.
- **Aislamiento térmico y ahorro en consumo de energía eléctrica**, mantiene los espacios en un ambiente confortable.
- **Fácil de instalar.**
- **Confort acústico.**
- Piezas cortadas **a la medida**.
- **Ahorro en mano de obra.**
- **Fácil aplicación de acabados** como pastas, materiales pétreos, cerámicos, tableros de yeso, tableros de fibrocemento, plafón entre otros.
- **Compatibilidad** con todos los sistemas estructurales<sup>1</sup>.
- Por su ligereza, **reduce las cargas muertas del edificio**.
- Ofrece gran **solidez estructural**.
- **Facilidad para alojar instalaciones.**
- **No requiere equipo especial** para su traslado, colocación y corte.



Panel aislante m16.

#### Rendimiento de mano de obra

Sistema completo	150m <sup>2</sup> /Jor
Colocación del producto	250m <sup>2</sup> /Jor

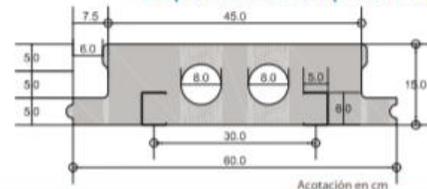
Cuadrilla de un oficial, dos colocadores y un ayudante.

#### Propiedades del canal interno

Peralte a	6 cm
Ancho b	5 cm
Patín c	0.7 cm
Calibre	22
Momento de Inercia (cm <sup>4</sup> )	8.62/ix 4.34/iy
Radio de giro R (cm)	2.57/Rx 1.83/Ry
Módulo de Sección S (cm <sup>3</sup> )	2.87/Sx 1.73/Sy

Peso de canal interno 1.80 kg/m

#### Disponibilidad del panel m16



Acotación en cm

Peralles MAKROS NOVIDESA (cm)	15	20	25	29	32
Peralte de losa total (cm)	20	25	30	34	37
Cant. De Concreto (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )	0,0743	0,0934	0,1064	0,1168	0,1246
Peso Propio (kg/m <sup>2</sup> )	178	224	255	280	299
C.M. Adicionales (kg/m <sup>2</sup> )	215	215	215	215	215
C.M. Total (kg/m <sup>2</sup> )	393	439	470	495	514

Espesor de Panel (cm)	Peso EPS por ml (kg)	Alturas Canaletas cal 22	Peso Acero por ml (kg)	Peso por ml (kg)	Espaciamento máximo de apuntalamiento <sup>2</sup> (m)
15	1.38	6 cm	1.66	3.04	21.00
	1.38	113 cm	2.21	3.59	22.00
	1.74	6 cm	1.66	3.4	21.00
20	1.74	113 cm	2.21	3.95	21.90
	2.21	6 cm	1.66	3.87	21.00
25	2.21	113 cm	2.21	4.42	21.80
	2.59	6 cm	1.66	4.25	21.00
29	2.59	113 cm	2.21	4.8	21.50
	2.87	6 cm	1.66	4.53	21.00
32	2.87	113 cm	2.21	5.08	21.50

1.- Altura de Canaleta bajo pedido especial, favor de consultar al área de Asistencia Técnica de NOVIDESA  
 2.- Para el cálculo del espaciamento máximo del apuntalamiento se consideró una carga del 103% adicional al peso del concreto por m<sup>2</sup> para cada peralte, por tratarse de concreto fresco y acumulaciones del mismo durante el proceso del colado, así mismo se consideró una carga viva de 260 kg/m<sup>2</sup> por el peso de los operarios y se verificó que la deformación de los largueros no rebasaran una deformación máxima permisible de L/400, de acuerdo a los criterios de diseño de cimbras para concreto del ACI.

Tabla 1

Sólo como referencial al cliente.

El proveedor incluye en el manual varias tablas como apoyo para el diseño de la losa tomando en cuenta las diferentes condiciones de apoyo, el tipo de concreto y los claros solicitados por el proyecto. A continuación se muestra un ejemplo de esta tabla.

## Manual de Instalación MAKROS

Tabla de selección de peraltes para losas empotradas-simplemente apoyadas con concreto tipo 1 (ESA-P-C1)

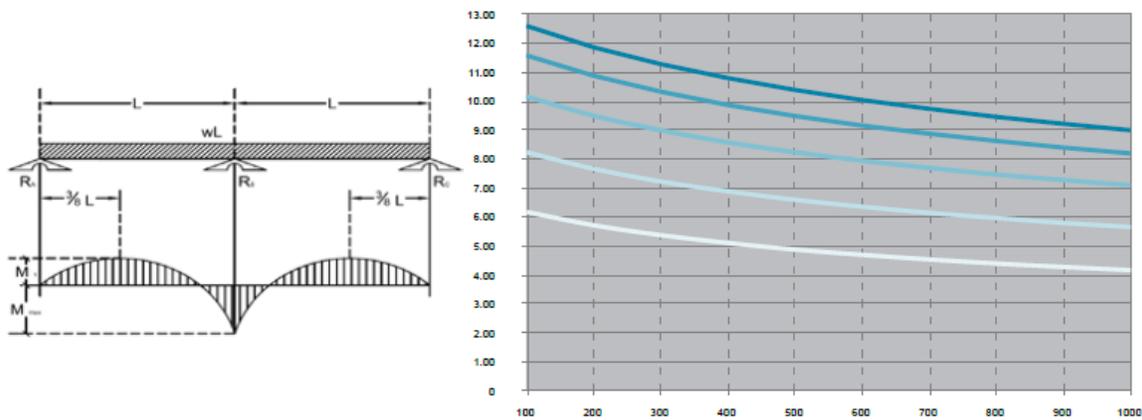


Tabla de armados para nervaduras con acero  $F_y=4200$  y 2 claros en continuidad en losas simplemente apoyadas con concreto tipo 1 (SA-N-2/C-42-C1)

PERALTES (CM)	PESO PROPIO (KG/M2)	C.M. (KG/M2)	C.V. (KG/M2)	ÁREAS DE ACERO (CM2)																	
				CLAROS (M)																	
				2.00		3.00		4.00		5.00		6.00		7.00		8.00		9.00		10.00	
SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF				
15	172	215	450	1.19	0.90	2.68	2.02	4.77	3.59												
			350	1.06	0.79	2.38	1.79	4.23	3.18												
			250	0.92	0.69	2.07	1.56	3.68	2.77												
			170	0.81	0.61	1.82	1.37	3.24	2.44												
			100	0.71	0.54	1.61	1.21	2.86	2.15												
20	198	215	450	0.91	0.68	2.04	1.53	3.62	2.72	5.66	4.26										
			350	0.80	0.61	1.81	1.36	3.22	2.42	5.03	3.78										
			250	0.70	0.53	1.58	1.19	2.82	2.12	4.40	3.31	6.33	4.76								
			170	0.62	0.47	1.40	1.05	2.49	1.87	3.89	2.93	5.61	4.22								
			100	0.55	0.42	1.24	0.93	2.21	1.66	3.45	2.60	4.97	3.74								
25	224	215	450	0.74	0.55	1.66	1.25	2.95	2.22	4.61	3.47	6.64	4.99	9.03	6.80						
			350	0.66	0.49	1.48	1.11	2.63	1.98	4.11	3.09	5.92	4.45	8.06	6.06						
			250	0.58	0.43	1.30	0.98	2.31	1.74	3.61	2.72	5.20	3.91	7.08	5.32						
			170	0.51	0.39	1.16	0.87	2.06	1.55	3.21	2.42	4.63	3.48	6.30	4.74	8.22	6.19				
			100	0.46	0.34	1.03	0.78	1.83	1.38	2.86	2.15	4.12	3.10	5.61	4.22	7.33	5.51				
29	245	215	450	0.65	0.49	1.45	1.09	2.59	1.94	4.04	3.04	5.82	4.38	7.92	5.96	10.34	7.78				
			350	0.58	0.43	1.30	0.98	2.31	1.74	3.61	2.72	5.20	3.91	7.08	5.33	9.25	6.96				
			250	0.51	0.38	1.15	0.86	2.04	1.53	3.18	2.40	4.59	3.45	6.24	4.69	8.15	6.13	10.32	7.76		
			170	0.45	0.34	1.02	0.77	1.82	1.37	2.84	2.14	4.09	3.08	5.57	4.19	7.28	5.47	9.21	6.93		
			100	0.41	0.31	0.92	0.69	1.63	1.22	2.54	1.91	3.66	2.75	4.99	3.75	6.51	4.90	8.24	6.20		
32	299	215	450	0.59	0.45	1.34	1.00	2.37	1.79	3.71	2.79	5.34	4.02	7.27	5.47	9.50	7.14	12.02	9.04		
			350	0.53	0.40	1.20	0.90	2.13	1.60	3.32	2.50	4.79	3.60	6.51	4.90	8.51	6.40	10.77	8.10		
			250	0.47	0.35	1.06	0.80	1.88	1.41	2.94	2.21	4.23	3.18	5.76	4.33	7.52	5.65	9.52	7.16		
			170	0.42	0.32	0.95	0.71	1.68	1.26	2.63	1.98	3.78	2.85	5.15	3.87	6.73	5.06	8.51	6.40		
			100	0.38	0.28	0.85	0.64	1.51	1.13	2.36	1.77	3.39	2.55	4.62	3.48	6.04	4.54	7.64	5.74		

Figura 1.17 Selección de peraltes y armado de nervaduras (Grupo Idesa SA de CV, 2012)



Este sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferiran las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y trabes ya sean de concreto o de acero.

### 1.1.6 Losa alveolar

Elemento monolítico pretensado o armado, con un canto total constante. dividido en una placa superior e inferior (denominadas alas), unidas por almas verticales. formando así alveolos como huecos longitudinales en la sección transversal, que es constante y presenta un eje vertical simétrico.

Las placas tienen bordes laterales provistos con un perfil longitudinal para crear una llave a cortante para transferir el esfuerzo vertical a través de las juntas entre piezas contiguas. Para el efecto diafragma las juntas tienen que funcionar como juntas horizontales a cortante (CEMPOSA C. M., 2018).

Los elementos se pueden usar actuando de forma conjunta con una capa de compresión. El peralte mínimo recomendado o por CEMPOSA para la losa alveolar, es de  $L/40$ . Las losas CEMPOSA pueden ser fabricadas de 15 cm, 20cm. 25 cm o de 30cm de peralte.

Las dimensiones varían ajustándose a las necesidades de la obra. El ancho de 1.2m es fijo, depende del molde; la longitud de la losa puede ser cualquiera porque se cortan a la medida (CEMPOSA C. M., 2018).

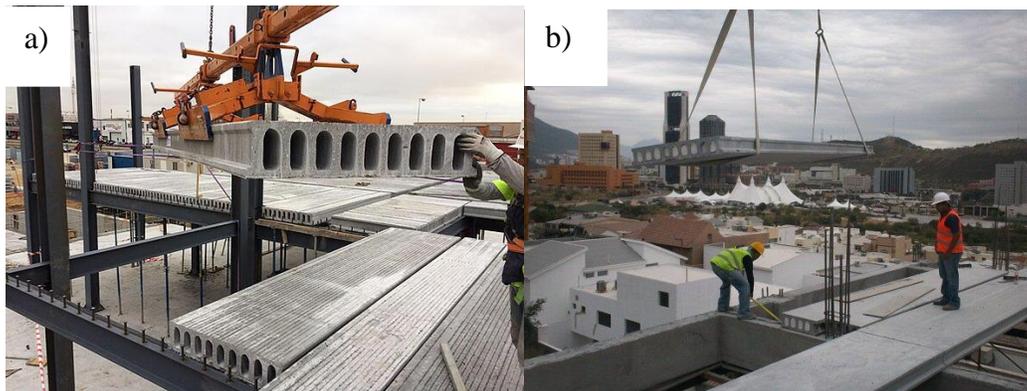


Figura 1.18 a) b) Losa alveolar imágenes reales (TEIDE, 2018)

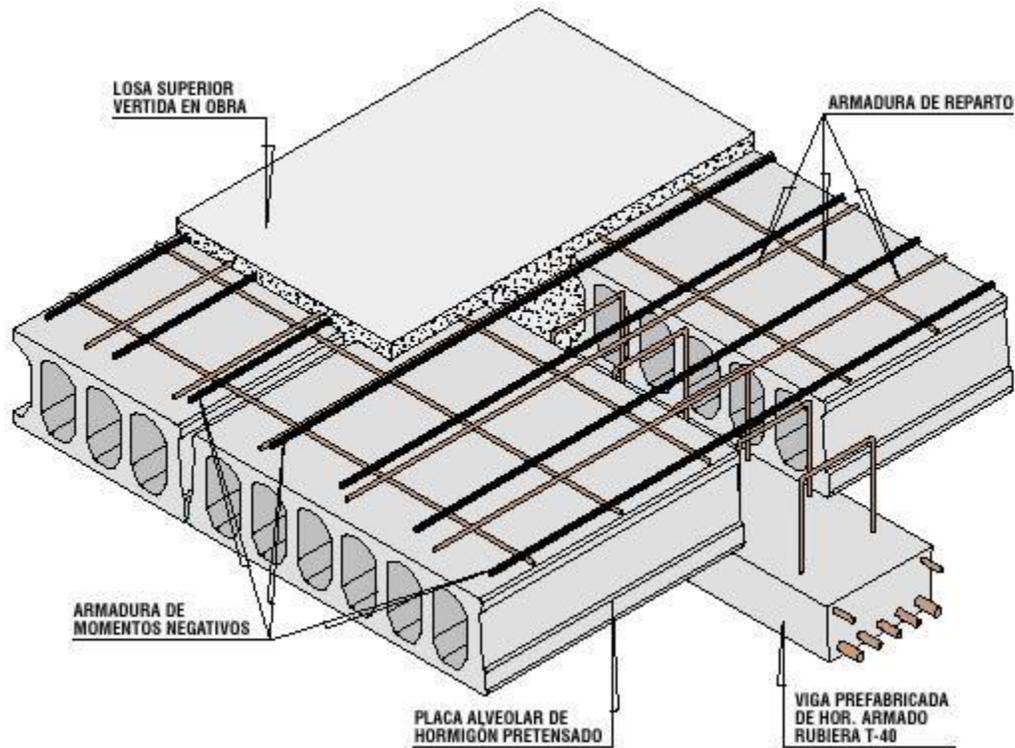


Figura 1.19 Componentes losa alveolar (TEIDE, 2018)

### 1.1.6.1 Análisis y modo de falla

Para este sistema no se encontró información acerca del método de falla ni del análisis del comportamiento estructural de ésta, lo que nos ayudaría a conocer un poco mejor la canalización de cargas hacia los apoyos de la losa, facilitando así la comprensión del comportamiento del sistema y por tanto se brindaría información útil para un mejor diseño de la estructura donde se va a utilizar.

### 1.1.6.2 Diseño

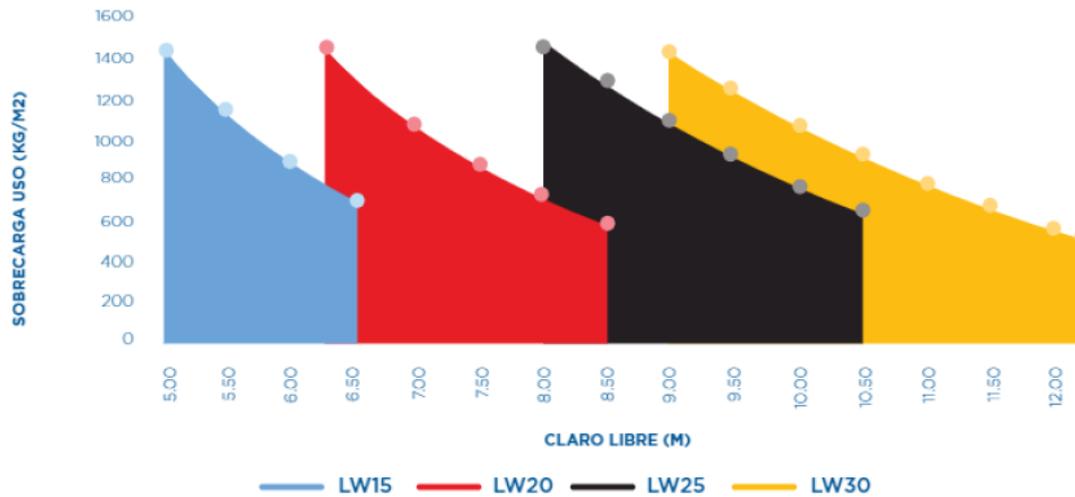


Figura 1.20 Tipo de losa alveolar, claros libres y capacidad de carga

Éste sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferirán las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y traveses ya sean de concreto o de acero.

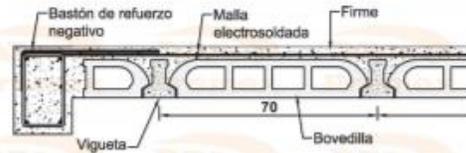
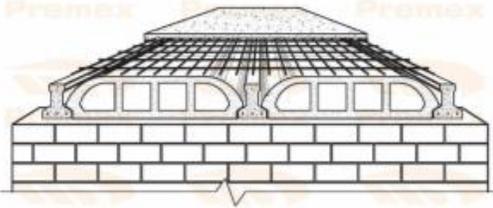
### 1.1.7 Vigüeta y bovedilla

Los sistemas de vigüeta y bovedilla están constituidos por diversos elementos portantes, que son las vigüetas de alma abierta o pretensada y las bovedillas con elementos aligerantes, malla electrosoldada, capa de compresión y apuntalamiento provisional. Cada uno de éstos elementos juega un papel importante y son diseñadas de ésta manera para satisfacer las necesidades de carga, las cuales pueden ser desde 70 kg/cm<sup>2</sup> hasta 1,000 kg/m<sup>2</sup> (PREMEX, 2013).



Figura 1.21 a) b) c) Componentes Vigueta y Bovedilla

## 2.1 SISTEMAS DE PISO DE VIGUETA Y BOVEDILLA

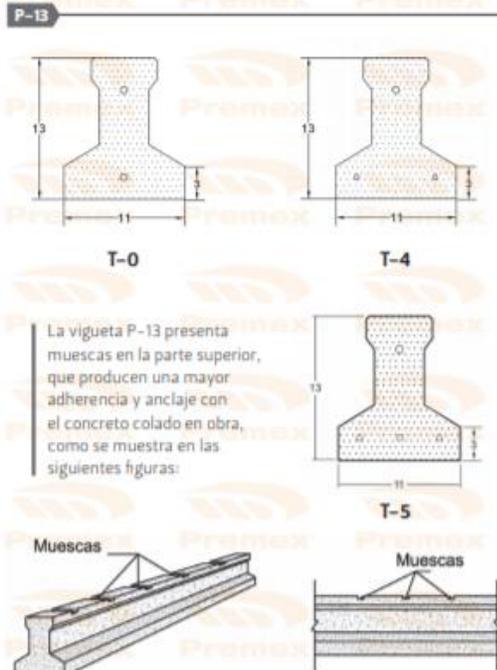
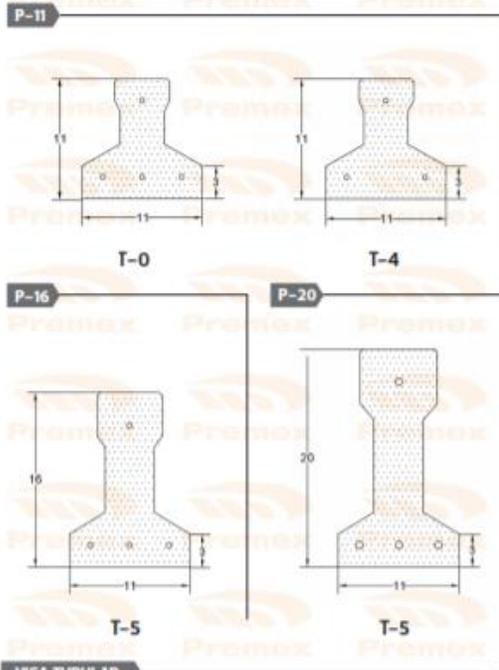


### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VIGUETAS Y BOVEDILLAS

#### Viguetas pretensadas

Se usa acero de presfuerzo de  $15000 \leq f_y \leq 17000 \text{ kg/cm}^2$  y concreto de alta resistencia de  $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ .

Los peraltes producidos son los siguientes:



#### VIGA TUBULAR

La viga tubular es también una vigueta pretensada, se utiliza en claros hasta 9 y 10 m ver detalles en pág. 32

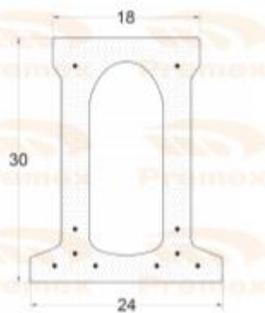


Figura 1.22 Tipos de viguetas prefabricadas de concreto (PREMEX, 2013)



### 1.1.7.1 Análisis

Para éste sistema no se encontró información acerca del método de falla ni del análisis del comportamiento estructural de éste, lo que nos ayudaría a conocer un poco mejor como es canalización de cargas hacia los apoyos de la losa, facilitando así la comprensión del comportamiento del sistema y por tanto se brindaría información útil para un mejor diseño de la estructura donde se va a utilizar.

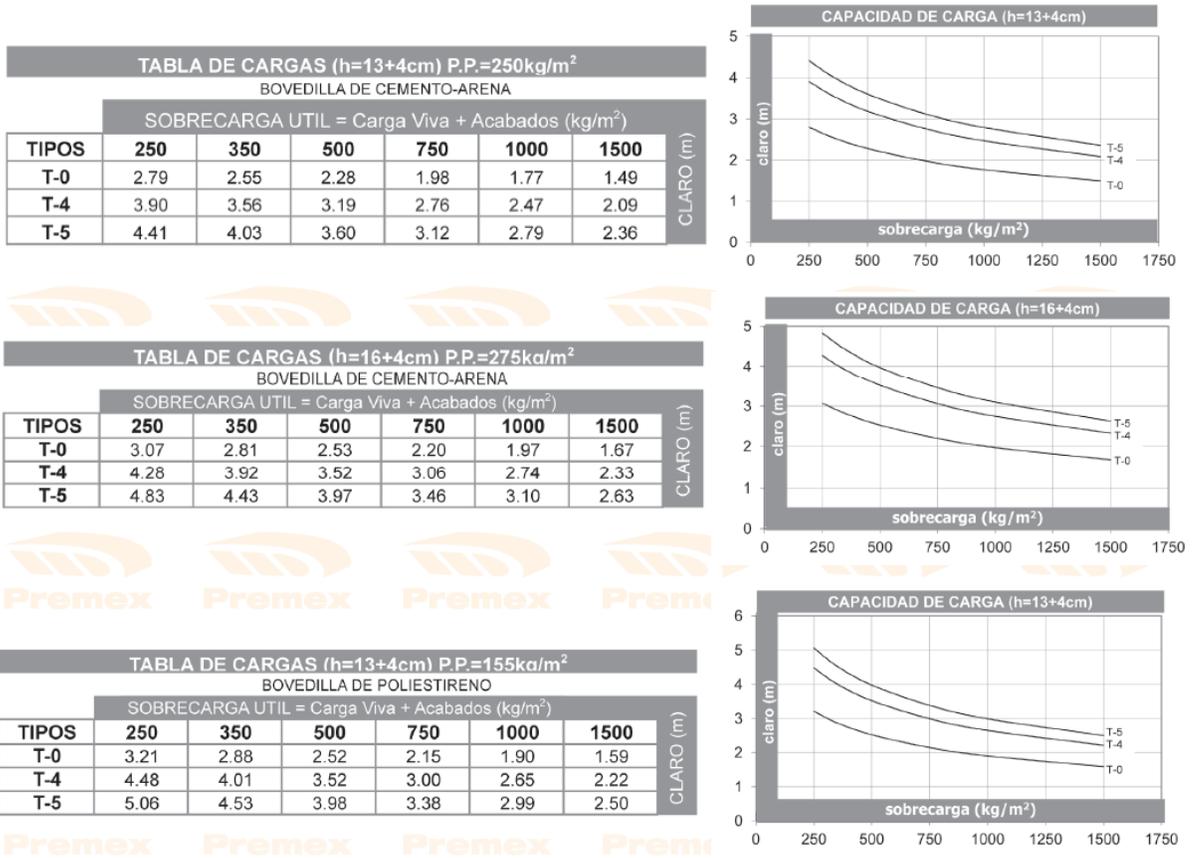
### 1.1.7.2 Diseño

Tabla 1.4 Momentos resistentes para las diferentes vigas (PREMEX, 2013)

TABLAS DE MOMENTOS RESISTENTES POSITIVOS Y NEGATIVOS DE FORJADOS EN DIFERENTES PERALTES PARA LAS VIGAS: T-0, T-4 Y T-5										
FLEXIÓN POSITIVA (por m.)					FLEXIÓN NEGATIVA (por m.)					
Sistema	Tipo viga	Momento último kgm/m	Momento de trabajo kgm/m	Rigidez m <sup>3</sup> /kg/m	Refuerzo superior por nervio	Momento último mkg/m sec. tipo	Momento de fisuración mkg/m	Rigidez m <sup>3</sup> /kg/m	Cortante último kg/m	
(13+4) 70	0	781	545	375000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	1205 1397		794	375000	2126
	4	1523	950	375000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	1687 1860				2126
	5	1946	1225	375000	3φ1/2" 2φ5/8"	2001 2144				2126
(16+4) 70	0	989	722	586000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	1480 1719		1062	586000	2516
	4	1920	1258	586000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	2086 2308				2516
	5	2449	1621	586000	3φ1/2" 2φ5/8"	2485 2933				2516
(15+5) 70	0	989	722	586000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	1480 1719		1062	586000	2516
	4	1920	1258	586000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	2086 2308				2516
	5	2449	1621	586000	3φ1/2" 2φ5/8"	2485 2933				2516
(20+5) 70	0	1340	1046	1079000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	1936 2257		1638	1079000	3052
	4	2557	1820	1079000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	2751 3054				3126
	5	3284	2343	1079000	3φ1/2" 2φ5/8"	3290 3889				3126
(25+5) 70	0	1687	1392	1743000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	2393 2794		2268	1743000	3277
	4	3250	2423	1743000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	3417 3801				3685
	5	4115	3116	1743000	3φ1/2" 2φ5/8"	4096 4844				3685
(30+5) 70	0	2041	1750	2584000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	2849 3331		2986	2584000	3477
	4	3914	3044	2584000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	4083 4547				4109
	5	4971	3919	2584000	3φ1/2" 2φ5/8"	4902 5800				4193
(35+5) 70	0	2388	2113	3607000	1φ1/2" + 1φ3/8" 2φ1/2"	3305 3868		3759	3607000	3793
	4	4573	3682	3607000	1φ5/8" + 1φ3/8" 1φ5/8" + 1φ1/2"	4748 5293				4259
	5	5809	4726	3607000	3φ1/2" 2φ5/8"	5708 6755				4650



Tabla 1.5 En las siguientes tablas y gráficas se muestra el claro admisible según la carga, el tipo de vigueta, concreto y aligerante.



Éste sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferiran las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y traveses ya sean de concreto o de acero.

### 1.1.8 Semivigueta o vigueta de alma abierta y bovedilla

El sistema de vigueta de alma abierta está compuesto por elementos prefabricados (vigueta y bovedilla) y elementos colocados en obra (malla electrosoldada y firme de concreto) los cuales en su conjunto forman un sistema de losa unidireccional, capaz de resistir las solicitaciones de carga y servicio requeridas para la edificación (CEMPOSA C. M., 2018).



Figura 1.23 a), b) c) Componentes de vigueta de alma abierta o semivigueta y bovedilla

### 1.1.8.1 Análisis

En el trabajo realizado por (Hernández, 2017), se ensayó una losa de este sistema comparando los resultados con los descritos por la norma ACI 318-11S donde se especifican las deflexiones permitidas en losas de entrepiso en función del claro que cubren, además de las cargas de diseño de estos sistemas. En el trabajo se definió una carga de diseño para el sistema, para ensayar la losa con esta carga, después, se le agregó un factor de 2 a esta carga buscando hacer fallar el sistema, no se consiguió así que se le agregó una carga del 30% más de la carga de diseño y se obtuvieron los siguientes resultados:



Tabla 1.6 Resultados de deformaciones en ensayo de losa (Hernández, 2017)

Fuerza		Lectura						Desplazamiento		Deformación				
Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 2		DEF 2 CM				
Carga de diseño	1418.7	13.931634	6	7	92.0	7	8	19.5	2	3	4.5	8.195	3.475	0.3475
Carga con Factor 2	2844.5	27.93299	6	7	38.5	7	8	61.0	6	7	18.0	7.61	10.955	1.0955
Carga con Factor 2 y 30% mas	3309.7	32.501254	7	8	6.5	7	8	51.5	6	7	45	7.515	15.525	1.5525
	1287	12.63834												0.486486486
	2574	25.27668												0.972972973
	2960.1	29.068182												1.118918919

Carga de diseño  
Carga con Factor 2  
Carga con Factor 2 y 30% mas

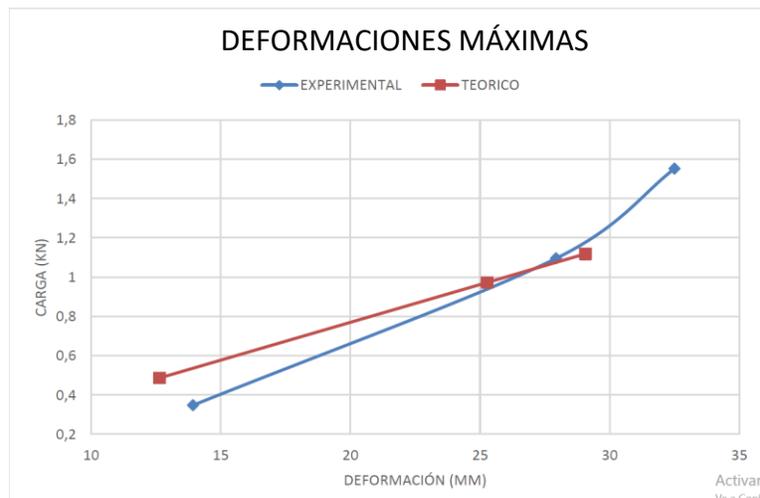


Figura 1.24 Grafica carga-deformación del sistema semi vigueta y bovedilla (Hernández, 2017)

Después de 0,1905 cm de deformación, deja de trabajar en conjunto el sistema y comienza a trabajar el acero hasta 0,3475 cm, después ya comienza a trabajar el acero de la vigueta, al no verificar una gran deformación se carga con factor 2 la losa se obtiene que el acero comienza a ceder de nuevo en 0,4905 cm hasta 0,6 cm, después ya comienza a trabajar el acero de la vigueta. Al no verificar falla de la se descarga y vuelve a carga donde fluye el acero de la carga de diseño se le agrega un 30 % más y se obtiene en la carga última, una deformación 1,55 cm lo cual indica que la losa es aceptable, según su carga de diseño y su factor de seguridad.

La losa fue diseñada para resistir un 33 % en la deflexión de 0,0034 mts, de la carga de diseño 240 kg/m<sup>2</sup>. La deflexión admisible del sistema sería de 0,02 mts por la longitud de la losa que es 3,70 mts y con ella tiene la capacidad de resistir el 67 % más, en la que reporta una deflexión de 0,0155 mts, que puede soportar en la carga última.



En este trabajo no se logró hacer fallar el sistema, información que nos sería muy útil para conocer más a fondo la manera en que se canalizan las cargas de la losa hacia los apoyos, lo que nos ayudaría a comprender de mejor manera el comportamiento de una estructura donde se utiliza este sistema, permitiendo así, un mejor diseño estructural.

### 1.1.8.2 Diseño

Los momentos negativos en los apoyos generados por la condición de servicio serán tomados por el acero de refuerzo colocado en el firme sin contar el acero de la malla electrosoldada. Este acero se obtiene a partir de la expresión de momento resistente de elementos de concreto sometidos a flexión (CEMPOSA C. M., 2018).

$$As = \frac{Mu}{F_R f_y 0.9d} \quad (1.5)$$

Tabla 1.7 Selección del tipo de viga según claro y carga solicitada (CEMPOSA C. M., 2018)

Longitud (m)	SISTEMA	PP Kg/m <sup>2</sup>	300 kg/m <sup>2</sup>	350 kg/m <sup>2</sup>	400 kg/m <sup>2</sup>	450 kg/m <sup>2</sup>	500 kg/m <sup>2</sup>	550 kg/m <sup>2</sup>	600 kg/m <sup>2</sup>	700 kg/m <sup>2</sup>	800 kg/m <sup>2</sup>
2.5	24+6	214	V0								
3			V0	V0	V0	V0	V0	V1	V1	V1	V2
3.5			V1	V1	V1	V1	V2	V3	V5	V6	V7
4			V2	V2	V3	V5	V7	V	V8	V9	V10
4.5			V7	V7	V7	V8	V9	V9	V10	V11	V13
5			V8	V8	V9	V10	V10	V11	V13	V14	V16
5.5			V10	V10	V11	V12	V13	V14	V14	V15	V17
6			V12	V12	V13	V14	V14	V15	V17		

Este sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferiran las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y trabes ya sean de concreto o de acero.

Hablando de los sistemas de concreto presforzado, que son los últimos dos mencionados (vigüeta/semivigüeta y bovedilla) encontramos en el trabajo de Clemente Chávez et al.,



(2018) en el cual se probó hasta la falla un sistema como estos mencionados y entre los datos mas importantes obtenidos, se encontró que el sistema soporta una carga 6 veces mayor a la dictada por la normativa vigente en el país, lo cual nos lleva a pensar que se pueden optimizar mucho en los sistemas de entrepiso. Otro dato relevante encontrado en éste trabajo, fue que se detectó una falla frágil en el sistema, gracias al acero de alta resistencia y concreto de  $f'c=450 \text{ kg/m}^3$  utilizado en este.

### **1.1.9 Bubbledeck**

El sistema de piso tipo bubbledeck es un sistema originado en Dinamarca a finales de los años 90's, que trabaja como losa en dos direcciones, su análisis y diseño es por medio de métodos convencionales para losas macizas cumpliendo con los reglamentos de concreto reforzado vigentes y aplicables en México. Este sistema esta conformado por:

- Base de concreto precolado
- Refuerzo de fabricación en base a una doble parrilla de acero en los lechos superior e inferior, conectada por medio de una armadura.
- Esferas huecas de plástico de diferentes diámetros, que elimina concreto no estructural.

En sitio es necesario una capa superior de concreto colado en sitio.

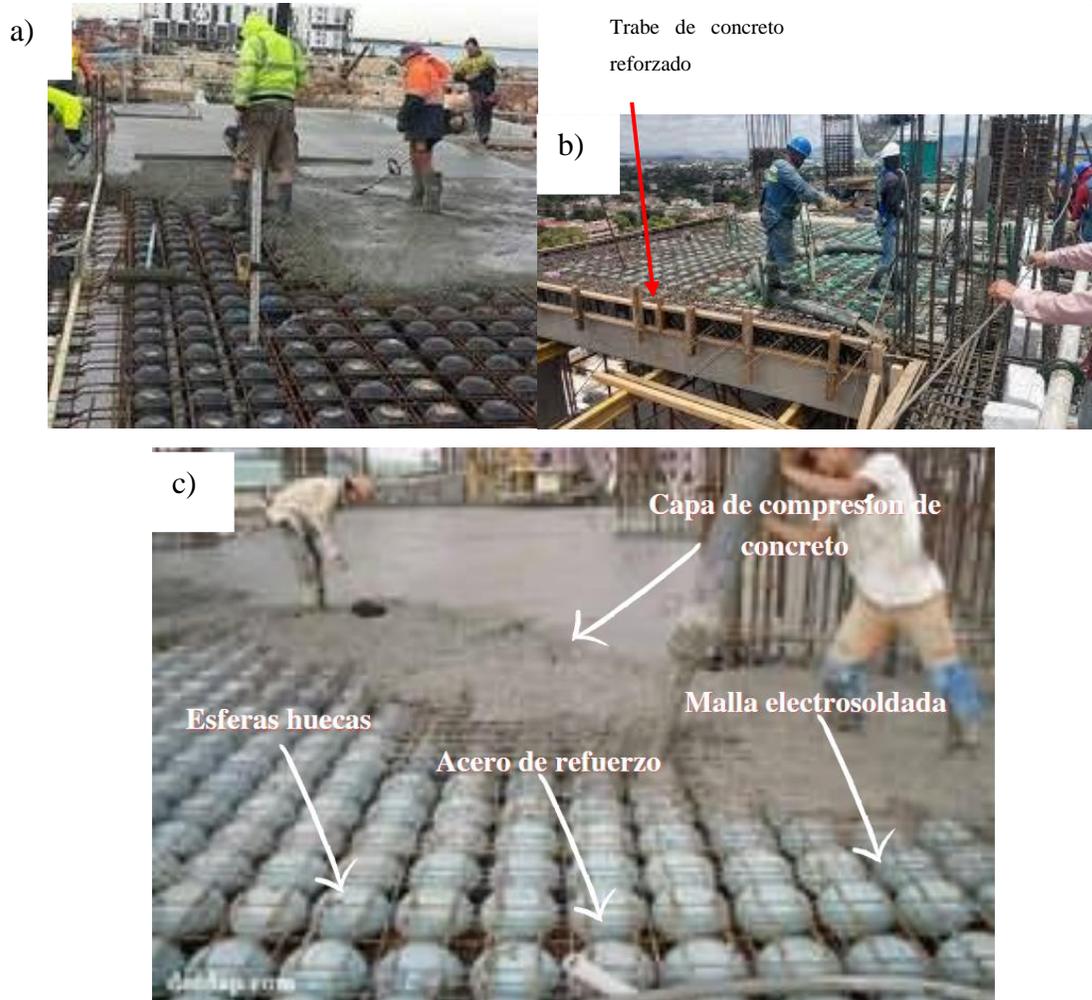


Figura 1.25 a), b), c) Componentes sistema Bubbledeck (Structuralia, 2015)

### 1.1.9.1 Análisis y modo de falla

En cuanto al análisis y modo de falla de este sistema no se encontró información que nos permitiera conocer más a detalle la manera en que éstas losas canalizan las cargas a los apoyos, lo que nos ayudaría a comprender mejor cómo se comporta una estructura que utiliza éste sistema, ayudando así, al ingeniero estructural a realizar un mejor diseño. (DANSTEK, 2016)



### 1.1.9.2 Diseño

$$\mu_s = \frac{0.196MuD}{F'Ch^3} \leq 0.20 \quad (1.6)$$

Dónde:

$\mu_{ms}$ : Relación de momento flexionante en la zona de la esfera

$M_u$ : Momento de diseño último obtenido del modelo matemático [t-m]

$D$ : Diámetro de esfera [m]

$f'c$ : Resistencia a compresión del concreto [kg/cm<sup>2</sup>]

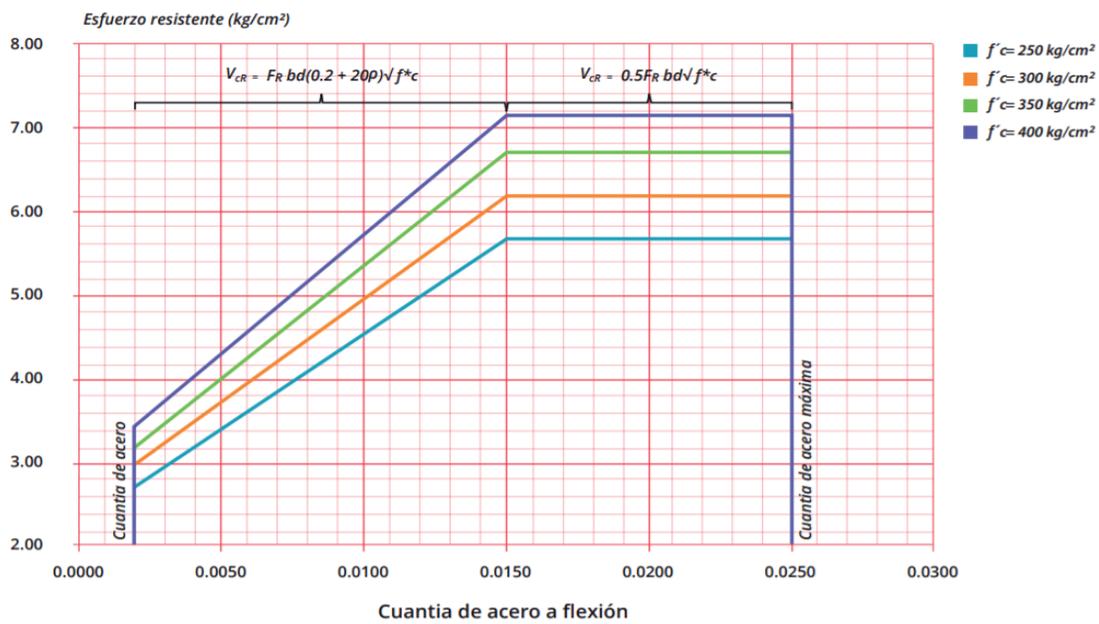


Figura 1.26 Esfuerzo resistente máximo a cortante para revisión de losa como placa plana (DANSTEK, Manual de diseño y cálculo estructural de losa prefabricada Bubbledeck, 2016)



Tabla 1.8 Especificaciones recomendadas por el fabricante para un correcto diseño dependiendo el espesor de la losa.

Espesor mínimo de losa	[cm]	23.0	28.0	34.0	40.0	45.0	51.0	60.0
Diámetro de esfera	[cm]	18.0	22.5	27.0	31.5	36.0	41.0	45.0
Distancia mínima a ejes	[cm]	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
Máximo número de esferas	[1/m <sup>2</sup> ]	25.0	16.0	11.1	8.16	6.25	4.78	4.0
Reducción de carga por esfera	[kg]	8.16	15.3	26.5	41.8	62.2	93.1	121.3
Reducción de carga por m <sup>2</sup>	[kg/ m <sup>2</sup> ]	194.8	243.7	291.6	340.6	389.5	445.0	486.4
Factor de reducción de rigidez	[-]	0.88	0.87	0.87	0.88	0.87	0.87	0.88
Factor de reducción a cortante	[-]	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

Este sistema puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura pues el fabricante proporciona detalles constructivos para la unión de la losa con los elementos que transferirán las cargas de la losa a las columnas, ya sean cadenas, vigas y traveses ya sean de concreto o de acero.

#### 1.1.10 B-CORE Slab

La losa B-CORE está compuesta por dos placas de acero inoxidable unidas con una serie de tubos de núcleo extremadamente delgados a través de un proceso de soldadura fuerte de cobre a 1.100 °C. El desempeño mecánico de B-CORE es equivalente a los paneles honeycomb usados en naves espaciales, los tubos de B-CORE hacen la función de los hexágonos de los paneles honeycomb, que son los que le dan las excelentes propiedades mecánicas a estos elementos estructurales. El espacio entre los tubos centrales permite un proceso de soldadura fuerte de cobre con aire caliente que mantiene el calentamiento uniformemente. Esto permite la soldadura fuerte de paneles de gran tamaño y una superficie del material similar a un espejo, plana y lisa.

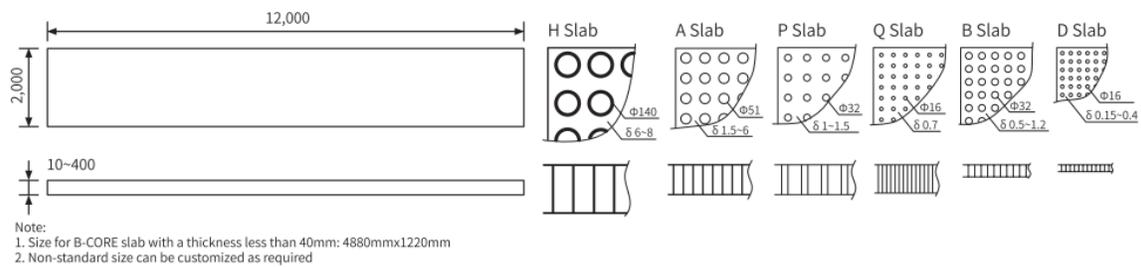
# SPECIFICATIONS OF B-CORE SLAB



Unit: mm

Key Application	Code	Core Tube	Tube Qty/m <sup>2</sup>	Plate Thickness	Slab Thickness	Weight kg/m <sup>2</sup>
Building column, crossbeam, floor slab	A	Φ51×0.3/0.5	100	1.5, 2.5, 4, 6	100, 150	31-108.6
Insulated exterior structural wall	P	Φ32×0.22	100	1, 1.5	150	20-27.7
Insulated exterior wall	Q	Φ16×0.09	208	0.7	150	13.71
Outer shell of large vehicle and aircraft, building interior wall	B	Φ32×0.22	275	0.5, 0.7, 1, 1.2	40-100	10.3-22.3
Outer shell of car and aircraft	D	Φ16×0.09	1,033	0.15-0.4	10-80	3.71-10.9
Bridge, large ship	H	Φ140×1.5	20	6, 8	150-400	118-183

### Standard B-CORE slab size



*Figura 1.27 Especificaciones losa B-CORE*

### 1.1.11 Sistema de refuerzo compuesto con tubos huecos (hollow CRS) (Al-Fakher et al., 2021)

Este sistema desarrollado en Australia, busca disminuir la cantidad de concreto utilizado en la losa utilizando un tubo de acero hueco, que además de disminuir la densidad del elemento, funciona también como acero de refuerzo fig. 1.28.

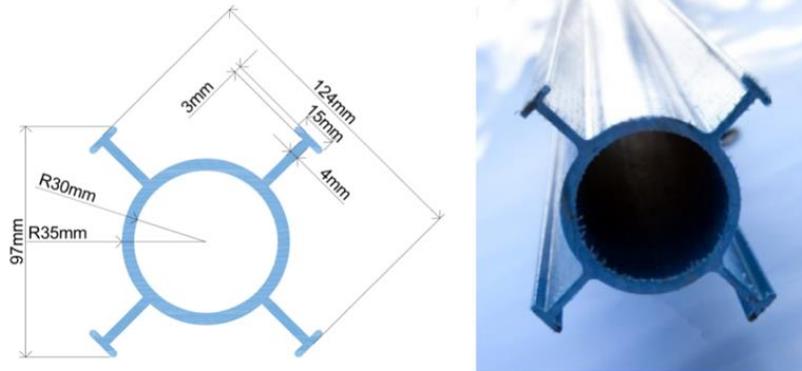


Figura 1.28 Tubo hueco de acero

El sistema probado es un sistema modular y prefabricado fig 1.29. Como datos importantes encontramos que se logró aumentar la capacidad de carga del sistema en un 112% en comparación con una losa maciza de concreto reforzado, además de aumentar también la rigidez en un 24% y se observó que estos tubos de refuerzo modifican la dirección de las grietas alargando el punto de falla.

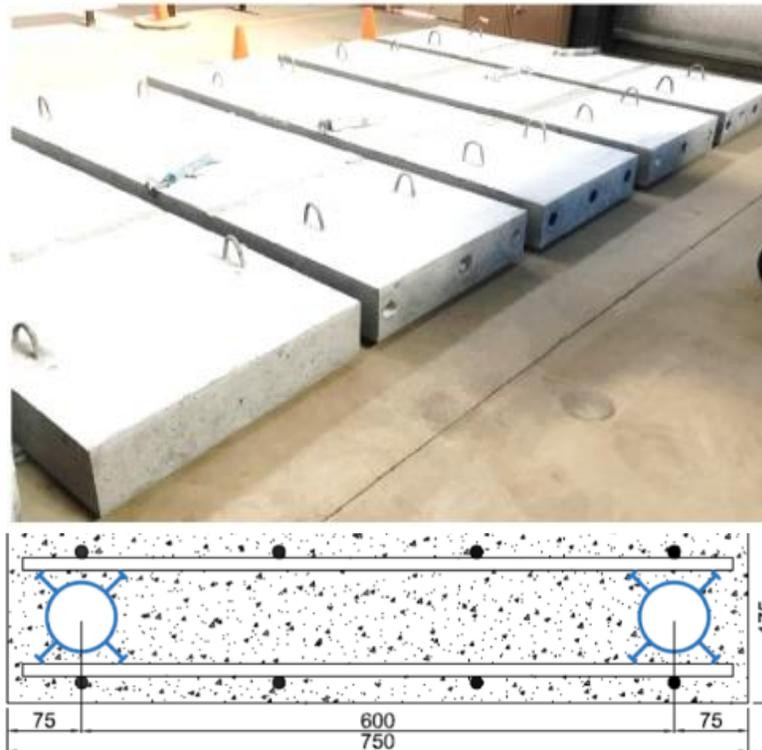


Figura 1.29 Sistema de refuerzo compuesto con tubos huecos



Similar este sistema, esta el desarrollado por Al-Rubaye et al., (2020) donde se utilizan exactamente los mismos elementos solo que los tubos en lugar de ser de estan hechos de polimero reforzado con fibra de vidrio o GFRP por sus siglas en inglés. Este sistema logró reducir en 9% del peso con respecto a la losa maciza de concreto, se logró aumentar la rigidez en un 33%, redujo la pérdida de rigidez tras el agrietamiento del concreto en un 24% y aumentó la capacidad de carga en un 45%. En la figura 1.30 podemos ver un ejemplo del tu de polimero reforzado con fibra de vidrio, este material fue elegido debido a a la similitud del modulo de elasticidad de este con respecto a la del acero.

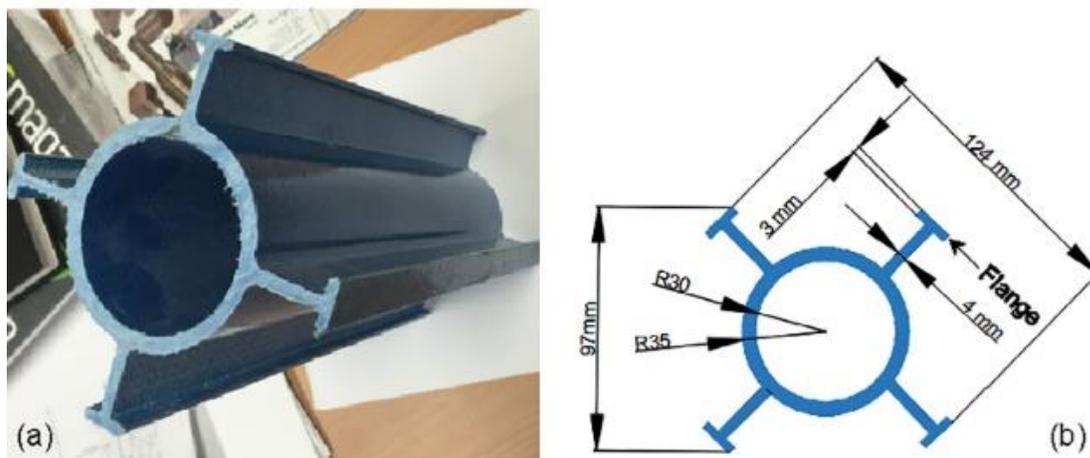


Figura 1.30 Tubo de polimero reforzado con fibra de vidrio.

### 1.1.12 Losa con viguetas “C” de metal rolado en frío (Lakkavalli & Liu, 2006).

Este sistema esta formado por una capa de concreto sostenida por viguetas de acero rolado en frío tipo “C” fig. 1.31. en el trabajo se probaron diferentes muestras variando los conectores de cortante y el espesor del perfil tipo “C” en busca de encontrar el mejor rendimiento ante las condiciones de carga de las normas correspondientes.

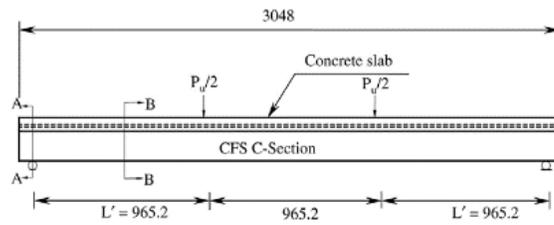


a)

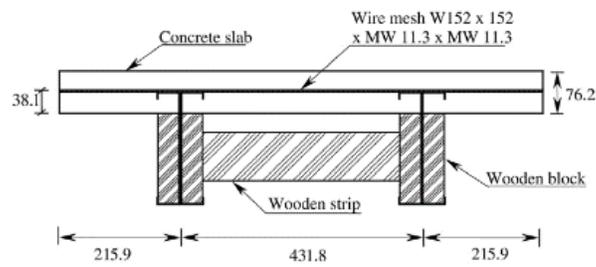
b)



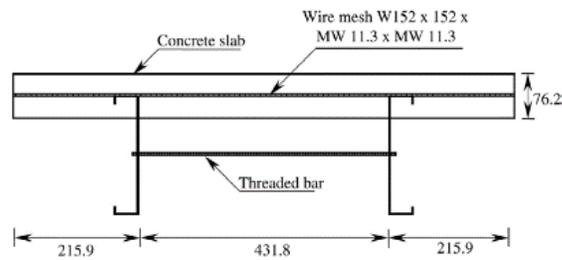
c)



d)



e)



f)

Figura 1.31 a) Agujeros pre-perforados, b) Tornillos auto perforantes, c) Pestañas prefabricadas dobladas, d) Alzado de muestra a escala real, e) Sección A-A, f) Sección B-B'



*Figura 1.32 Prueba de muestra a escala real*

El objetivo de este trabajo era comparar la manera en que se transmite la fuerza cortante entre los elementos de acero y el concreto, con diferentes formas de colocar los pernos de cortante, y los resultados fueron una comparación entre los diferentes especímenes, pero podemos destacar que se está trabajando en diferentes sistemas de losas de entrepiso.

### **1.1.13 Losa Tridimensional Modular (LTM) (Peña Campos , 2021)**

El sistema descrito aquí es la “Losa Tridimensional modular” LTM; idea basada en el concepto y sistema de tridilosa se le debe al mexicano Heberto Castillo Martínez en el año 1962. Un sistema eficiente para cubrir grandes claros en las edificaciones como naves industriales y auditorios.

Un módulo de este sistema ha sido definido con medidas 3.50 m y 0.18 m adicionales en apoyos. Esto último fue planeado para poder ser apoyado en muros de block de 15 cm de ancho y se tenga un espacio cómodo para colocar de manera rápida y sin necesidad de muchos cortes para la cimbra de madera. La sección transversal del módulo es de 0.50 m de ancho y 0.18 m de alto como se muestra en la Figura 1.29.

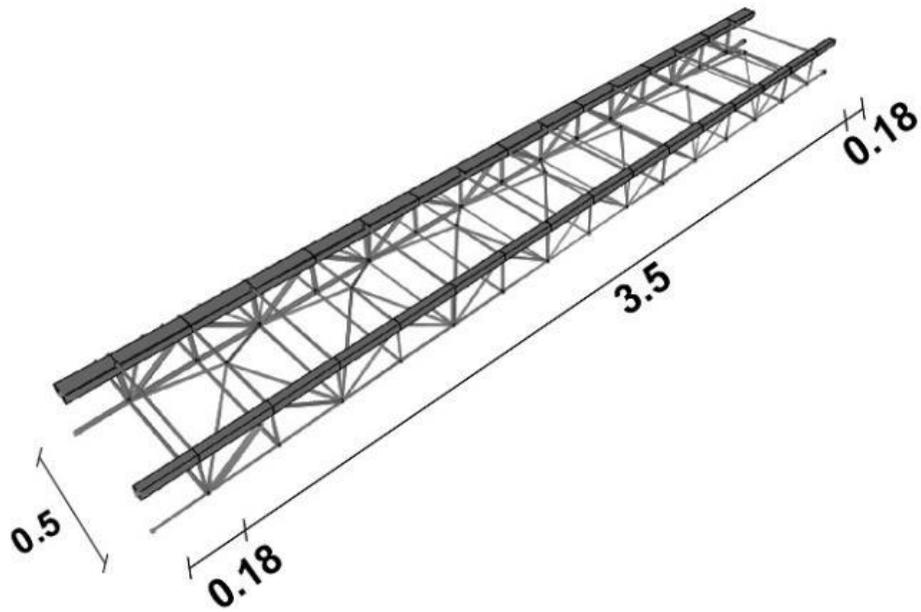


Figura 1.29 Isométrico del Módulo del sistema LTM (Peña Campos , 2021)

El sistema Tridilosa Modular está compuesto por una base de un marco superior de un perfil tubular rectangular PTR 1”x 1”. El resto del sistema están conformado por barras comerciales de acero del número 3 con un diámetro de 3/8” como se muestra en la Figura 3.2, sus propiedades se muestran en la Figura 1.30.



Figura 1.30 Sistema "LTM"



Analizando este sistema podemos enlistar las siguientes ventajas sobre los sistemas existentes:

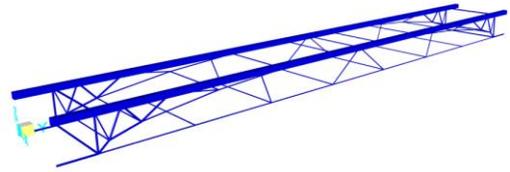
- Sistema principal de acero estructural prefabricado
- Costo competitivo
- Ligero
- Fácil montaje
- Gran durabilidad

Encontrando así también las siguientes desventajas:

- Proceso constructivo complejo
- Mas resistencia de la necesaria
- Dimensiones limitadas



## II



### 2. MODELO DE LOSA MODULAR EN ARCO (LMA)

Por lo mencionado anteriormente, en pro del desarrollo de nuevos sistemas estructurales para la vivienda, la Universidad Autónoma de Querétaro UAQ, en los últimos años, se han sumado esfuerzos para realizar investigación en tecnologías para la construcción de vivienda (e.g., creación del centro de tecnologías para la vivienda CETEVI 2017-2020) y a la par con algunos trabajos desarrollados en sistemas de losa (e.g., Clemente Chávez, et al. (2016), Peña Campos, J. Z. (2021)).

Con bases en la revisión del estado del arte la propuesta de LMA se sustenta en los siguientes se sustenta en los siguientes puntos que garantizan su comercialización en el mercado del déficit de la vivienda.

- ✓ Modulable
- ✓ Eficiencia estructural
- ✓ De fácil y rápida ejecución
- ✓ Económico
- ✓ A base de materiales comerciales
- ✓ Ligero
- ✓ Prefabricado
- ✓ No uso de maquinaria pesada
- ✓ No uso de mano de obra y equipo especializado en obra
- ✓ Sistema muy dúctil antes del colapso.

Para llegar a encontrar un sistema que cumpliera con los puntos mencionados anteriormente, y con bases a la experiencia en la construcción del Dr. Alejandro Clemente Chávez se tuvo la idea de hacer una estructura en forma de “arco” debido a que desde de tiempos remotos ha sido muy utilizada pues para algunos autores el arco es la “estructura ideal” ya que funciona



como un conjunto de elementos que transmiten las cargas, ya sean propias o provenientes de otros elementos, hasta los muros o pilares que lo soportan. De esta forma el arco es un sistema en equilibrio. Por su propia morfología los elementos están sometidos a esfuerzos de compresión, fundamentalmente, pero transmiten empujes horizontales en los puntos de apoyo (Fernández, 1990).

Además de lo anterior, establecimos las dimensiones de acuerdo a nuestro criterio y experiencia buscando la practicidad y economía del sistema., enfocado a casas habitación en México. El peralte fue definido tomando en cuenta las dimensiones de las cadenas de concreto utilizadas comúnmente en los muros de mampostería para unir éste con las losas, el ancho de los módulos se definió pensando en hacerlos ligeros y fáciles de manipular para una persona y, por último, el largo fue pensado para cubrir los claros más comunes en las casas habitación de nivel medio-bajo en el país.

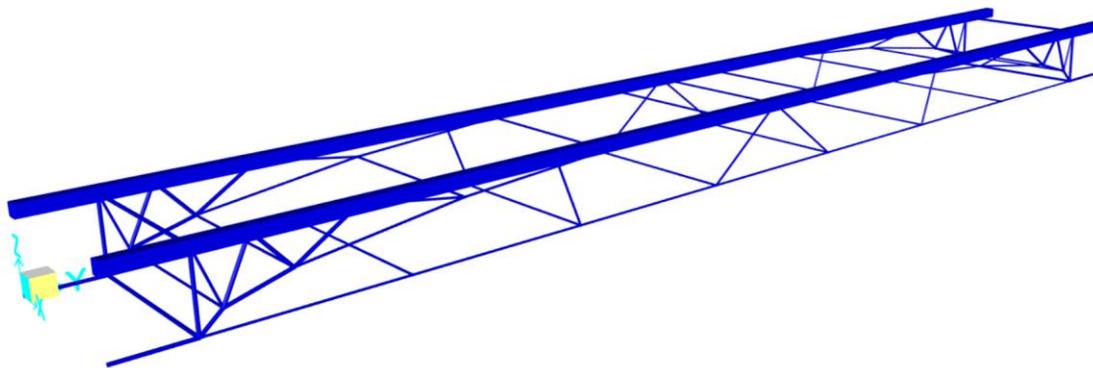
Con base en lo anterior, la geometría y dimensiones propuestas son las que se muestran en la figura 2.2. En un análisis previo a la construcción del modelo físico LMA hecho en el programa de análisis estructural SAP (Structural Analysis Program) para simular el comportamiento del modelo bajo condiciones reales y después de experimentar con la geometría y los perfiles que conformarían al modelo, se determinó que sería constituido de perfiles de acero PTR de 1" x 1", redondo liso de 1/4" y varillas de 3/8" como se muestra en la figura 2.1. En un inicio se pensó en utilizar solamente PTR'S y varillas para construir el modelo, pero analizando los elementos menos esforzados se decidió cambiarlos por el redondo liso para hacer el modelo más ligero y económico.

En los dos párrafos anteriores, se puede notar el proceso para llegar a la optimización, buscando un ahorro en el peso de la estructura y el costo de los materiales; en cuanto a practicidad, los módulos están pensados para hacerse en producción "en serie" y, además, al ser ligeros, son fáciles de manipular ahorrando tiempo y haciendo más eficiente el proceso constructivo, Figura 2.1.



*Figura 2.1 Módulo LMA manipulado por una persona*

Validado el modelo analítico se procedió a fabricar el modelo físico con los perfiles establecidos, trabajo hecho por un técnico profesional en el área, Fig 2.2. Terminado el trabajo de herrería se sometió el modelo LMA a un proceso de “galvanizado” con intención de protegerlo de la oxidación y poder garantizar su correcto desempeño. Fig. 2.4.



a)

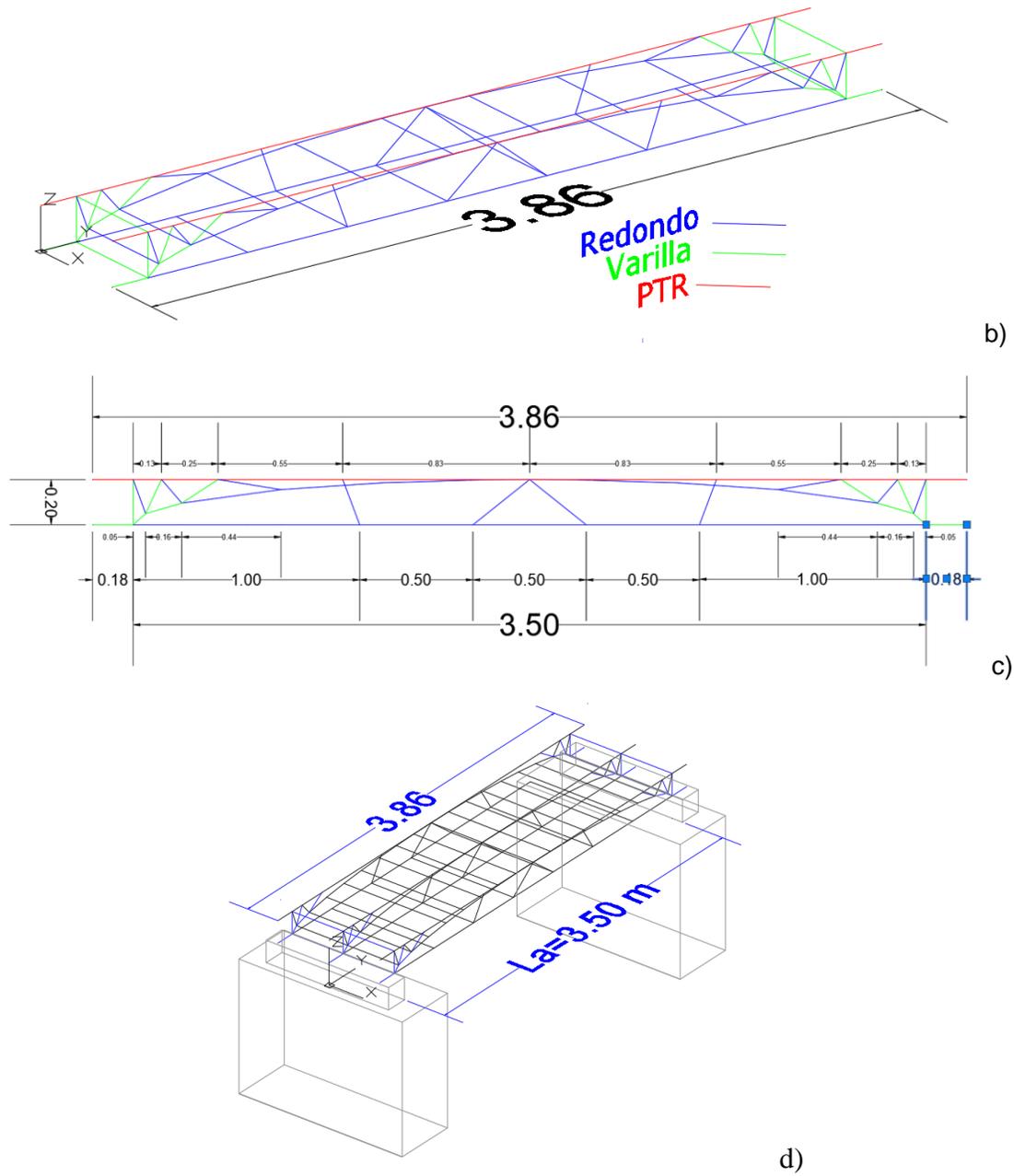


Figura 2.2 a) Modelo 3d b) Perfiles del modelo c) Dimensiones del Modelo d) Modelo 3d con bases



*Figura 2.3 Módulos físicos de LMA*



*Figura 2.4 Módulos LMA galvanizados*



Listo el galvanizado se prepararon los módulos de LMA colocando una malla y una membrana plástica con el objetivo de funcionar como axiliar en la cimbra para el colado de la capa de concreto, así como también se colocó una malla metálica en la parte inferior para colocar aquí el acabado, el cual, para facilitar y agilizar trabajos se colocó la primera capa aún sin estar montados los módulos en sus bases. Fig. 2.5.



*Figura 2.5 Colocación de primera capa del acabado inferior de la LMA*

Colocada la primera capa del acabado se procedió a colocar los módulos en sus bases para después colocar la cimbra necesaria para colar la capa de concreto, así como las cadenas de concreto reforzado en los apoyos y la malla electrosoldada para la capa de compresión de concreto.

Se realizó el diseño de la mezcla de concreto por medio del método descrito por el American Concrete Institute (ACI, 1998) para obtener las dosificaciones de cada componente del concreto hidráulico que utilizamos, el cual, se diseñó con una resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ . Además, se utilizó el aditivo de acelerado de fraguado ACCELGUARD 100 de la marca EUCOMEX, con la intención de obtener la resistencia de diseño a los 7 días del colado.

Para el diseño mencionado anteriormente se realizó una caracterización de los materiales obteniendo los siguientes resultados:



Tabla 2.1 Caracterización de los materiales

<b>Peso esp. cemento</b>	3.15	T/m3
<b>Módulo de Finura</b>	2.7	
<b>Peso esp. arena</b>	1.76	T/m3
<b>Abs. arena</b>	9.56	%
<b>Humedad arena</b>	9.2	%
<b>Peso esp. Grava</b>	2.8	T/m3
<b>TMG</b>	25	mm
<b>PVSC</b>	1.57	T/m3
<b>Abs. grava</b>	1.52	%
<b>Humedad grava</b>	0.55	%

Con los datos de la tabla 2.1 y el procedimiento mencionado se obtuvieron las siguientes dosificaciones:

Tabla 2.2 Dosificación del diseño de concreto en kilogramos de material por metro cubico de concreto.

<b>CONCENTRADO</b>		
<b>Agua</b>	214.2	kg/m3
<b>Cemento</b>	332.7	kg/m3
<b>Grava</b>	1073.4	kg/m3
<b>Arena</b>	570.3	kg/m3

Por practicidad se realizó también el cálculo de dosificaciones en botes por cantidades de cemento.

Tabla 2.3 Material necesario en botes por bulto de cemento

<b>BOTES POR CANTIDAD DE CEMENTO</b>		
<b>CEMENTO</b>	<b>1 BULTO</b>	<b>1/2 BULTO</b>
<b>AGUA</b>	1.7	0.85
<b>GRAVA</b>	5.6	2.8
<b>ARENA</b>	3.0	1.5

Con estos datos se procedió a realizar la mezcla in situ para el colado de la capa de concreto de nuestra losa, apoyándonos de herramientas mecánicas para facilitar la elaboración de la mezcla, como lo son, la revolvedora y el vibrador mecánico, además, por cuestiones de estética, se le dio un acabado a la parte superior de la losa, cuidando además el proceso de curado de esta misma.



*Figura 2.6 Catillo Armex y cimbrado de cadena de concreto*



*Figura 2.7 Cimbrado del sistema LMA*



*Figura 2.8 Módulos de LMA cimbrados con malla electrosoldada.*



*Figura 2.9 Proceso de colado de losa de concreto*



*Figura 2.10 Proceso de acabado de parte superior de losa de concreto*



*Figura 2.11 prueba de revenimiento en proceso de colado de concreto*



*Figura 2.12 Proceso de curado de losa de concreto*



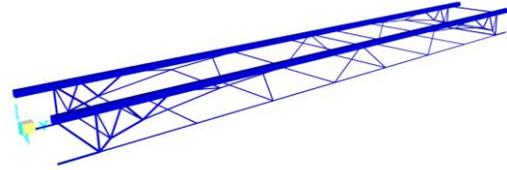
*Figura 2.13 Sistema LMA*



*Figura 2.14 Sistema LMA*



# III



## 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 3.1. Hipotesis

Es posible desarrollar una propuesta de sistema de losa modular de geometría en arco que permita optimizar el desempeño estructural, practicidad en construcción y económico, con base en criterios normativos y la disponibilidad de materiales comerciales; aspecto que puede contribuir a reducir el déficit de vivienda en México.

### 3.2. Objetivos

#### Objetivo General

Diseñar estructuralmente, construir y ensayar una propuesta de losa tipo modular de arco para un sistema de losa de casas habitación bajo norma como contribución a un nuevo sistema constructivo.

#### Objetivos Específicos

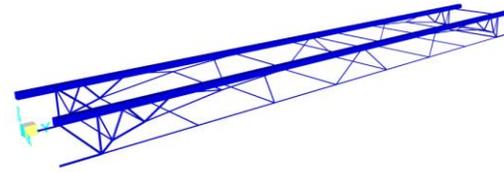
- Lograr la optimización de la propuesta de losa bajo los siguientes aspectos (metodología):
  - Análisis y diseño de un promedio de una losa con un claro L promedio de casas habitación
  - Búsqueda de convergencia de resultados entre modelación teórica y experimental bajo criterios normativos.
  - Emplear materiales comerciales que contribuyan a la economía de la propuesta de losa.
- Construir el sistema de losa modular en arco en taller y en obra (metodología).



- Ensayar el modelo real bajo las siguientes pruebas normativas (metodología):
  - Cumplir con los resultados requeridos en la prueba “Resistencia del componente estructural” descrita en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019.
  - Cumplir con los resultados requeridos en la prueba “Deformación y carga máxima de la losa” descrita en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019.
  - Revisar adicionalmente su capacidad resistiva y condición de servicio según criterio normativo (**NTC, 2017**)



# IV



## 4. METODOLOGIA

Las etapas a desarrollar en la metodología las definimos de forma general en el diagrama de siguiente.

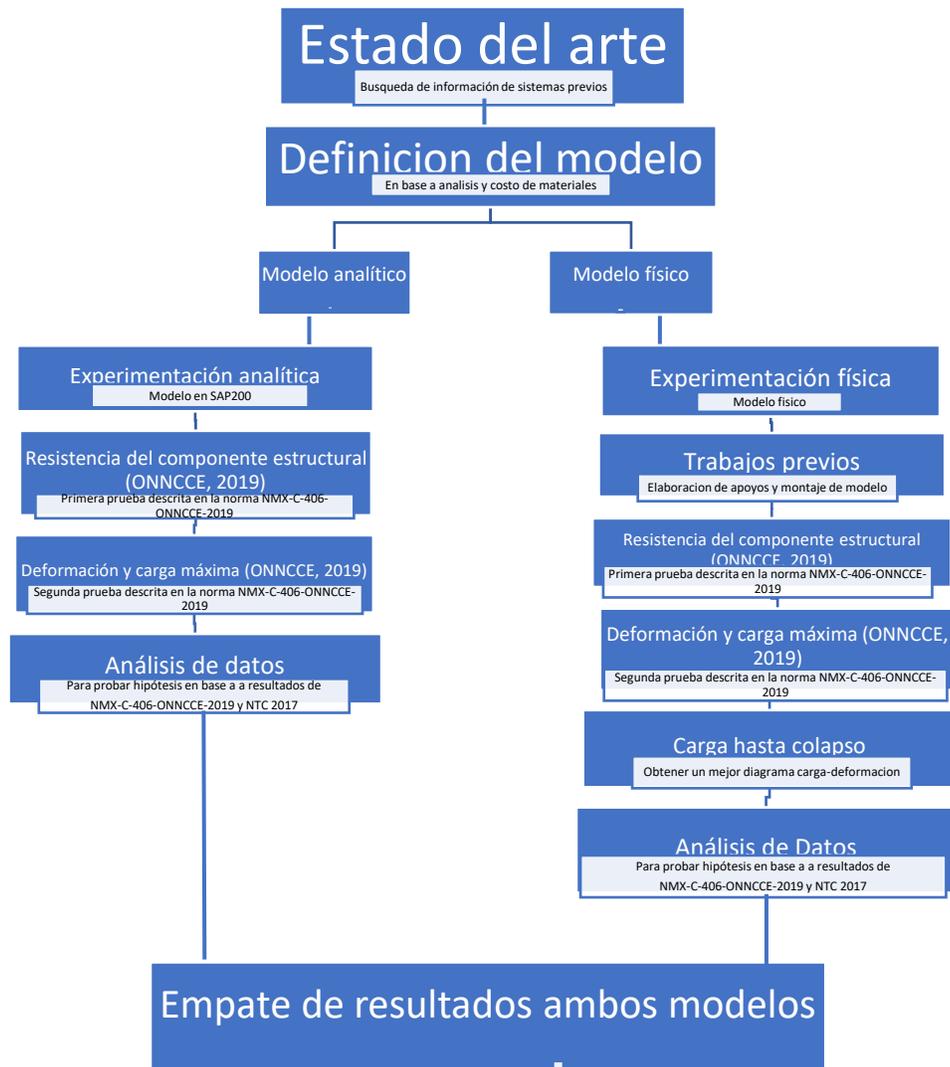


Figura 4.1 Diagrama de la metodología



Por otra parte, se muestra, a continuación, de forma detallada las etapas de la metodología:

En primer lugar, como parte de la metodología se buscó toda la información teórica y experimental acerca de los sistemas de losas existentes alrededor del mundo, enfocándonos sobre todo en los sistemas novedosos e innovadores con la intención de identificar la forma en que estos se comportan estructuralmente, así como sus ventajas y desventajas dentro de rubro de edificación de la vivienda, para poder desarrollar nuestro modelo evitando las debilidades de los sistemas ya existentes.

Con esta información se definieron las características de nuestro modelo, materiales de los que estará conformado, dimensiones, esfuerzos a los que estará sometido según el destino para el que será utilizado, etc. Una vez definido esto pasamos a modelar nuestro sistema en el software de análisis estructural SAP 2000 Fig. 4.2, para simular el comportamiento de los distintos elementos ante las cargas que definimos previamente y poder decidir con estos datos es posible tener los resultados esperados con el modelo físico.

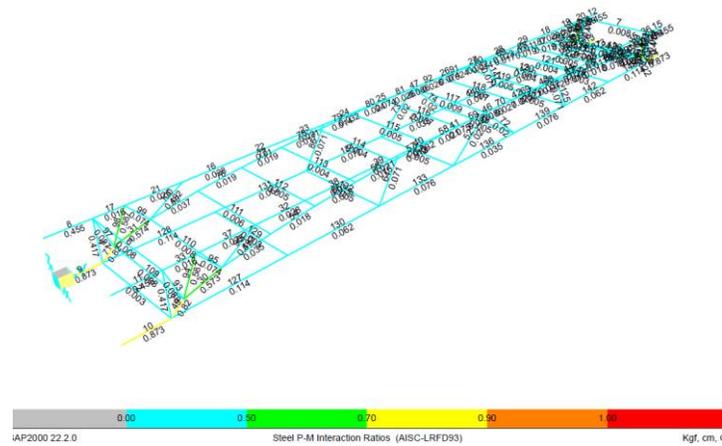
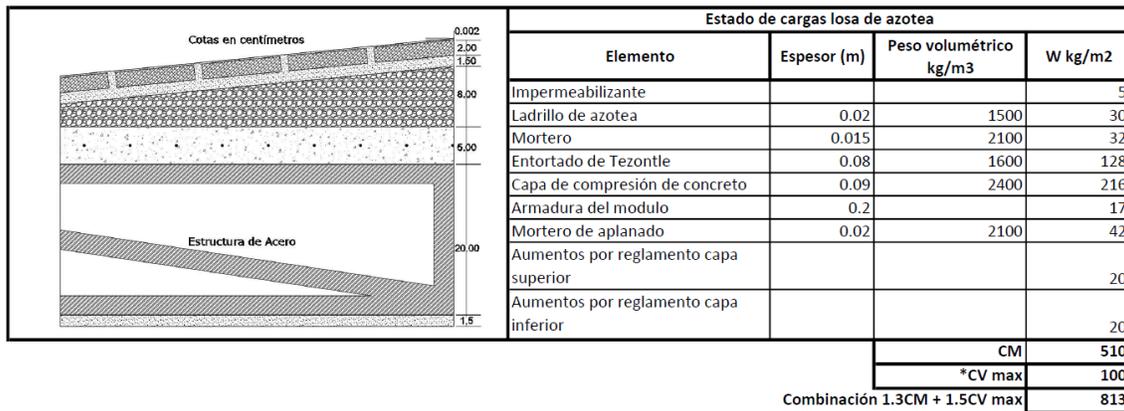


Figura 4.2 Modelo en SAP; la imagen muestra los niveles de esfuerzo a los que está sometido bajo la combinación de carga gravitacionales según lo establecido en (NTC, 2017)

Para modelar el sistema se hizo un análisis del estado de cargas de acuerdo a lo estipulado en las (NTC, 2017), el cual, mostramos a continuación (Fig. 4.3 y 4.4), este mismo modelo después se utilizará para simular las pruebas descritas en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, que se describen en la sección 4.1 y 4.2.



\*CV servicio= 15 kg/m<sup>2</sup>; CV instantánea=70 kg/m<sup>2</sup>

Figura 4.3 Estado de cargas losa de Azotea



Cotas en centímetros		Estado de cargas losa de entrepiso			
Elemento	Espesor (m)	Peso volumetrico kg/m3	W kg/m2		
Loseta Cerámica	0.01	2300	23		
Pegapiso	0.015	2100	32		
Mortero	0.015	2100	32		
Capa de compresion de concreto	0.09	2400	216		
Armadura del modulo	0.2		17		
Mortero de aplanado	0.02	2100	42		
Aumentos por reglamento capa superior			20		
Aumentos por reglamento capa inferior			20		
			CM	401	
			*CV max	190	
			Combinacion 1.3CM + 1.5CV max	807	

\*CV servicio= 80 kg/m2; CV instantánea=100 kg/m2

Figura 4.4 Estado de cargas losa de entrepiso

Lo anterior nos conduce a elaborar el modelo físico y someterlo a las pruebas descritas en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, esta norma dará pauta a la parte experimental de nuestro trabajo, la cual consiste en dos pruebas:

#### 4.1 Resistencia del componente estructural

La primera prueba denominada “Resistencia del componente estructural” la cual consiste en “colocar una carga de ensayo que debe ser una carga puntual máxima ( $P$ ), aplicada al centro del claro libre ( $L_a$  del elemento estructural como se muestra en la Figura 4.5). La carga puntual aplicada debe generar un momento equivalente a aquel producto de la carga muerta de colado más una carga viva de 100 kilogramos por metro cuadrado (ONNCCE, 2019). La carga puntual máxima que se aplicará al elemento estructural estará dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{e(w_m + w_v)L_a}{2} \quad 5.1$$

Donde:

$P =$  Carga puntual máxima (kg)

$e =$  Distancia entre ejes de vigueta (m)

$w_m =$  Carga muerta de colado en sitio (kg/m<sup>2</sup>)

$w_v = 100$  kg/m<sup>2</sup> (carga viva del colado)



$L_a$  = Longitud de autoportancia del componente portante (m)

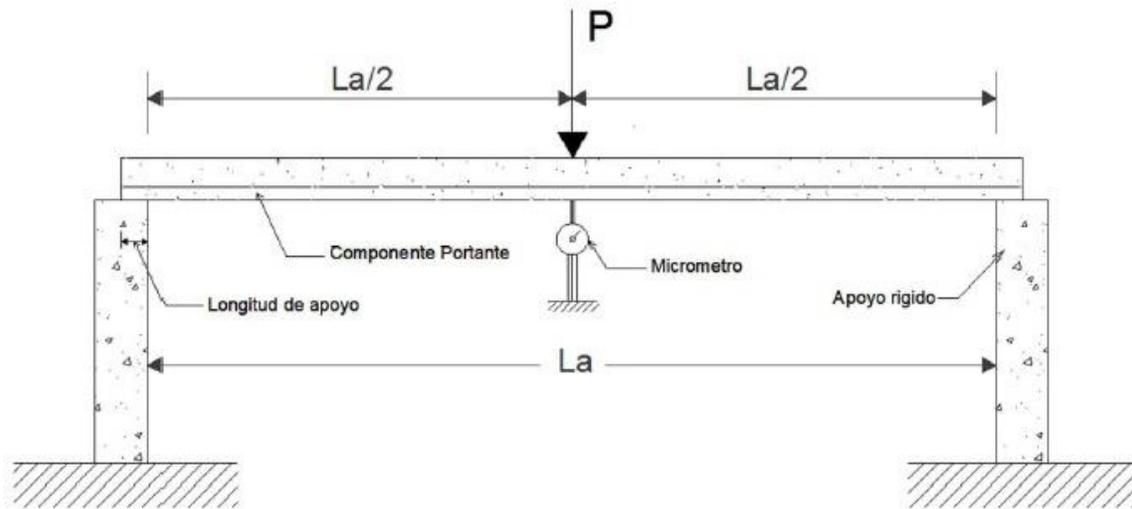


Figura 4.5 Esquema de prueba “Resistencia del componente estructural” (ONNCCE, 2019)

Desarrollando la ecuación 5.1 con los datos de nuestro modelo físico del sistema LMA para obtener el valor de nuestra carga puntual “P” tenemos:

$$e = 1 \text{ m}$$

$$w_m = 275.16 \text{ kg/m}^2 \text{ (obtenidas con datos de fig. 4.3 y 4.4)}$$

$$w_v = 100 \text{ kg/m}^2 \text{ (carga viva del colado)}$$

$$L_a = 3.58 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$P = \frac{1 \text{ m} \left( 275.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) 3.58 \text{ m}}{2} = 671.54 \text{ kg}$$

Para nuestro ensaye utilizaremos costales de 45 kilogramos por lo tanto calculamos  $P$  en costales:

$$P = \frac{671.54 \text{ kg}}{45 \text{ kg}} = 14.92 \approx 15 \text{ costales}$$

## 4.2 Deformación y carga máxima de la losa

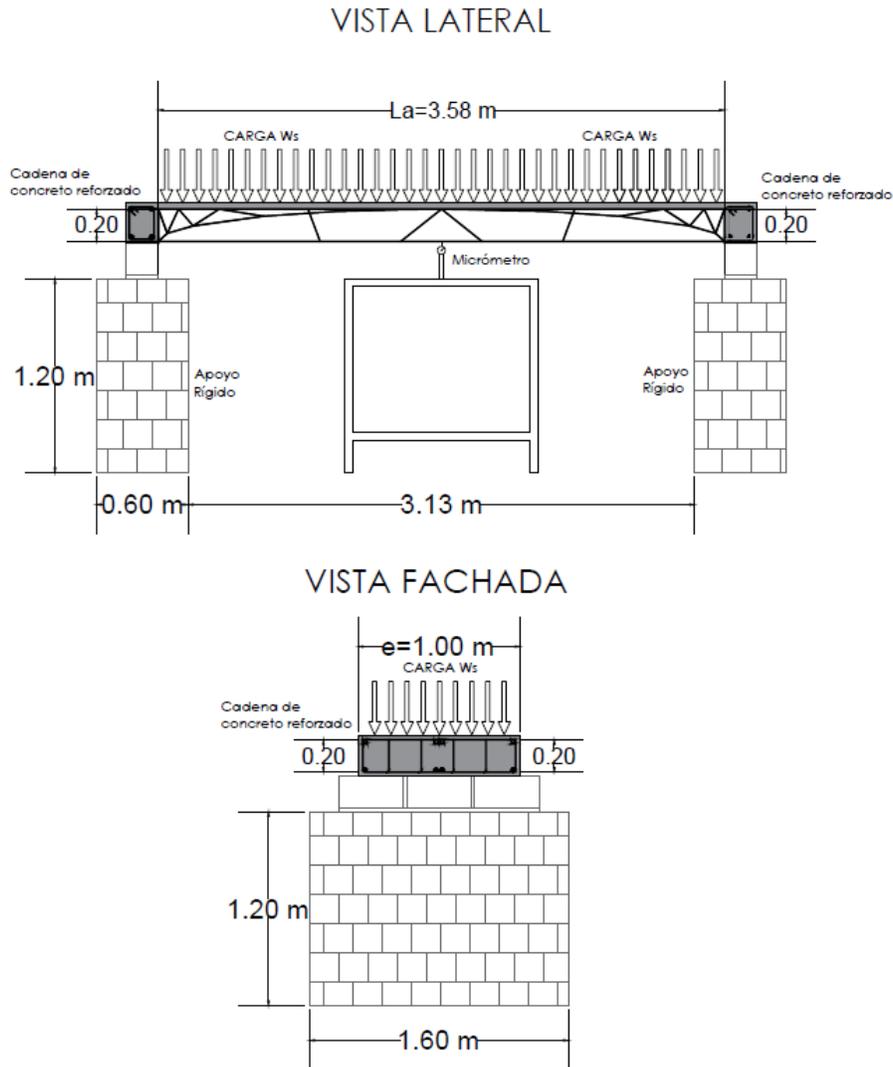


Figura 4.6 Esquema de la prueba "Deformación y carga máxima de la losa"

Segunda prueba: "Deformación y carga máxima de la losa" La carga servicio mínima ( $W_s$ ) utilizada para el ensayo debe ser de 350 kilogramos por metro cuadrado, esta carga 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 éste. La carga se aplica verticalmente distribuyéndola uniformemente 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 ( $1.4W_s + 0.3$  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 otras lecturas 24 h después de terminar de aplicar la carga total y al descargar totalmente el sistema (ONNCCE, 2019).

Como se mencionó en el apartado 7.1 para las pruebas se utilizarán costales de 45 kg, para lo cual se procede a calcular el total de estos para la carga de servicio mínima ( $W_s$ ) y la carga de servicio aumentada.

Calculando el área de nuestro modelo físico de LMA se obtuvo que es igual a 3.93 metros cuadrados, por lo tanto:

$$W_s = (350 \text{ kg/m}^2)(3.93 \text{ m}^2) = 1375.5 \text{ kg}$$

Se convierte ahora  $W_s$  a costales:

$$W_s = \frac{1375.5 \text{ kg}}{45 \text{ kg}} = 30.567 \approx 31 \text{ costales}$$

Pasando ahora a realizar el cálculo de la carga de servicio aumentada tenemos que esta es:  $1.4W_s + 0.3$  de peso propio. Para nuestro modelo físico de LMA tenemos que:

$$(1.4)(350 \text{ kg/m}^2) + (0.3)(275.16 \text{ kg/m}^2) = 572.55 \text{ kg/m}^2$$

Nota: el peso propio fue obtenido de las figuras 4.3 o 4.4.

Se calcula ahora la carga total para el área de nuestro modelo físico de LMA que es de 3.93 metros cuadrados:

$$(572.55 \text{ kg/m}^2)(3.93 \text{ m}^2) = 2250.12 \text{ kg}$$

Se convierte ahora a costales de 45 kg:

$$W_s = \frac{2250.12 \text{ kg}}{45 \text{ kg}} = 50.26 \approx 51 \text{ costales}$$



### 4.3 Prueba al colapso

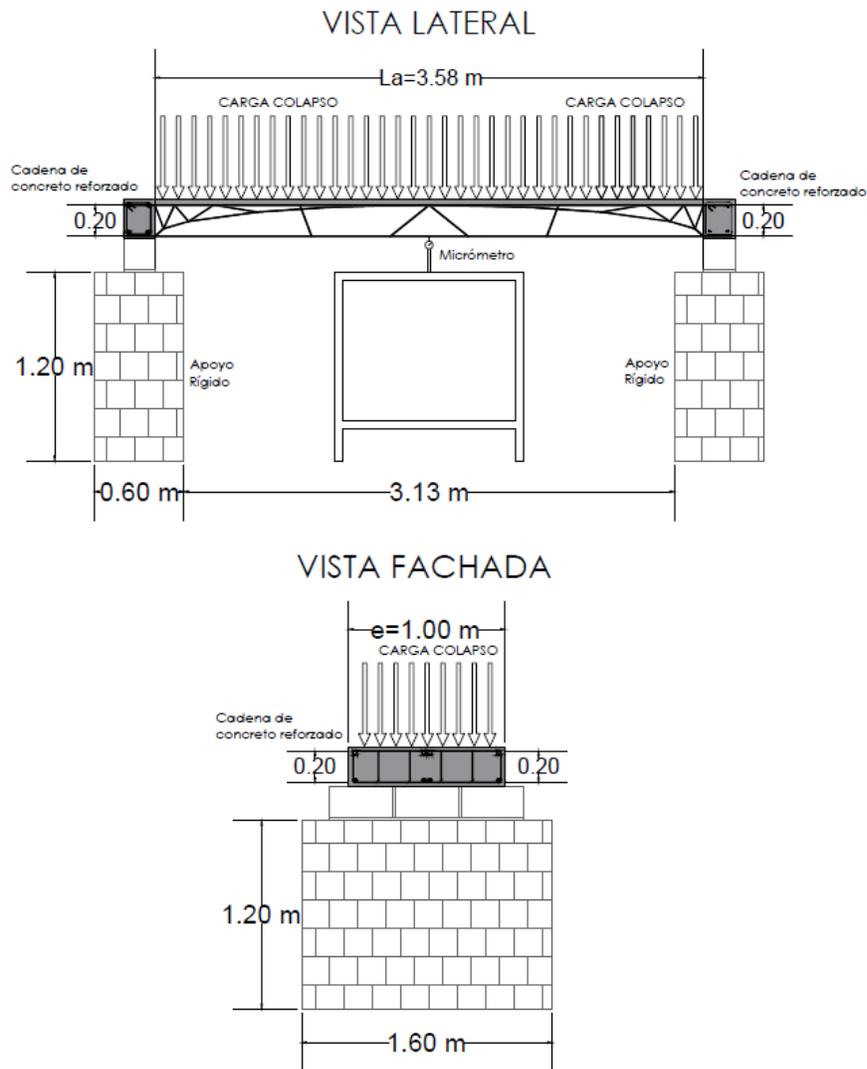


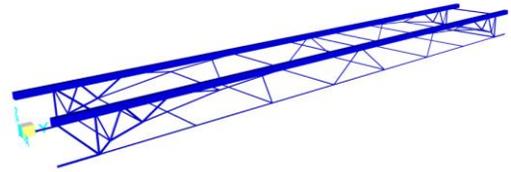
Figura 4.7 Esquema de la prueba "Carga al colapso"

Para finalizar las pruebas se procederá a cargar la LMA hasta el colapso, documentando la deformación en cada aumento de carga.

Realizadas las pruebas pasamos a la captura y caracterización de los resultados obtenidos para después analizarlos, compararlos y brindar los resultados definitivos.

Teniendo estos resultados como último paso, queda definir las conclusiones para continuar y poder finalizar la escritura de la tesis de maestría.

# V



## 5. Resultados y discusión

### 5.1 Resistencia del componente estructural



Figura 5.1 Modelo experimental de la prueba "Resistencia del componente estructural". Modelo LMA sometido a carga  $P=675$  kg al centro del claro.

#### 5.1.1 Modelo analítico

En la Tabla 5.1 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba analítica “Resistencia del componente estructural”, obteniendo una deflexión máxima de 4.1 mm la cual se considera aceptable de acuerdo a lo estipulado en la norma (ONNCCE, 2019), la cual indica que la deflexión no debe exceder  $La/300$ , donde  $La$  es la longitud del claro de la muestra, que en nuestro caso es 358 centímetros, por lo que se permitiría una deflexión de 11.9 milímetros, la cual es mucho mayor a la obtenida en la prueba.



Tabla 5.1 Resultados de la prueba "Resistencia del componente estructural"

Número de costales	Carga (kg)	Deflexión (mm)
0	0	0
2	90	0.6
4	180	1.1
6	270	1.6
8	360	2.1
10	450	2.6
12	540	3.1
14	630	3.6
15	675	4.1

En Figura 5.2 podemos observar el comportamiento de nuestro ensaye de LMA, el cual, presenta un comportamiento lineal, lo que es buen indicio debido a que la LMA al estar compuesta en su mayoría por acero, se puede afirmar que está lejos del colapso, debido a que presenta una deflexión al centro del claro de 4 mm contra una deflexión permisible por norma de 11.9 mm.

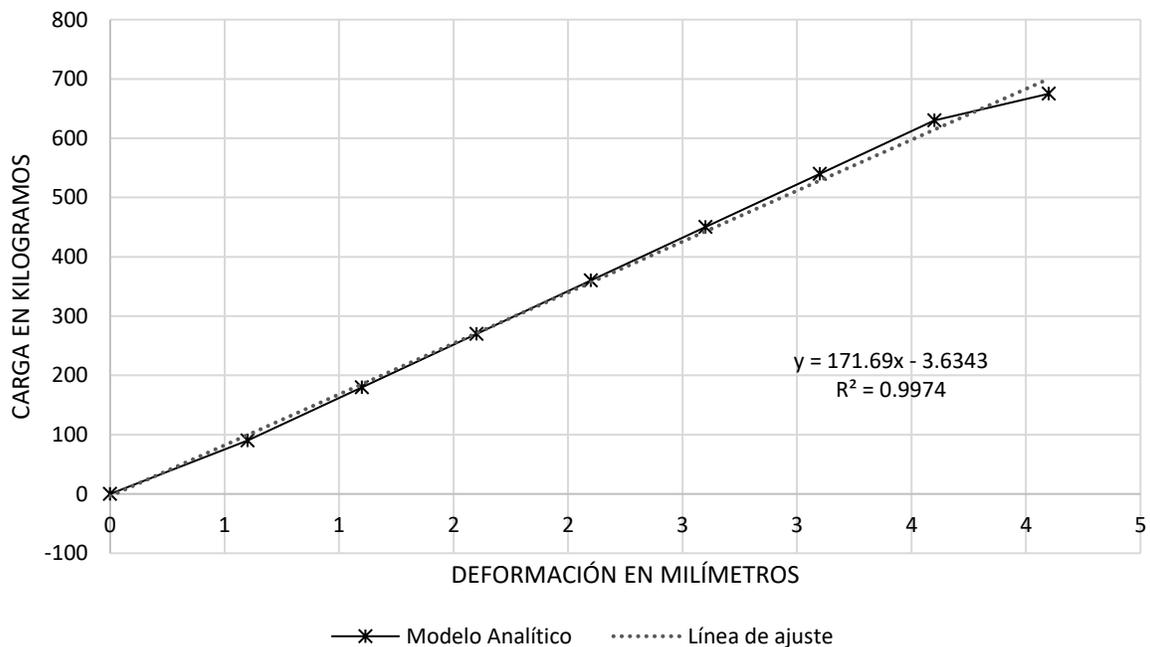


Figura 5.2 Diagrama carga - deflexión de la prueba "Resistencia del componente estructural" Modelo LMA sometido a carga  $P=675$  kg al centro del claro.



### 5.1.2 Modelo experimental

Para las pruebas en el modelo experimental se medirán las deflexiones de la parte inferior de nuestra losa colocando dos micrómetros al centro del claro en cada extremo de la muestra de LMA como se muestra en la Fig. 4.5.

En la tabla 5.2 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba física “Resistencia del componente estructural”, logrando obtener la carga puntual al centro del claro con ayuda de una canastilla de metal donde colocamos los costales hasta obtener la carga adecuada como se ve en la Fig. 5.5, obteniendo una deflexión máxima de 4.55 mm después de un proceso de carga y toma de lecturas a cada 2 costales (90 kg) la cual se considera aceptable de acuerdo a lo estipulado en la norma (ONNCCE, 2019), la cual indica que la deflexión no debe exceder  $La/300$ , donde  $La$  es la longitud del claro de la muestra, que en nuestro caso es 358 centímetros, por lo que se permitiría una deflexión de 11.9 milímetros, la cual es mucho mayor a la obtenida en la prueba.

Tabla 5.2 Resultados de carga y descarga de la prueba "Resistencia del componente estructural"

CARGA			DESCARGA		
Número de costales	Carga (kg)	Deflexión (mm)	Número de costales	Carga (kg)	Deflexión en mm
0	0	0	15	675	4.5545
2	90	0.627	14	630	4.405
4	180	1.141	12	540	3.965
6	270	1.718	10	450	3.5765
8	360	2.2645	8	360	3.1
10	450	2.813	6	270	2.611
12	540	3.3685	4	180	2.068
14	630	4.2585	2	90	1.5655
15	675	4.5545	0	0	1.018
			0	0	0.957

En la Figura 5.3 observamos el diagrama carga-deformación de la prueba, donde se muestran las lecturas a cada incremento y decremento de carga de 2 costales (90 kg), al retirar la carga el sistema no se recuperó totalmente pero después de un tiempo de retirada carga la deformación seguía disminuyendo así que no se puede confirmar la existencia de una deformación plástica.

En la Figura 5.4 se muestran los resultados de la pruebas física y analítica, en la cual, se observa que se obtuvieron resultados muy similares en ambas.



## CARGA-DEFLEXIÓN

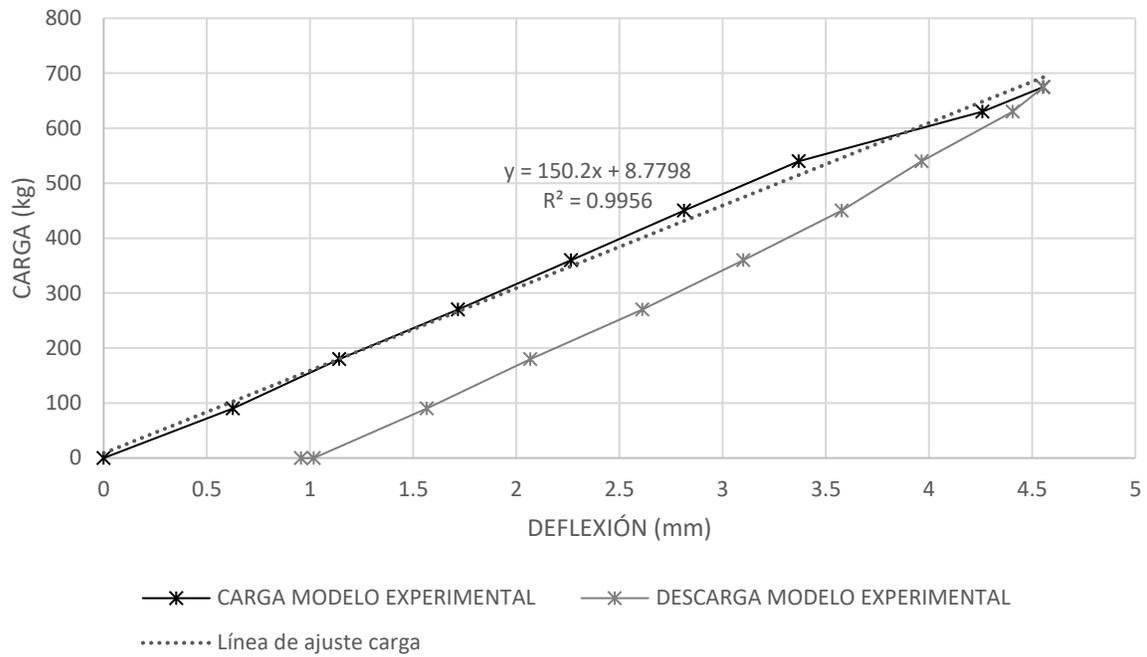


Figura 5.3 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Resistencia del componente estructural". Modelo LMA sometido a carga  $P=675$  kg al centro del claro.

## CARGA-DEFLEXIÓN

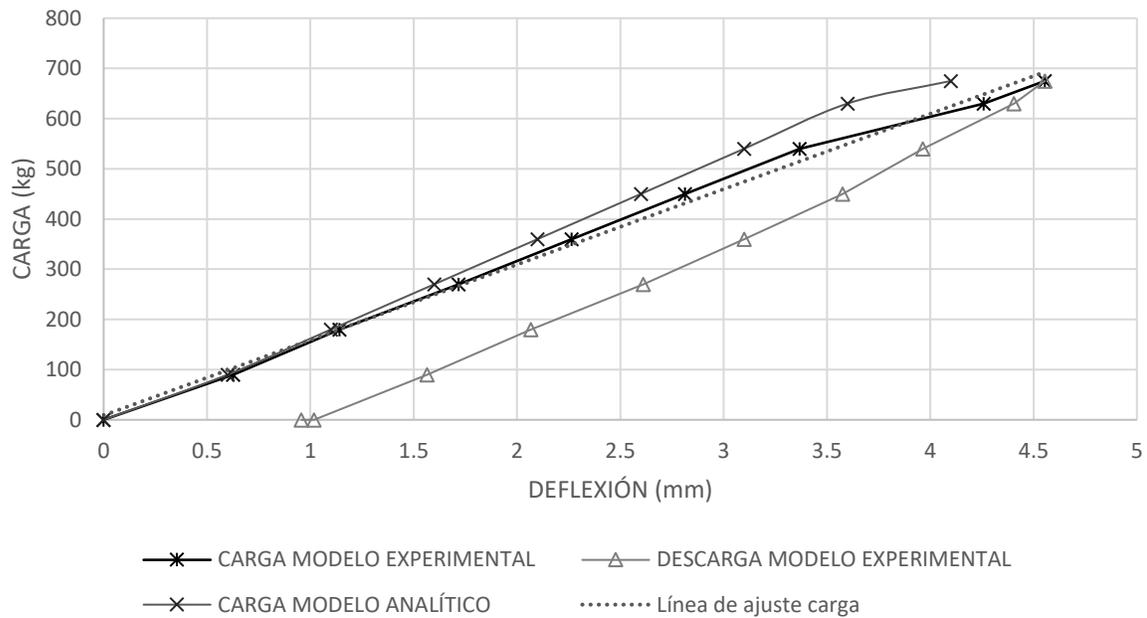


Figura 5.4 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Resistencia del componente estructural" Modelo LMA sometido a carga  $P=675$  kg al centro del claro.

Al finalizar esta prueba se observaron grietas en el acabado de la parte inferior de la probeta de ensaye como se observa en la fig. 5.5.



Figura 5.5 Grietas en acabado de parte inferior

## 5.2 Deformación y carga máxima del sistema

### 5.2.1 Carga de servicio mínima



Figura 5.6 Modelo experimental de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$

#### 5.2.1.1 Modelo analítico

En la tabla 5.3 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba analítica "Deformación y carga máxima del sistema", obteniendo una deflexión máxima de 3.529 mm en la primer fase de carga, la cual se considera aceptable de acuerdo a lo estipulado en la norma (ONNCCE, 2019), la cual indica que la deflexión no debe exceder  $L/360$ , donde  $L$  es la longitud del claro de la muestra, que en nuestro caso es 358 centímetros, por lo que se permitiría una deflexión de 9.9 milímetros, la cual es mucho mayor a la obtenida en la prueba.



Tabla 5.3 Resultados de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)"

Numero de costales	Carga en kg/m <sup>2</sup>	Deflexión en mm
0	0	0.000
2	23	0.348
4	46	0.562
6	69	0.775
8	92	0.988
10	115	1.202
12	137	1.406
14	160	1.619
16	183	1.832
18	206	2.046
20	229	2.259
22	252	2.472
24	275	2.686
26	298	2.899
28	321	3.112
30	344	3.316
31	355	3.529

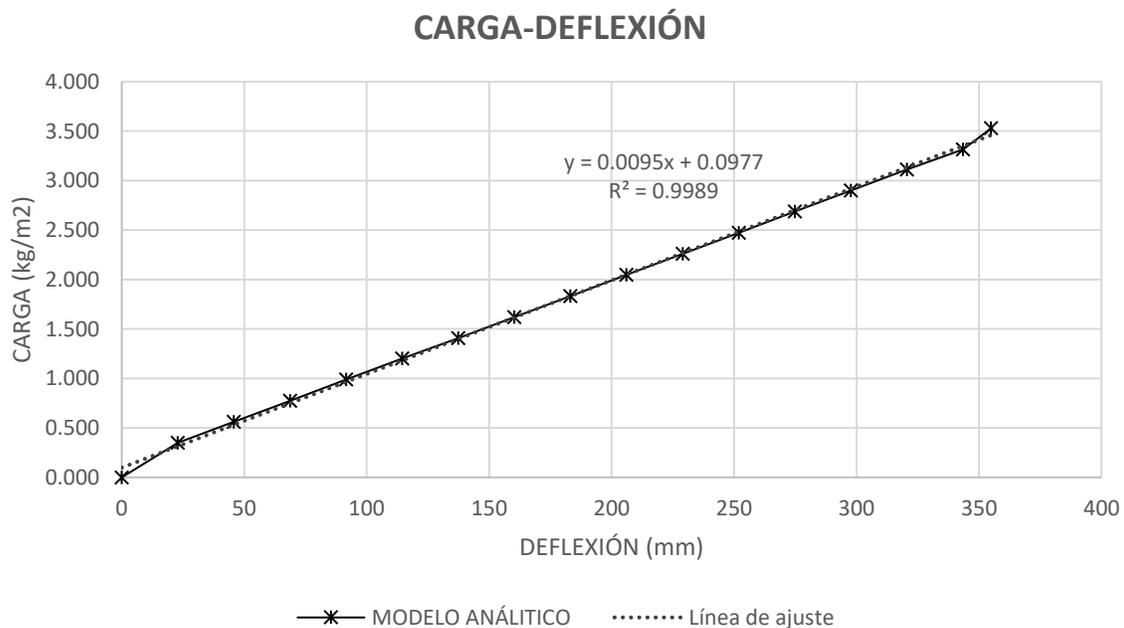


Figura 5.7 Diagrama carga- deflexión de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$



### 5.2.1.2 Modelo experimental

En la tabla 5.4 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba física “Deformación y carga máxima del sistema” (Fig.5.8), en su etapa de carga de servicio mínima (350 kg/m<sup>2</sup>), la carga fue colocada progresivamente tomando lecturas cada 2 costales (90kg) obteniendo una deflexión máxima de 4.666 mm en el momento que se terminó de colocar la carga, como indicaba la norma (ONNCCE, 2019) se dejó la probeta cargada durante 24 horas para monitorear los cambios en las lecturas de los micrómetros, registrando una deflexión máxima de 5.449 mm tomada 9 horas después de finalizar el proceso de carga, la cual se considera aceptable de acuerdo a lo estipulado en la norma (ONNCCE, 2019), la cual indica que la deflexión no debe exceder  $L/360$ , donde  $L$  es la longitud del claro de la muestra, que en nuestro caso es 358 centímetros, por lo que se permitiría una deflexión de 9.9 milímetros, ésta es mucho mayor a la obtenida en la prueba por lo que la muestra se considera aceptable.

Se tomaron lecturas en el proceso de descarga, cada vez que se retiraban dos costales (90 kg), los resultados se muestran en la tabla 5.5, en donde se observa que el sistema no se recuperó inmediatamente después de retirar la carga, pero al pasar de unos minutos la deformación continuaba disminuyendo así que no se puede confirmar la existencia de una deformación plástica.

En la Figura 5.8 se observa que el proceso de carga de esta prueba presenta un comportamiento lineal en el diagrama carga-deformación. Además, en la figura 5.9 se aprecia la comparación de resultados del modelo físico y analítico donde se observa una tendencia similar pero las deformaciones en el modelo físico aumentaban más conforme aumentaba la carga.

Al finalizar la prueba aparecieron nuevas grietas en el acabado de la parte inferior.



Tabla 5.4 Resultados de carga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $\text{kg/m}^2$	Deflexión en mm	Número de costales	Carga uniformemente distribuida $\text{kg/m}^2$	Deflexión en mm
0	0	0	31	355	4.666
2	23	0.321	31	355	4.765
4	46	0.747	31	355	4.755
6	69	1.0335	31	355	4.8715
8	92	1.3735	31	355	4.9225
10	115	1.6045	31	355	5.012
12	137	1.8505	31	355	5.216
14	160	1.9605	31	355	5.3235
16	183	2.039	31	355	5.449
18	206	2.4585	31	355	5.3875
20	229	2.9125	31	355	5.365
22	252	3.3025	31	355	5.378
24	275	3.7025	31	355	5.381
26	298	3.9185	31	355	4.973
28	321	4.1615	31	355	5.0765
30	344	4.291			

Tabla 5.5 Resultados de descarga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $\text{kg/m}^2$	Deflexión en mm
31	355	5.33
30	344	5.186
28	321	5.085
26	298	5.003
24	275	4.8
22	252	4.534
20	229	4.2305
18	206	3.779
16	183	3.346
14	160	3.05
12	137	2.902
10	115	2.6925
8	92	2.466
6	69	2.09
4	46	1.7615
2	23	1.2395
0	0	0.7105
0	0	0.5855

### CARGA-DEFLEXIÓN

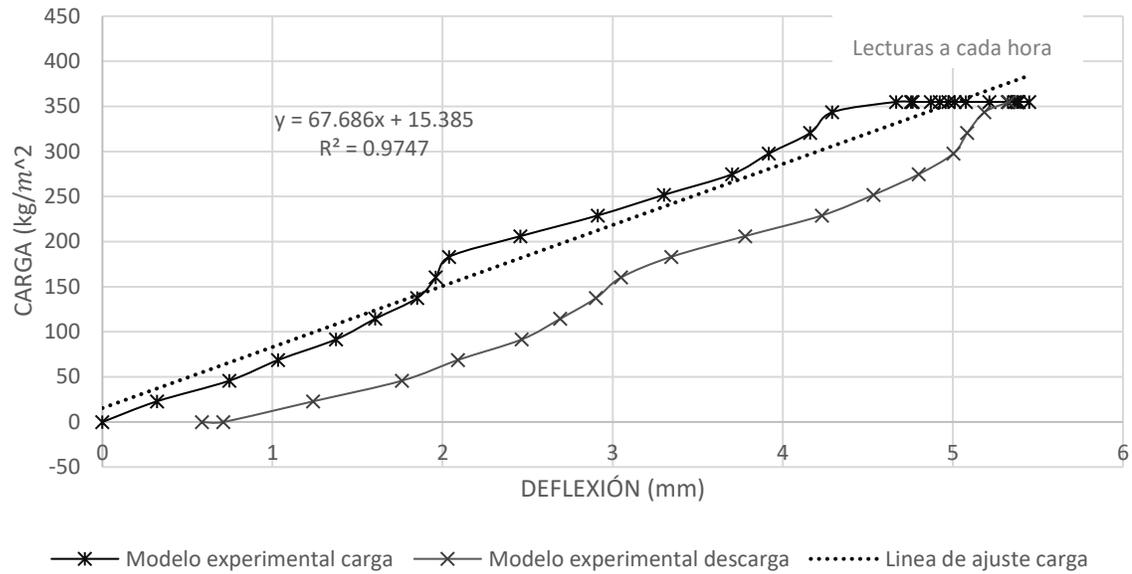


Figura 5.8 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$

### CARGA-DEFLEXIÓN

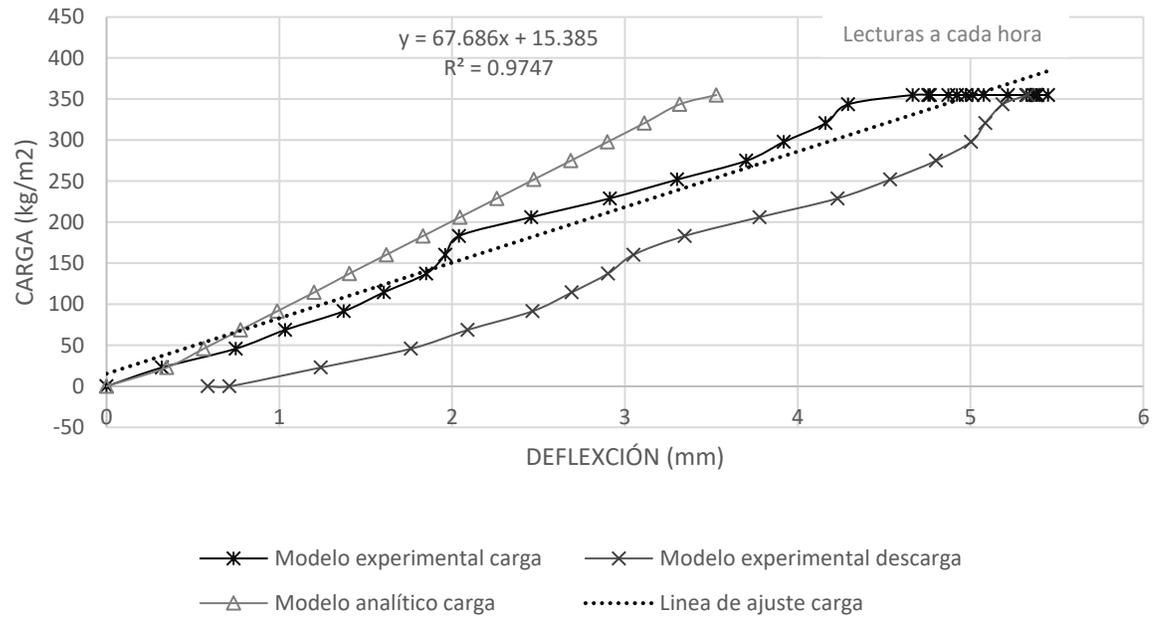


Figura 5.9 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=350 \text{ kg/m}^2$

## 5.2.2 Carga última



Figura 5.10 Modelo experimental prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$

### 5.2.2.1 Modelo analítico

La restricción para la segunda fase de carga donde se utilizó la carga última descrita en el apartado 4.2 es únicamente que el sistema no colapse, esto es difícil de identificar en el modelo analítico, pero nos basaremos en la revisión del esfuerzo en cada elemento de la LMA según el programa SAP2000 y como podemos ver en la Figura 5.12, son pocos los elementos (color rojo) que están trabajando a su máxima capacidad por lo que podemos afirmar que el sistema aún no llegó al colapso, además de tener una deflexión máxima de 5.647 mm como se puede observar en la tabla 5.6.

Para confirmar lo anterior, podemos observar la Figura 5.11, donde observamos un comportamiento lineal en el diagrama de carga-deformación, lo cual, como se mencionó anteriormente, indica que aún no se llega al colapso del sistema.



Tabla 5.6 Resultados de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm	Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
0	0	0.000	28	321	3.112
2	23	0.348	30	344	3.316
4	46	0.562	32	366	3.529
6	69	0.775	34	389	3.743
8	92	0.988	36	412	3.956
10	115	1.202	38	435	4.169
12	137	1.406	40	458	4.383
14	160	1.619	42	481	4.596
16	183	1.832	44	504	4.809
18	206	2.046	46	527	5.023
20	229	2.259	48	550	5.227
22	252	2.472	50	573	5.44
24	275	2.686	51	584	5.647
26	298	2.899			

### CARGA-DEFLEXIÓN

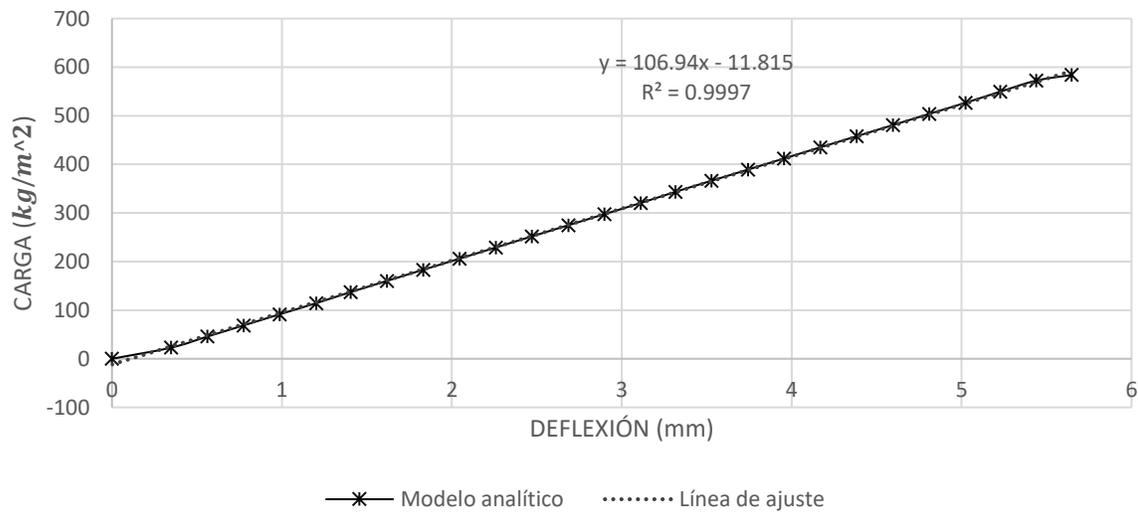


Figura 5.11 Diagrama carga- deflexión de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $Ws=584 kg/m^2$

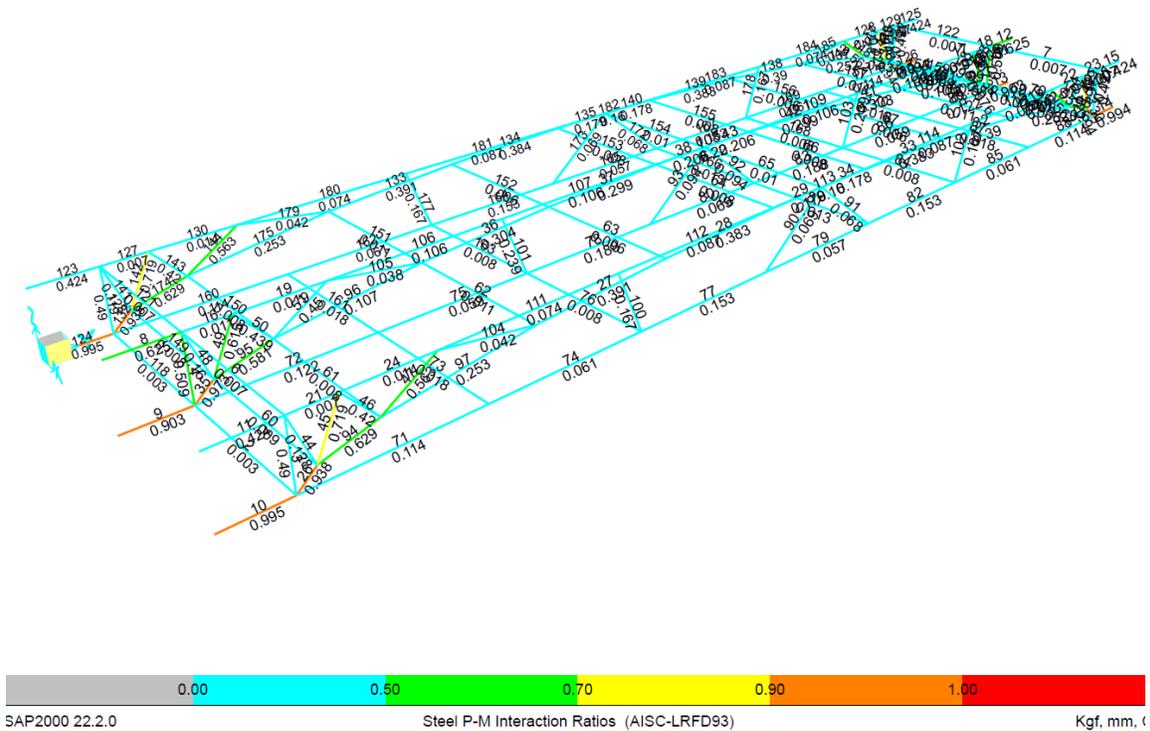


Figura 5.12 Esfuerzos en cada elemento del LMA bajo la carga máxima estipulada en la prueba "Deformación y carga máxima del sistema"

### 5.2.2.2 Modelo Experimental

En la tabla 5.7 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba física “Deformación y carga máxima del sistema”, en su etapa de carga última (574 kg/m<sup>2</sup>), la carga fue colocada progresivamente tomando lecturas cada 2 costales (90kg) obteniendo una deflexión de 8.009 mm en el momento que se terminó de colocar la carga. De acuerdo a lo que indica la norma (ONNCCE, 2019) se dejó la probeta cargada durante 24 horas para monitorear los cambios en las lecturas de los micrómetros, registrando una deflexión máxima de 10.269 mm tomada 8 horas después de finalizar el proceso de carga. Para esta prueba la norma dicta restricciones de deflexión, solo indica que no se debe llegar al colapso, lo que no sucedió como podemos observar en la figura 5.12, por lo que la muestra se considera aceptable.



Tabla 5.7 Resultados de carga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
0	0	0
2	23	0.441
4	46	0.873
6	69	1.171
8	92	1.513
10	115	1.7265
12	137	1.928
14	160	1.9915
16	183	2.091
18	206	2.69
20	229	3.129
22	252	3.4255
24	275	3.7975
26	298	3.9875
28	321	4.159
30	344	4.2255
32	366	4.318
34	389	4.9765
36	412	5.269
38	435	5.982
40	458	6.38
42	481	6.6185

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
44	504	6.8175
46	527	6.9395
48	550	7.0355
50	573	7.7285
51	584	8.009
51	584	8.3545
51	584	8.632
51	584	8.743
51	584	8.9755
51	584	9.217
51	584	9.556
51	584	10.03
51	584	10.269
51	584	10.204
51	584	10.0455
51	584	9.364
51	584	9.086
51	584	8.98
51	584	8.94
51	584	9.8545
51	584	9.8545
51	584	9.8545

Tabla 5.8 Resultados de descarga de la prueba "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
51	584	9.86
50	573	9.697
48	550	9.2975
46	527	9.2115
44	504	9.1475
42	481	8.933
40	458	8.7355
38	435	8.361
36	412	8.04
34	389	7.583
32	366	7.122
30	344	7.0145
28	321	6.944
26	298	6.7655

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
24	275	6.559
22	252	6.234
20	229	5.8685
18	206	5.371
16	183	4.8445
14	160	4.754
12	137	4.6825
10	115	4.446
8	92	4.2065
6	69	3.759
4	46	3.384
2	23	2.871
0	0	1.954



En la Figura 5.13 se presenta el diagrama carga-deformación del proceso de carga y descarga de la prueba en cuestión, donde se observa un comportamiento lineal hasta el último incremento de carga. Con respecto a la descarga, igual que en las pruebas anteriores el sistema no se recuperó completamente al retirar toda la carga, pero al paso de unos minutos las lecturas continuaban disminuyendo así que no se puede confirmar la existencia de una deformación plástica.

En la Figura 5.14 se presenta la comparación de los resultados del modelo analítico y físico, donde en el modelo analítico se observa un comportamiento lineal completamente y con resultados muy similares hasta la carga de alrededor de 200 kg/m<sup>2</sup>, a partir de ahí las deformaciones presentan una diferencia considerable.

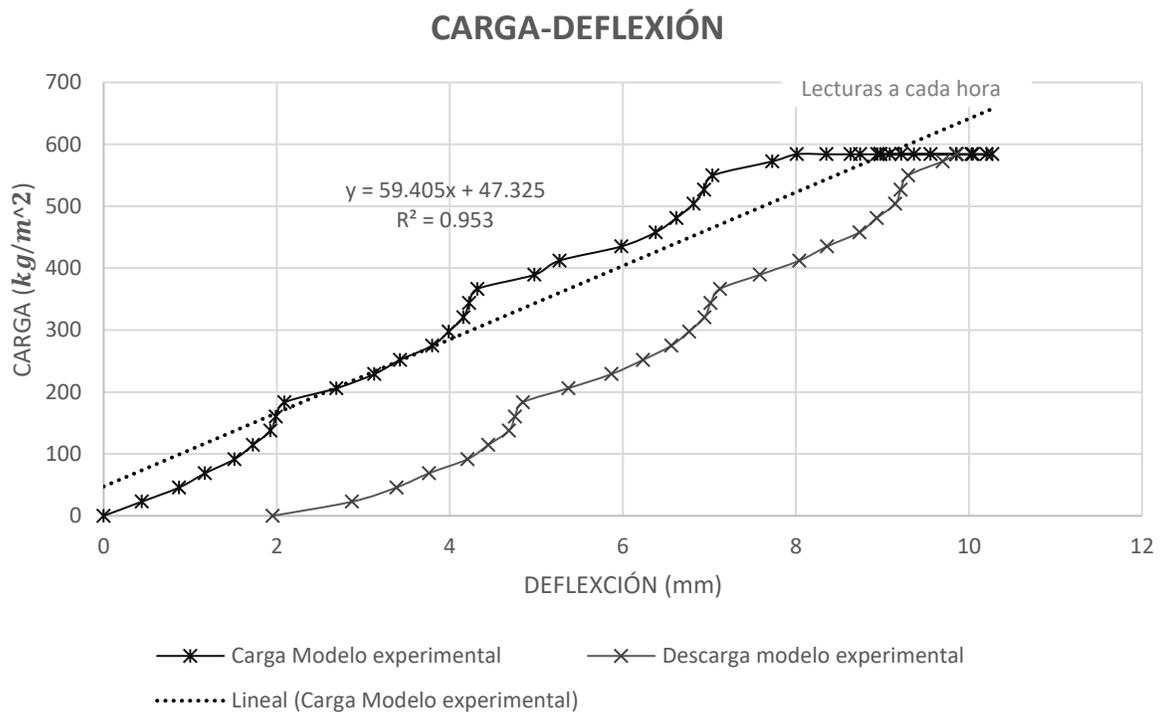


Figura 5.13 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Deformación y carga máxima del sistema (carga última)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$



## CARGA-DEFLEXIÓN

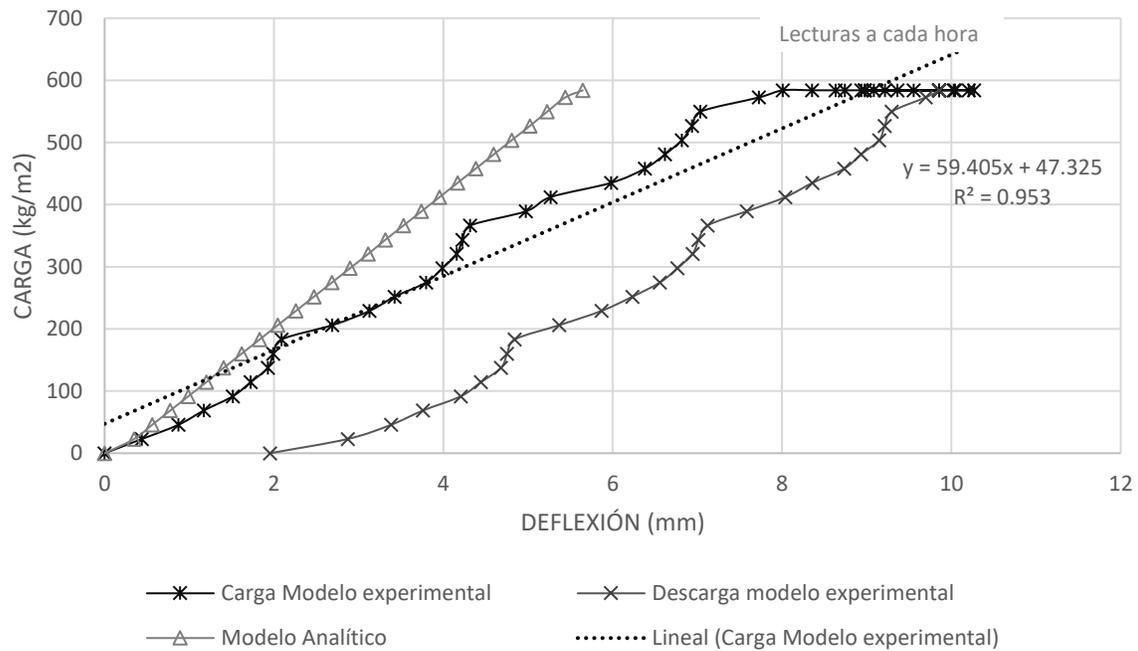


Figura 5.14 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Deformación y carga máxima del sistema (carga ultima)". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=584 \text{ kg/m}^2$

### 5.2.3 Carga al colapso



*Figura 5.15 Colapso del sistema. Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$*



### 5.2.3.1 Modelo analítico

En la Tabla 5.9 se observan los resultados de la prueba analítica “carga al colapso”, realizada con la intención de obtener un mejor diagrama carga-deformación de nuestro sistema, obteniendo una deflexión última de 13.93 milímetros.

Tabla 5.9 Resultados de la prueba analítica "carga al colapso"

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
0	0	0
2	23	0.348
4	46	0.562
6	69	0.775
8	92	0.988
10	115	1.202
12	137	1.406
14	160	1.619
16	183	1.832
18	206	2.046
20	229	2.259
22	252	2.472
24	275	2.686
26	298	2.899
28	321	3.112
30	344	3.316
32	366	3.529
34	389	3.743
36	412	3.956
38	435	4.169
40	458	4.383
42	481	4.596
44	504	4.809
46	527	5.023
48	550	5.227
50	573	5.44
52	595	5.654
54	618	5.867
56	641	6.08
58	664	6.294
60	687	6.507
62	710	6.711
64	733	6.934

Número de costales	Carga uniformemente distribuida $kg/m^2$	Deflexión en mm
66	756	7.147
68	779	7.351
70	802	7.564
72	824	7.778
74	847	7.991
76	870	8.204
78	893	8.418
80	916	8.631
82	939	8.844
84	962	9.057
86	985	9.271
88	1008	9.484
90	1031	9.698
92	1053	9.902
94	1076	10.115
96	1099	10.328
98	1122	10.542
100	1145	10.755
102	1168	10.959
104	1191	11.182
106	1214	11.395
108	1237	11.599
110	1260	11.813
112	1282	12.026
114	1305	12.239
116	1328	12.453
118	1351	12.666
120	1374	12.879
122	1397	13.092
124	1420	13.296
126	1443	13.519
128	1466	13.732
130	1489	13.936



En la Figura 5.16 se observa un comportamiento lineal del diagrama carga-deflexión de la prueba “carga al colapso” el cual ya no esta tan apegado a la realidad pues desde antes de llegar al colapso se esperaría un comportamiento no lineal en una parte del diagrama.

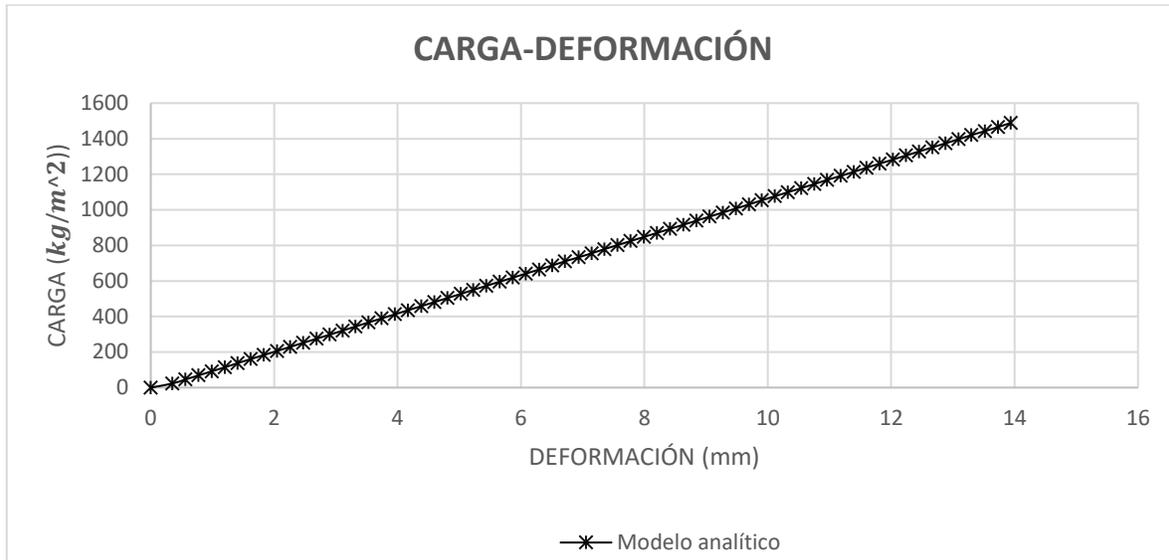


Figura 5.16 Figura 5.16 Diagrama carga- deflexión de la prueba analítica "Carga al colapso". Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$

### 5.2.3.2 Modelo experimental

En las tablas 5.10 y 5.11 se presentan los datos de la prueba “carga al colapso” donde se fue incrementando la carga gradualmente y tomando lecturas cada 2 costales (90 kg), esta prueba se realizó en 2 etapas de carga, la primera hasta llegar a una carga de 1282 kg/m<sup>2</sup> con un total de 112 costales donde se obtuvo una deflexión de 33.02 mm al momento de terminar de colocar la carga. Se estuvo monitoreando tiempo después las lecturas de los micrómetros y se registró una deflexión máxima de 33.3725 mm y de 32.8175 mm antes de comenzar la segunda etapa de carga. En esta etapa se llegó al colapso del sistema (fig. 5.15) con una carga de 1489 kg/m<sup>2</sup> y un total de 130 costales de 45 kilos; la última lectura tomada fue de 46.5 mm, justo antes de que el sistema colapsara.



Tabla 5.10 Resultados de primera etapa de carga de la prueba "carga hasta colapso"

<b>Etapas de carga</b>	<b>Número de costales</b>	<b>Carga uniformemente distribuida <math>kg/m^2</math></b>	<b>Deflexión en mm</b>	<b>Etapas de carga</b>	<b>Número de costales</b>	<b>Carga uniformemente distribuida <math>kg/m^2</math></b>	<b>Deflexión en mm</b>
<b>Primera</b>	0	0	0.000	<b>Primera</b>	62	710	11.5055
	2	23	0.587		64	733	11.9495
	4	46	1.057		66	756	12.947
	6	69	1.493		68	779	13.98
	8	92	1.984		70	802	14.3335
	10	115	2.257		72	824	14.985
	12	137	2.467		74	847	15.3005
	14	160	2.582		76	870	15.7045
	16	183	2.676		78	893	15.855
	18	206	3.344		80	916	16.2595
	20	229	3.868		82	939	18.0395
	22	252	4.254		84	962	18.7445
	24	275	4.677		86	985	19.2495
	26	298	4.911		88	1008	20.223
	28	321	5.161		90	1031	20.9475
	30	344	5.268		92	1053	22.6105
	32	366	5.369		94	1076	22.7515
	34	389	5.917		96	1099	22.929
	36	412	6.497		98	1122	23.564
	38	435	6.891		100	1145	24.809
	40	458	7.299		102	1168	25.9125
42	481	7.497	104	1191	27.214		
44	504	7.848	106	1214	28.224		
46	527	7.938	108	1237	29.089		
48	550	8.057	110	1260	32.6835		
50	573	8.972	112	1282	33.02		
52	595	10.145	112	1282	33.164		
54	618	10.322	112	1282	33.3725		
56	641	10.810	112	1282	32.818		
58	664	11.056	112	1282	32.8175		
60	687	11.350					



Tabla 5.11 Resultados de segunda etapa de carga de la prueba "carga hasta colapso"

<b>Etapas de carga</b>	<b>Número de costales</b>	<b>Carga uniformemente distribuida <math>kg/m^2</math></b>	<b>Deflexión en mm</b>
<b>Segunda</b>	114	1305	33.481
	116	1328	34.2685
	118	1351	34.4445
	120	1374	35.19
	122	1397	35.8115
	124	1420	36.458
	126	1443	37.2085
	128	1466	44.181
	130	1489	46.5

En la Figura 5.17 observamos el diagrama carga-deformación del modelo analítico y experimental, donde el primero presenta un comportamiento lineal en todas las etapas de carga y el experimental deja el rango lineal poco antes de llegar al colapso.

A modo de comparación, en la figura 5.18 se observa el diagrama carga-deformación de la carga al colapso del sistema LMA y del sistema Losa Tridimensional Modular "LTM" (Peña Campos , 2021), donde se muestra que este último necesitó alrededor de 1000 kg/m<sup>2</sup> más de carga para llegar al colapso, además de presentar un comportamiento más dúctil pues presentó mucha más deformación que el sistema LMA antes de colapsar.



## CARGA-DEFLECCIÓN

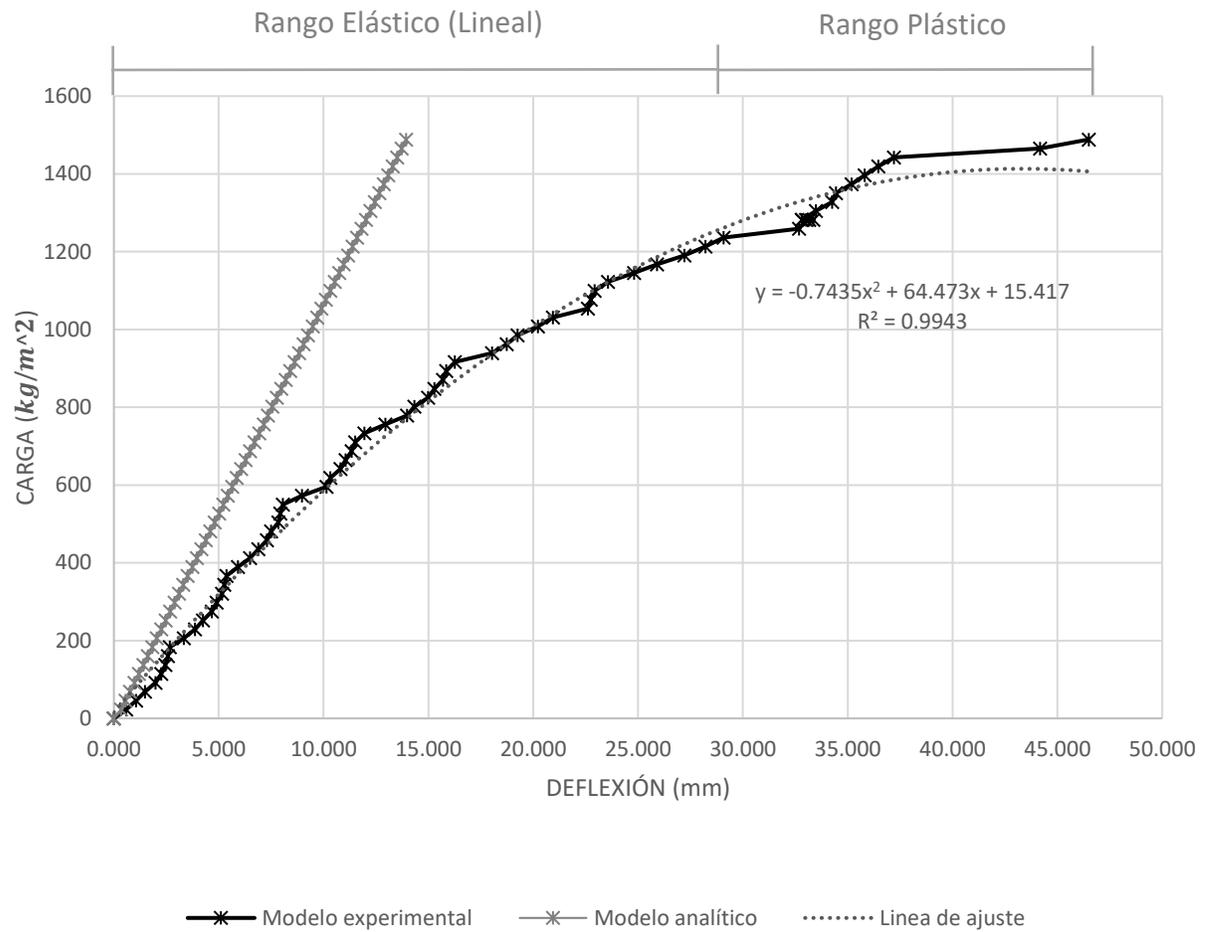


Figura 5.17 Diagrama carga- deflexión de la prueba física y analítica "Carga al colapso" Sistema LMA sometido a carga uniformemente distribuida  $W_s=1489 \text{ kg/m}^2$ .

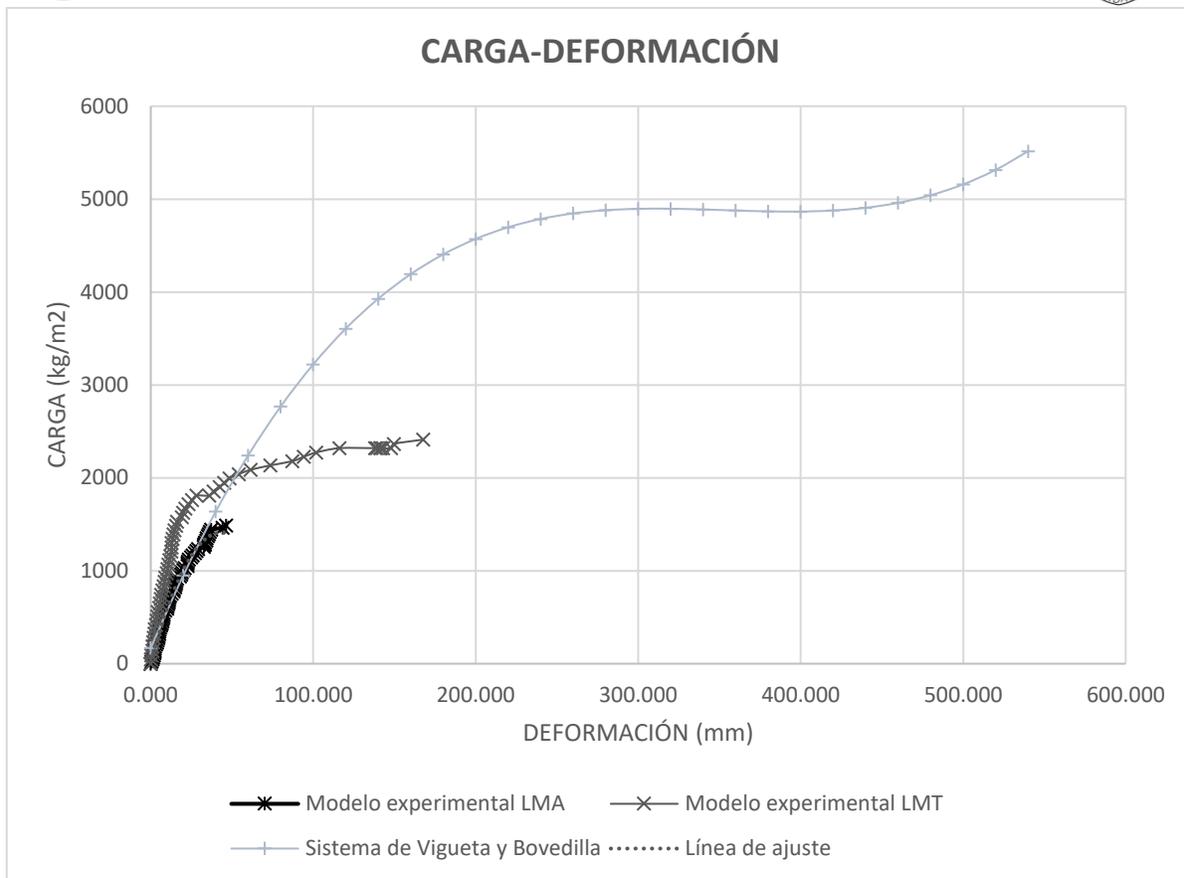


Figura 5.18 Diagrama carga- deflexión de la prueba física "Carga al colapso" del sistema LMA, LMT (Peña Campos, 2021) y Sistema de vigueta y bovedilla (Clemente Chávez, y otros, 2016)

En la Figura 5.19 se muestra el diagrama carga-deformacion de un sistema de losa muy comercial en el país (vigueta y bovedilla), ensayado al colapso, en el diagrama se observa que fue necesaria una cantidad de carga muy grande para hacerlo colapsar, incluso para dejar el rango lineal, para lo cual se necesitó aproximadamente una carga de 4750 kg/m<sup>2</sup>, carga que rebasa hasta 6 veces las condiciones requeridas por cargas de servicio.

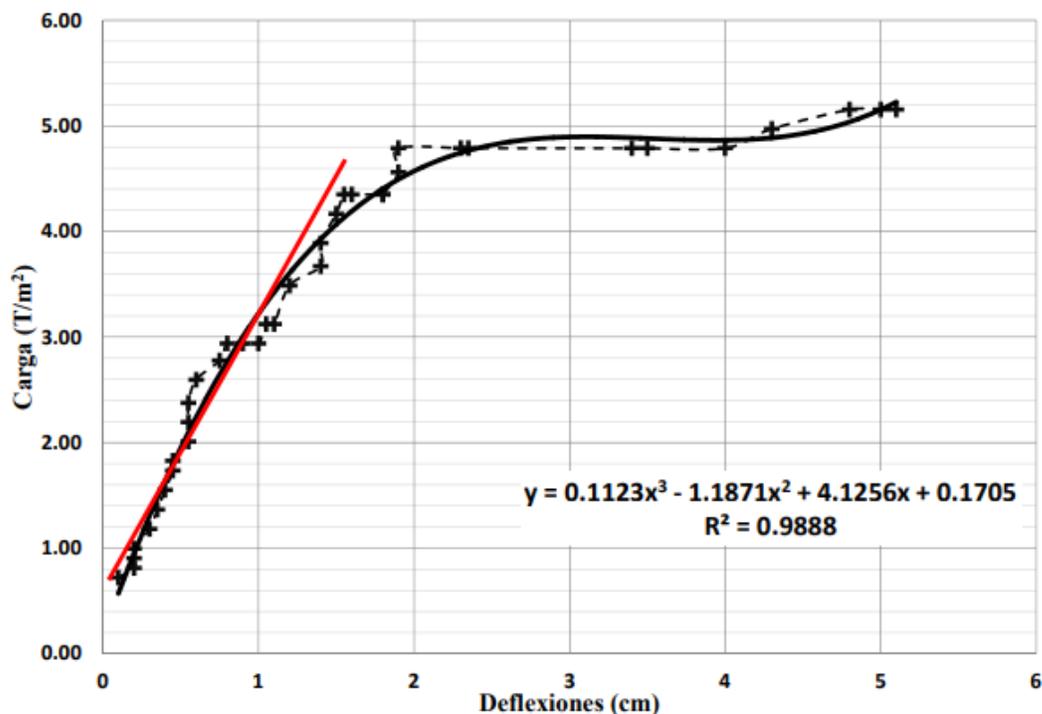


Figura 5.19 Diagrama carga-deflexión del sistema de losa vigueta y bovedilla de la prueba “carga al colapso” (Clemente Chávez, et al, 2016)

Los elementos que fallaron al colapsar el sistema, lo hicieron por esfuerzos de tensión, por lo que fue difícil apreciar la deformación de estos antes del colapso del sistema, pero una vez colapsado, se puede observar claramente la deformación que sufrieron estos pues se pueden apreciar más delgados cerca de la zona de ruptura. También es importante mencionar que ninguno de los puntos de soldadura falló, lo cual habla de un buen proceso constructivo. Lo anterior lo podemos observar en las figuras 5.20 y 5.21.



*Figura 5.20 Perspectiva de elementos que fallaron al colapso del sistema*



*Figura 5.21 Detalle de elementos que fallaron al colapso del sistema*



Tabla 5.12 Comparación de resultados modelo analítico y modelo físico

Prueba	Carga	Restricción (mm)	Deflexión Modelo Analítico (mm)	Deflexión Modelo Físico (mm)	Verificación
1. Resistencia del componente estructural	675 kg	11.9	4.1	4.55	CUMPLE
2. Deformación y carga máxima, carga de servicio	355 kg/m <sup>2</sup>	9.94	3.529	5.449	CUMPLE
3. Deformación y carga máxima, carga última	584 kg/m <sup>2</sup>	No colapsar	5.647	10.27	CUMPLE
4. Colapso	1489 kg/m <sup>2</sup>	N/A	13.936	46.5	N/A

### 5.3 Precio Unitario

En la Tabla 5.11 se presenta una comparación de los precios unitarios algunos de los sistemas de losa descritos en el capítulo 1 de este trabajo, presentando también el precio unitario del sistema LMA, donde se observa que éste último es el más económico. Cabe mencionar que sería posible disminuir aún más el costo de la LMA implementando un sistema de producción en serie de la estructura de metal, tal y como lo hacen con las viguetas pretensadas del sistema de vigueta y bovedilla, sistema con el que se compara principalmente el sistema LMA.



Tabla 5.13 Resumen de precios unitarios

Nombre del sistema	Imagen	Precio unitario por metro cuadrado
Sistema LMA (Tabla 5.14)		\$1,182.40 MXN
Losa tridimensional modular (LTM) (Tabla 5.15)		\$1285.54 MXN
Vigueta y bovedilla (Tabla 5.16)		\$1193.87 MXN
Losa nervada o aligerada (Tabla 5.17)		\$1262.11 MXN
Losa maciza de concreto (Tabla 5.18)		\$1351.71 MXN



Tabla 5.14 Análisis de precios unitarios de sistema LMA (NEODATA, 2021). Nota: Los rendimientos de mano de obra se tomaron en base al modelo físico que se construyó.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe	%
<b>Análisis:</b>			<b>M2</b>		<b>1.0000</b>	<b>\$1,182.40</b>	
Losa de 20 cms. a base de módulos en forma de amadura en arco con claro 3.5 mts, colocadas a cada 50 cms, con capa de compresión promedio de 9 cms. de espesor armado con malla electrosoldada 6x6-10/10, acabado pulido integral, incluye: cimbrado, descimbrado, , bombeo, colado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta.							
<b>MATERIALES</b>							
PTR1X1-14	PTR DE 1" X 1" CALIBRE 14 2.1 KG POR METRO LINEAL	PZA	\$525.00	*	0.660000	\$346.50	29.30%
303-ARF-0201	VARILLA R-42 DEL No. 3, (3/8 Ø), KG, 0.557 KG/M	KG	\$14.00	*	1.800000	\$25.20	2.13%
RED 1/4	REDONDO LISO DE 1/4" 0.25 KG POR METRO LINEAL	PZA	\$48.00	*	3.700000	\$177.60	15.02%
MALLHEX.9X1	MALLA HEXAGONAL ESTAÑADA DE 6X6" Y .90 MTS		\$96.00	*	1.110000	\$106.56	9.01%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$106.00	*	0.100000	\$10.60	0.90%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	PZA	\$35.00	*	0.200000	\$7.00	0.59%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.050000	\$1.20	0.10%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.050000	\$1.20	0.10%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO F'c=250 KG/CM2, CLASE 1	M3	\$1,962.00	*	0.090000	\$176.58	14.93%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	M3	\$28.61	*	0.010000	\$0.29	0.02%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	M3	\$140.00	*	0.090000	\$12.60	1.07%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	M3	\$190.00	*	0.090000	\$17.10	1.45%
303-ARF-2901	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, (2.50X40 M)	M2	\$16.00	*	1.100000	\$17.60	1.49%
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG, 0.016 KG/M	KG	\$18.00	*	0.025000	\$0.45	0.04%
<b>SUBTOTAL: MATERIALES</b>						<b>\$900.48</b>	<b>76%</b>
<b>MANO DE OBRA</b>							
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	JOR	\$1,423.41	/	45.000000	\$31.63	5.88%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	JOR	\$1,506.65	/	40.000000	\$37.67	7.26%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	JOR	\$3,784.28	/	300.000000	\$12.61	1.82%
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FIERRERO + 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,473.35	/	100.000000	\$14.73	2.13%
1F1A	CUADRILLA HERRERIA (1 SOLDADOR+ 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,172.63	/	6.670000	\$175.81	2.13%
<b>SUBTOTAL: MANO DE OBRA</b>						<b>\$272.45</b>	<b>19.21%</b>
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>							
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	\$146.70	*	0.030000	\$4.40	0.64%
EQVIB	VIBRADOR PARA CONCRETO	HOR	\$106.96	/	50.000000	\$2.14	0.31%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	%	\$146.70	*	0.020000	\$2.93	0.42%
<b>SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>						<b>\$9.47</b>	<b>1.368%</b>
<b>Costo Directo:</b>						<b>\$1182.40</b>	<b>100.00%</b>



Tabla 5.15 Análisis de precios unitarios de sistema LTM (Peña Campos, 2021)

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo		Total	%
				Unitario			
<b>Materiales</b>							<b>72.87</b>
ACCH-03	Acero de refuerzo #3, varilla corrugada, fy=4200 kg/cm	kg	1.03	\$ 29.62	\$	30.51	2.37
INME-037	PTR 1" X 1" calibre 14	pza	0.667	\$ 525.00	\$	350.18	27.24
INOX-093	Baño por inmersión en caliente en zinc	kg	10.1	\$ 24.00	\$	242.40	18.86
ACEL-223	Alambre galvanizado calibre 14	kg	0.12	\$ 109.00	\$	13.08	1.02
CMC-62940	Malla hexagonal 1 x 0.90 m galvanizada	m	2.31	\$ 48.00	\$	110.88	8.63
ACEL-011	Clavo con cabeza 2 1/2" a 4"	kg	0.06	\$ 63.25	\$	3.80	0.30
AACE-0255	Malla electrosoldada 6x6-10/10	m2	1.15	\$ 18.50	\$	21.28	1.65
CIM-049	Duelas 2.00 x 0.30 m	pza	1.03	\$ 52.00	\$	53.56	4.17
CN2500B	Concreto 250 kg/cm2, agregado de 20mm	m3	0.05	\$ 2,222.15	\$	111.11	8.64
<b>Mano de Obra</b>							<b>20.71</b>
MOCU-005	Cuadrilla: Albañilería (1 Albañil + 1 Peon)	jor	0.05	\$ 1,651.50	\$	82.58	6.42
MOCU-003	Cuadrilla: Carpintería obra negra (1 Carpintero + 1 Ayudante)	jor	0.04	\$ 1,671.00	\$	66.84	5.20
MOCU-009	Cuadrilla: Herrería (1 Soldador + 1 Ayudante)	jor	0.17	\$ 1,172.63	\$	199.35	15.51
<b>TOTAL POR M2:</b>						<b>\$ 1,285.54</b>	

Tabla 5.16 Análisis de precios unitarios de sistema Vigüeta y Bovedilla (NEODATA, 2021)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe	%
10501-251		M2			1.0000	\$1,193.87	
Análisis: Losa de 20 cms. a base de vigüeta y bovedilla para un claro máximo de 4.00 m, con vigüetas colocadas a cada 75 cms, con bovedilla de poliestireno de 15 cms., con capa de compresión de 5 cms. de espesor armado con malla electrosoldada 6x6-10/10, acabado pulido integral, incluye: cimbrado, descimbrado, bombeo, colado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta.							
<b>MATERIALES</b>							
309-VYB-0502	SEMI VIGUETA PATIN DE 12X5, H=15 (P/LOSA DE 20)	M	\$185.02	*	2.430000	\$449.60	37.66%
309-VYB-0202	BOVEDILLA DE POLIESTIRENO DE 61x61x15	PZA	\$154.98	*	2.400000	\$371.94	31.15%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$106.00	*	0.100000	\$10.60	0.89%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	PZA	\$35.00	*	0.200000	\$7.00	0.59%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.050000	\$1.20	0.10%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.050000	\$1.20	0.10%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO F'c=250 KG/CM2, CLASE 1	M3	\$1,962.00	*	0.090000	\$176.58	14.79%
358-AGU-0101	AGÜA DE TOMA	M3	\$28.61	*	0.010000	\$0.29	0.02%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	M3	\$140.00	*	0.090000	\$12.60	1.06%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	M3	\$190.00	*	0.090000	\$17.10	1.43%
303-ARF-2901	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, (2.50X40 M)	M2	\$16.00	*	1.100000	\$17.60	1.47%
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG. 0.016 KG/M	KG	\$18.00	*	0.025000	\$0.45	0.04%
<b>SUBTOTAL: MATERIALES</b>						<b>\$1066.16</b>	<b>89.30%</b>
<b>MANO DE OBRA</b>							
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	JOR	\$1,423.41	/	35.000000	\$40.67	3.41%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	JOR	\$1,506.65	/	30.000000	\$50.22	4.21%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	JOR	\$3,784.28	/	300.000000	\$12.61	1.06%
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,473.35	/	100.000000	\$14.73	1.23%
<b>SUBTOTAL: MANO DE OBRA</b>						<b>\$118.24</b>	<b>9.90%</b>
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>							
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	\$146.70	*	0.030000	\$4.40	0.37%
EQVIB	VIBRADOR PARA CONCRETO	HOR	\$106.96	/	50.000000	\$2.14	0.18%
%MOS	EQUIPO DE SEGURIDAD	%	\$146.70	*	0.020000	\$2.93	0.25%
<b>SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>						<b>\$9.47</b>	<b>0.79%</b>
<b>Costo Directo:</b>						<b>\$1193.87</b>	<b>100.00%</b>



Tabla 5.17 Análisis de precios unitarios de sistema de losa nervada (NEODATA, 2021)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe	%
<b>Análisis:</b>	<b>10501-515</b>		<b>M2</b>		<b>1.0000</b>	<b>\$1,262.11</b>	
Losa nervada de 20 cm. de peralte de concreto premezclado de F'c=250 kg/cm2, nervaduras de 15 cm. armadas con 2 varillas del No. 3 y estribos del No. 2 @ 20 cm. capa de compresión de 5 cm. armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, aligerada con casetón de espuma de poliestireno de 60x60x15 cm. incluye: suministro de materiales, acarreo, elevaciones, habilitado, cimbrado, armado, colado, vibrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta. (No incluye Trabes)							
<b>MATERIALES</b>							
303-ARF-0901	ALAMBRO DEL No. 2, (1/4 Ø), KG, 0.248 KG/M	KG	\$15.40	*	3.080000	\$47.43	3.76%
303-ARF-0201	VARILLA R-42 DEL No. 3, (3/8 Ø), KG, 0.557 KG/M	KG	\$14.00	*	7.000000	\$98.00	7.78%
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG, 0.016 KG/M	KG	\$18.00	*	0.257000	\$4.63	0.37%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	PZA	\$35.00	*	1.394000	\$48.79	3.87%
305-M3A-0201	BARROTE DE PINO DE 3a, DE 1 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$58.00	*	1.343000	\$77.89	6.17%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$108.00	*	0.500000	\$53.00	4.20%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.116000	\$2.78	0.22%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.048000	\$1.15	0.09%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	M3	\$140.00	*	0.153000	\$21.42	1.70%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	M3	\$190.00	*	0.153000	\$29.07	2.30%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	M3	\$28.61	*	0.015000	\$0.43	0.03%
359-CMB-0101	DIESEL	LT	\$16.64	*	0.408000	\$6.79	0.54%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO F'c=250 KG/CM2, CLASE 1	M3	\$1,982.00	*	0.110000	\$215.82	17.10%
309-PLE-0101	CASETÓN DE ESPUMA DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD	M3	\$900.00	*	0.171000	\$153.90	12.19%
303-ARF-2901	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, M2 (2.50X40 M)	M2	\$16.00	*	1.100000	\$17.60	1.39%
<b>SUBTOTAL: MATERIALES</b>						<b>\$778.71</b>	<b>61.70%</b>
<b>MANO DE OBRA</b>							
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,473.35	*	0.056000	\$82.51	6.54%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + AYUDANTE)	JOR	\$1,506.65	*	0.146000	\$219.97	17.43%
1A5P	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	JOR	\$3,784.28	*	0.016000	\$60.55	4.80%
2A	CUADRILLA No 4 (2 AYUDANTE GENERAL)	JOR	\$1,213.74	*	0.009000	\$10.92	0.87%
1A1P	CUADRILLA No 5 (1 ALBAÑIL+1 PEON)	JOR	\$1,423.41	*	0.050000	\$71.17	5.64%
<b>SUBTOTAL: MANO DE OBRA</b>						<b>\$445.12</b>	<b>35.27%</b>
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>							
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	\$445.12	*	0.030000	\$13.35	1.06%
%MO2	ANDAMIOS	%	\$445.12	*	0.030000	\$13.35	1.06%
EQVIBRA	VIBRADOR PARA CONCRETO	HOR	\$106.96	*	0.025000	\$2.67	0.21%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	%	\$445.12	*	0.020000	\$8.90	0.71%
<b>SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>						<b>\$38.28</b>	<b>3.03%</b>
<b>Costo Directo:</b>						<b>\$1262.11</b>	<b>100.00%</b>

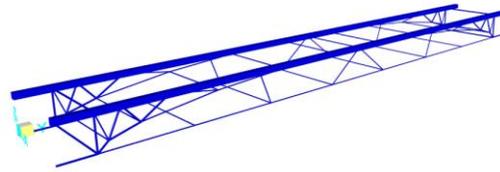


Tabla 5.18 Análisis de precios unitarios de sistema de losa maciza de concreto (NEODATA, 2021)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe	%
<b>Análisis:</b>	10501-504		M2		1.0000	\$1,351.71	
Losa de 20 cm. de espesor de concreto F'c=250 kg/cm2, armado doble parilla con varilla del No. 4 (1/2"), a cada 20 cm. en ambos sentidos, incluye: suministro de materiales, acarreos, elevaciones, cimbrado acabado común, armado, colado, vibrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.							
<b>MATERIALES</b>							
303-ARF-0301	VARILLA R-42 DEL No. 4, (1/2 Ø), KG, 0.996 KG/M	KG	\$14.00	*	20.916000	\$292.82	21.66%
303-ARF-1101	ALAMBRE RECOCIDO CAL. 16, (1.59 mm Ø), KG, 0.016 KG/M	KG	\$18.00	*	0.442000	\$7.96	0.59%
305-M3A-0101	DUELA DE PINO DE 3a DE 3/4x4x8' (0.019x0.10x2.44 m)	PZA	\$35.00	*	1.146000	\$40.11	2.97%
305-M3A-0201	BARROTE DE PINO DE 3a, DE 1 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$58.00	*	0.854000	\$49.53	3.66%
305-M3A-0301	POLIN DE PINO DE 3a, DE 3 1/2x3 1/2x8'	PZA	\$106.00	*	0.500000	\$53.00	3.92%
305-CLA-1301	CLAVOS PARA MADERA DE 2 1/2 (260 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.088000	\$2.11	0.16%
305-CLA-1401	CLAVOS PARA MADERA DE 4 (77 pzas/kg) CAJA DE 25 KG	KG	\$24.00	*	0.095000	\$2.28	0.17%
307-CON-0501	REVENIMIENTO DE 18+-3.5 PARA CONCRETO BOMBEABLE	M3	\$140.00	*	0.205000	\$28.70	2.12%
307-CON-0401	BOMBEO DE CONCRETO	M3	\$190.00	*	0.205000	\$38.95	2.88%
358-AGU-0101	AGUA DE TOMA	M3	\$28.61	*	0.016000	\$0.46	0.03%
359-CMB-0101	DIESEL	LT	\$16.64	*	0.300000	\$4.99	0.37%
303-ARF-2901	MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, (2.50x40 M)	M2	\$16.00	*	1.100000	\$17.60	1.30%
307-CON-0101	CONCRETO PREMEZCLADO F'c=250 KG/CM2, CLASE 1	M3	\$1,962.00	*	0.205000	\$402.21	29.76%
<b>SUBTOTAL: MATERIALES</b>						<b>\$940.72</b>	<b>69.59%</b>
<b>MANO DE OBRA</b>							
1F1A	CUADRILLA No 6 (1 FERRERO + 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,473.35	*	0.105000	\$154.70	11.44%
1C1A	CUADRILLA No 7 (1 CARP. O.N. + 1 AYUDANTE)	JOR	\$1,506.65	*	0.108000	\$162.72	12.04%
1ASP	CUADRILLA No 22 (1 ALBAÑIL + 5 PEONES)	JOR	\$3,784.28	*	0.016000	\$60.55	4.48%
<b>SUBTOTAL: MANO DE OBRA</b>						<b>\$377.97</b>	<b>27.96%</b>
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>							
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	\$377.97	*	0.030000	\$11.34	0.84%
%MO2	ANDAMIOS	%	\$377.97	*	0.030000	\$11.34	0.84%
EQVIBRA	VIBRADOR PARA CONCRETO	HOR	\$106.96	*	0.026000	\$2.78	0.21%
%MO5	EQUIPO DE SEGURIDAD	%	\$377.97	*	0.020000	\$7.56	0.56%
<b>SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>						<b>\$33.02</b>	<b>2.44%</b>
	<b>Costo Directo:</b>					<b>\$1351.71</b>	<b>100.00%</b>



# VI



## 6. Conclusiones

Como primera parte de las conclusiones se tiene que el sistema mostró un buen comportamiento estructural bajo las pruebas dictadas en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019 donde se obtuvieron los siguientes resultados:

### **-Prueba 1: Resistencia del componente estructural**

En esta prueba se tiene como restricción una deflexión no mayor a  $La/300$ , es decir, 11.9 milímetros, para la cual se obtuvo una deflexión de 4.55 milímetros, lo cual es un 38% de la deflexión admisible.

### **-Prueba 2: Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio mínima)**

Las restricciones de esta prueba es no presentar agrietamientos en los elementos estructurales y no exceder una deformación de  $La/360$ , lo cual para nuestro caso es igual a 9.94 milímetros. Al finalizar el proceso de carga se pudieron observar algunas grietas en el acabado, pero se puede concluir que el sistema sigue siendo aceptable pues las grietas no son en los elementos estructurales y se deben a que el sistema al ser conformado en su mayoría por acero, es muy dúctil y permite grandes deformaciones que son las que provocan las grietas, de igual manera se buscará otra alternativa para el acabado para evitar este problema. En cuanto a las deformaciones se obtuvo una deflexión máxima de 5.39 milímetros, que representa un 54 % de la deflexión admisible. Por lo anterior el sistema se considera aceptable con los requerimientos de esta prueba.

### **- Prueba 3: Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio última)**

En esta prueba no hay restricciones de deformación ni de agrietamientos, solo se menciona que el sistema no debe llegar al colapso lo cual no sucedió. La carga estipulada para esta prueba es de 572 kg/m<sup>2</sup> y la carga necesaria para llegar al colapso fue de 1489 kg/m<sup>2</sup> por lo que la carga de servicio última es solo el 38% de la carga necesaria para llegar al colapso.



#### - Prueba 4: Carga al colapso

Como ha sido mencionado, la carga para llegar al colapso fue de  $\text{kg/m}^2$  y de acuerdo con el diagrama de la figura 5.16 es posible concluir que el sistema dejó su rango lineal a partir de la carga de  $1237 \text{ kg/m}^2$ , pues a partir de aquí las deformaciones fueron aumentando mas hasta llegar al colapso.

Un método adicional para validar estructuralmente nuestro sistema LMA, nos basaremos en lo estipulado en la NTC (2017), donde se indica que la deflexión admitida para este tipo de elementos es de  $L/240$ , que para el modelo ensayado serian 14.92 milímetros la cual se obtuvo con un total de  $824 \text{ kg/m}^2$  con lo que podriamos calcular un factor de seguridad del sistema LMA como sigue:

- Por deflexión

Para losas de azotea:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(C_m + C_{v_{serv}})} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(510 + 15)} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{525}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.57$$

Para losas de entrepiso:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(C_m + C_{v_{serv}})} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(401 + 80)} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{481}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.71$$

- Por Resistencia ultima:

Para losas de azotea:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(C_m + C_{v_{max}})} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(510 + 100)} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{610}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.35$$



Para losas de entrepiso:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(C_m + C_{v_{max}})} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{(401 + 190)} = \frac{824 \text{ kg/m}^2}{591}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.39$$

Por lo tanto, el modelo LMA en condiciones de servicio es aceptable en un porcentaje promedio de 1.6 o bien 60%; y por condiciones de resistencia el modelo se halla al límite con un factor de seguridad promedio de 1.37 cuando el factor objetivo es 1.4, esto según (NTC, 2017).

Tabla 6.1 Resumen de resultados de pruebas y revisión

Concepto	Deflexión permitida	Deflexión presentada Modelo	Deflexión presentada Modelo	Conclusión
a) NMX-C-406-ONNCCE-2019				
1. Resistencia del componente estructural	11.9	4.1	4.55	CUMPLE
2. Deformación y carga máxima				
2.1 Carga de servicio mínima	9.94	3.529	5.449	CUMPLE
2.2 Carga última	N/A	5.647	10.27	CUMPLE
	No colapsar	No colapsó	No colapsó	CUMPLE
Concepto	Factor de seguridad	Conclusión		
b) NTC-2017				
1. Por deflexión				
1.1 Losa de azotea	1.57	CUMPLE		
1.2 Losa de entrepiso	1.71	CUMPLE		
2. Por resistencia última				
2.1 Losa de azotea	1.35	CUMPLE		
2.2 Losa de entrepiso	1.39	CUMPLE		

### - Comparación con sistema LTM

En la Tabla 6.2 presentamos una comparación del sistema LMA y el sistema LTM (Peña Campos , 2021) debido a que este último trabajo dio pauta para desarrollar el sistema LMA. En la tabla se observa que el sistema LMA presentó deflexiones mayores en las pruebas indicadas en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, lo cual era de esperarse debido a que el sistema LTM presentó deflexiones mucho menores a las permitidas, lo cual, dio paso a pensar en buscar un sistema optimizado como lo es el sistema LMA.

Lo mencionado anteriormente se puede comprobar observando en la Tabla 6.2, donde se presenta una reducción en el peso de los módulos del sistema LMA con respecto a los del sistema LTM, además de una reducción del 8% en el costo por metro cuadrado del sistema LTM.



Tabla 6.2 Comparación de resultados sistema LMA y sistema LTM

Concepto	Sistema LMA	Sistema LTM
a) Pruebas NMX-C-406-ONNCCE-2019		
1. Resistencia del componente estructural deflexión (mm)	4.55	2.47
2. Deformación y carga máxima		
2.1 Carga de servicio mínima, deflexión (mm)	5.449	2.98
2.2 Carga última deflexión (mm)	10.27	7.37
3. Carga colapso		
3.1 Carga para colapso (kg/m <sup>2</sup> )	1489	2412.4
3.2 Deflexión antes de colapso (mm)	46.5	167.78
b) Revisión NTC-2017		
1. Factor de seguridad	1.64 (promedio)	1.89
c) Precio unitario por metro cuadrado (MXN)	\$ 1182.4	\$ 1285.54
d) Peso de módulo de acero (kg)	30	37

### - Modelo experimental y modelo analítico

Al comparar los resultados del modelo experimental y analítico, encontramos mucha similitud en los resultados de la primera prueba debido a que con cargas menores ambos modelos presentaban un comportamiento lineal y poca variación en los resultados, por otro lado en las demás pruebas se encontraron variaciones significativas debido a que el modelo analítico siempre mostró un comportamiento lineal, mientras que en el modelo experimental se logró obtener una curva en el diagrama esfuerzo deformación, donde fue posible apreciar identificar el rango elástico y plástico del sistema (Fig. 5.17); a pesar de esto el modelo analítico fue muy útil y fundamental para nuestro trabajo debido a que gracias a este se cambió la geometría y los componentes hasta llegar al diseño óptimo. Además de que en el programa utilizado no se pudieron analizar vibraciones, que, al ser un sistema dúctil están presentes y son significativas.



### **- Practicidad de construcción y economía**

Por otro lado, en cuanto practicidad de construcción y economía, de acuerdo a los análisis de precios unitarios, se obtuvo un costo por metro cuadrado de \$1,182.40 MXN por lo que se puede concluir que se logró reducir el costo por metro cuadrado de los sistemas de losas más utilizados en la actualidad como se muestra en la Tabla 5.13, al encontrar un sistema fácil de ejecutar debido a que, los módulos, al pesar poco más de 30 kg se pueden manejar y montar por una sola persona, lo que agiliza el proceso constructivo al mismo tiempo que cuida los requerimientos estructurales necesarios.

### **- Ductilidad**

Otro punto a destacar dentro de las conclusiones de nuestro sistema es que, al ser un sistema dúctil, presentará un mejor comportamiento ante cargas accidentales, reduciendo así, el riesgo de accidentes ante eventos sísmicos o cualquier otro que pueda causar cargas accidentales a la estructura donde se utilice el sistema LMA.

### **- Fabricación y proceso constructivo**

Cabe mencionar que se debe tener especial cuidado en la fabricación de los módulos de acero, especialmente en los puntos de soldadura, pues si el proceso no es el adecuado, la resistencia del sistema puede disminuir, en este trabajo se comprobó que se llevó a cabo este proceso correctamente pues ninguno de los puntos de soldadura falló.

Otra recomendación para evitar un problema que percibimos en nuestro proceso constructivo es colocar unos puntos de soldadura en los PTR'S para unir los módulos, pues si se dejan sueltos se puede generar una grieta en la capa de compresión de concreto, la cual se presentó en nuestro modelo experimental y podría llegar a afectar estructuralmente al sistema.

Como mencionamos en el apartado de resultados, se trabajará en buscar un material para el acabado de la parte inferior del sistema LMA para tratar de evitar mayor sensibilidad bajo la carga de servicio, que no representan ningún daño ni afectan la seguridad estructural, pero es necesario atenderlas por confort y estética.

Además de lo anterior, también se observó que es necesario colocar un refuerzo extra a la malla que sostiene la membrana plástica donde se coloca la capa de concreto, pues se observó



una deformación debido al peso del concreto, lo que ocasionó que la cantidad de concreto utilizado fuera mayor.

El siguiente listado contiene una serie de recomendaciones para asegurar el correcto funcionamiento del sistema LMA.

- **Manipulación**

Para manipular los módulos, es importante sujetarlos de los elementos hechos de PTR'S o varilla de 3/8" pues estos son elementos más rígidos y difíciles de deformarse; evitar tomarlos o apoyarlos en las partes formadas por redondos, para evitar deformaciones que puedan afectar el proceso constructivo y garantizar el correcto funcionamiento del sistema, pues son elementos muy esbeltos.

- **Transporte**

De igual manera para transportar y almacenar los módulos, evitar apoyar lo menos posible las partes formadas por redondos para evitar deformaciones o alteraciones en los módulos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

- **Proceso constructivo**

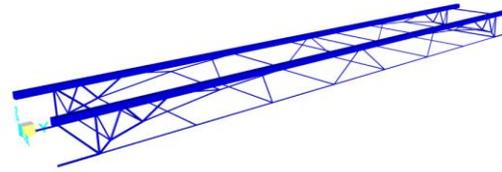
En el proceso de colado de la capa de concreto se recomienda tener un especial cuidado a la hora de maniobrar para colocar la mezcla pisando solamente sobre los PTR'S, evitando así, deformaciones en la base de la capa de concreto lo que generaría un aumento de la cantidad de concreto necesario y por ende, un aumento en el peso del sistema.

También es muy importante garantizar la unión entre cada módulo de preferencia colocando puntos de soldadura en los PTR'S, evitando así, grietas en la capa de concreto lo que nos puede garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Por último, concluimos que fue posible desarrollar una propuesta de sistema que permite optimizar el desempeño estructural, practicidad en construcción y económico, con base en criterios normativos y la disponibilidad de materiales comerciales; aspecto que puede contribuir a reducir el déficit de vivienda en México, considerando que el costo es menor en un 1% más económico respecto al sistema de vigueta y bovedilla más económico y empleado



## VII



### 7. Bibliografía

- ACI. (1998). Standar practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. *ACI 211. 1-91*.
- Al-Rubaye, M., Manalo, A., Alajarmeh, O., Ferdous, W., Lokuge, W., Benmokrane, B., & Edoó, A. (2020). Flexural behaviour of concrete slabs reinforced with GFRP bars and hollow composite reinforcing systems. *Composite Structures*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111836>
- Al-Fakher, U., Manalo, A., Ferdous, W., Aravinthan, T., Zhuge, Y., Bai, Y., & Edoó, A. (2021). Bending behaviour of precast concrete slab with externally flanged hollow FRP tubes. *Engineering Structures*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112433>
- ARCOTECO, P. (2017). *Manual Técnico VIGACERO*. Lima: VIGACERO.
- BID. (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: Pórtico Bookstore.
- Bloqueras.org. (2019). *Bloqueras.org*. Obtenido de <https://bloqueras.org/losa-de-concreto-armado/>
- Cahn. (1997). Atmospheric CO<sub>2</sub> and the U.S. cement industry. *World Cements*, 64-68.
- Cecilia, M. V., & Martell Leon Prieto, D. (2019). *Evaluacion tecnica y economica, entre los sistemas pre fabricados de losa con viguetas vigacero y losa con viguetas pre tensadas en un edificio multifamiliar en el distrito de Surquillo*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- CEMPOSA, C. M. (2018). *Manual de Montaje Losa Alveolar*. Tepetzotlan: CEMPOSA.
- CEMPOSA, C. M. (2018). *Manual Técnico de Diseño de Losas Prefabricadas Vol 1-Semiviguetas*. Tepetzotlan: CEMPOSA MR.
- Clemente Chávez, A., Chávez Alegria, O., Figueroa Soto, A., Sotero Mendoza, C., Zúñiga Dávila-Madrid, F. R., & Garcia Rico, E. (2016). Ensaye de un sistema de losa: vigueta y bovedilla; revisión para un diseño optimizado en contribución a reducir déficit de vivienda en México. *Congreso Nacional de Ingenieria Estructural SMIE*.
- Constuyendo.co. (09 de Noviembre de 2020). Obtenido de <https://construyendo.co/losas/tipos.php>



- Cuevas, O. M. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México: Limusa.
- DANSTEK. (2016). *Manual de diseño y calculo estructural de losa prefabricada Bubbledeck*. Atizapan de Zaragoza: Danstek.
- DANSTEK. (2016). *Manual de planeación, suministro, colocación y colado de losa prefabricada Bubbledeck*. Atizapan de Zaragoza: Danstek.
- especiales, T. p. (2018). *Losas alveolares*. Tenerife: Teide.
- Fernández, S. H. (1990). Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España. *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*.
- Grupo Idesa S A de C V, N. (2012). *Manual de instalacion Paneles de Entrepiso Aislante MAKROS NOVIDESA*. Ciudad de México: NOVIDESA.
- Habitissimo. (2009). *Habitissimo*. Obtenido de [https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/colado-de-losacero\\_479640](https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/colado-de-losacero_479640)
- Hernández, G. E. (2017). *Diseño de losas tipo vigueta y bovedilla*. Guatemala: Universidad San Carlos Guatemala.
- Lakkavalli, B. S., & Liu, Y. (2006). Experimental study of composite cold-formed steel C-section floor joists. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(10), 995–1006. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.02.003>
- Lee, Y. L., Lim, J. H., Lim, S. K., & Tan, C. S. (2018). Flexural Behaviour of Reinforced Lightweight Foamed Mortar Beams and Slabs. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(8), 2880–2889. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1822-0>
- Loosemore, M. (2015). *Construction Innovation: Fifth Generation Perspective*. San Diego: American Society of Cvil Engineers.
- NEODATA. (2021). Construbase Libre Neodata 2021. *Neodata S.A de C.V.*
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Bogotá: Mc Grown Hill.
- NTC. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para construccion CDMX*. México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción – Componentes Estructurales Prefabricados de Concreto para Sistemas de Losas – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Ciudad de México.
- ONU. (2019). *Ciudades y comunidades sostenibles*. Nueva York.
- Peña Campos , J. Z. (2021). Diseño estructural, construcción y ensaye de una propuesta de losa para casa habitación. *Universidad Autónoma de Querétaro*.

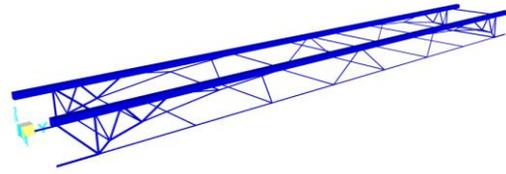


- PREMEX, P. M. (2013). *Manual Técnico de Losas Prefabricadas*. Tizayuca: PREMEX.
- Rivera Grandados, D. P. (2016). *Análisis comparativo del sistema pre-fabricado de losa aligerada VIGACERO vs el sistema convencional de una edificación de 6 pisos en Huancayo*. Lima: Universidad Peruana de los Andes.
- SEDATU. (04 de Abril de 2014). *PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA 2014-2018*. Ciudad de México. Obtenido de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342865&fecha=30/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342865&fecha=30/04/2014)
- Solis Trujillo, W. M. (2018). *Comportamiento estructural del entrecimso de una vivienda de 3 niveles con el sistema prefabricado losa aligerada VIGACERO*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Structuralia. (06 de Octubre de 2015). *El Revolucionario sistema Bubbledeck*. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/el-revolucionario-sistema-bubbledeck>
- TEIDE. (2018). *Losas alveolares*. Tenerife: Teide.
- TERNIUM, I. G. (2020). *Manual de Instalacion TERNIUM Losacero seccion 4*. Guatemala: TERNIUM.
- VIPROCOSA. (2018). *VIPROCOSA PREFABRICADOS DE CONCRETO*. Obtenido de <http://www.viprocosa.com/areas/estructuras/>



# VIII

## 8. ANEXOS



**Anexo 1:** Ubicación de micrómetros en la prueba “Resistencia del componente estructural”





**Anexo 2:** Ubicación de micrómetros en la prueba “Deformación y carga máxima del sistema, carga de servicio”





**Anexo 3:** Ubicación de micrómetros en la prueba “Deformación y carga máxima del sistema, carga de última”





**Anexo 4:** Registro de prueba “Resistencia del componente estructural” modelo analítico

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA</b>						
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA						
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>09/MAY/22</u>		
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>RESISTENCIA DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL</u>				HORA: <u>18:00 hrs</u>		
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>						
REFERENCIA: <u>RESULTADOS DE MODELO ANÁLITICO EN SAP200</u>						
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por	Acumulada	
				Incremento		
				mm	mm	
09/may/2022	18:00	0	0	0	0	
09/may/2022	18:05	2	90	0	0.600	
09/may/2022	18:10	4	180	0.500	1.100	
09/may/2022	18:15	6	270	0.500	1.600	
09/may/2022	18:20	8	360	0.500	2.100	
09/may/2022	18:25	10	450	0.500	2.600	
09/may/2022	18:30	12	540	0.500	3.100	
09/may/2022	18:35	14	630	0.500	3.600	
09/may/2022	18:40	15	675	0.500	4.1	
<b>COMENTARIOS</b>						



**Anexo 5:** Registro de prueba “Resistencia del componente estructural” modelo experimental micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO		FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA				
<b>REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA</b>						
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>			FECHA: <u>03/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>RESISTENCIA DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL</u>			HORA: <u>09:45 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>						
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DE CETEVI</u>						
<b>DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO</b>						
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>			MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
<b>REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA</b>						
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:45</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:47</u>	<u>2</u>	<u>90</u>	<u>0.6500</u>	<u>0.650</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:49</u>	<u>4</u>	<u>180</u>	<u>0.5200</u>	<u>1.170</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:51</u>	<u>6</u>	<u>270</u>	<u>0.5600</u>	<u>1.730</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:53</u>	<u>8</u>	<u>360</u>	<u>0.5600</u>	<u>2.290</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:55</u>	<u>10</u>	<u>450</u>	<u>0.5200</u>	<u>2.810</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:57</u>	<u>12</u>	<u>540</u>	<u>0.5300</u>	<u>3.340</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:59</u>	<u>14</u>	<u>630</u>	<u>0.8400</u>	<u>4.180</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>10:01</u>	<u>15</u>	<u>675</u>	<u>0.3000</u>	<u>4.480</u>	
<b>COMENTARIOS</b>						



**Anexo 6:** Registro de prueba “Resistencia del componente estructural” modelo experimental descarga micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA						
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA						
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>			FECHA: <u>03/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>RESISTENCIA DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL</u>			HORA: <u>10:00 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input type="radio"/> DESCARGA <input checked="" type="radio"/>						
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DE CETEVI</u>						
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO						
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>			MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
03/jun/2022	10:10	15	675	0	4.480	
03/jun/2022	10:23	14	630	0.1600	4.320	
03/jun/2022	10:25	12	540	0.4200	3.900	
03/jun/2022	10:27	10	450	0.3500	3.550	
03/jun/2022	10:29	8	360	0.4800	3.070	
03/jun/2022	10:31	6	270	0.4700	2.600	
03/jun/2022	10:33	4	180	0.5000	2.100	
03/jun/2022	10:35	2	90	0.5100	1.590	
03/jun/2022	10:37	0	0	0.5600	1.030	
03/jun/2022	10:47	0	0	0.0600	0.970	
COMENTARIOS						
DESPUES DE 10 min SE SIGUIÓ RECUPERANDO						



**Anexo 7:** Registro de prueba “Resistencia del componente estructural” modelo experimental micrómetro 2.

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA</b>						
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA						
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>			FECHA: <u>03/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>RESISTENCIA DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL</u>			HORA: <u>9:45 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>						
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICROMETRO DEL LADO DE LABORATORIO DE HIDRAULICA</u>						
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO						
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>			MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
		mm		mm	mm	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:45</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:47</u>	<u>2</u>	<u>90</u>	<u>0.604</u>	<u>0.604</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:49</u>	<u>4</u>	<u>180</u>	<u>0.508</u>	<u>1.112</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:51</u>	<u>6</u>	<u>270</u>	<u>0.594</u>	<u>1.706</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:53</u>	<u>8</u>	<u>360</u>	<u>0.533</u>	<u>2.239</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:55</u>	<u>10</u>	<u>450</u>	<u>0.577</u>	<u>2.816</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:57</u>	<u>12</u>	<u>540</u>	<u>0.581</u>	<u>3.397</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>09:59</u>	<u>14</u>	<u>630</u>	<u>0.940</u>	<u>4.337</u>	
<u>03/jun/2022</u>	<u>10:01</u>	<u>16</u>	<u>675</u>	<u>0.292</u>	<u>4.629</u>	
<b>COMENTARIOS</b>						



**Anexo 8:** Registro de prueba “Resistencia del componente estructural” modelo experimental descarga micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO		FACULTAD DE INGENIERÍA DIFI - POSGRADO INGENIERÍA				
<b>REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA</b>						
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>			FECHA: <u>03/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>RESISTENCIA DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL</u>			HORA: <u>9:45 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input type="radio"/> DESCARGA <input checked="" type="radio"/>						
REFERENCIA: <u>RESULTADOS DE MICROMETRO DEL LADO DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA</u>						
<b>DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO</b>						
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>			MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
<b>REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA</b>						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento mm	Acumulada mm	
03/jun/2022	10:10	15	675	0	4.629	
03/jun/2022	10:23	14	630	0.139	4.490	
03/jun/2022	10:25	12	540	0.460	4.030	
03/jun/2022	10:27	10	450	0.427	3.603	
03/jun/2022	10:29	8	360	0.473	3.130	
03/jun/2022	10:31	6	270	0.508	2.622	
03/jun/2022	10:33	4	180	0.586	2.036	
03/jun/2022	10:35	2	90	0.495	1.541	
03/jun/2022	10:37	0	0	0.535	1.006	
03/jun/2022	10:47	0	0	0.062	0.944	
<b>COMENTARIOS</b>						
SE SIGUIÓ RECUPERANDO DESPUES DE LA DESCARGA COMPLETA						



**Anexo 9:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio)” modelo analítico.

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>11/MAY/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA</u>				HORA: <u>18:00 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS DE MODELO ANALITICO EN SAP2000</u>							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por Incremento mm	Acumulada mm	
11/may/2022	18:00	0	0	0	0	0	
11/may/2022	18:00	2	90	23	0.000	0.348	
11/may/2022	18:05	4	180	46	0.214	0.562	
11/may/2022	18:10	6	270	69	0.213	0.775	
11/may/2022	18:15	8	360	92	0.213	0.988	
11/may/2022	18:20	10	450	115	0.214	1.20	
11/may/2022	18:25	12	540	137	0.204	1.406	
11/may/2022	18:30	14	630	160	0.213	1.62	
11/may/2022	18:35	16	720	183	0.213	1.832	
11/may/2022	18:40	18	810	206	0.214	2.046	
11/may/2022	18:45	20	900	229	0.213	2.259	
11/may/2022	18:50	22	990	252	0.213	2.472	
11/may/2022	18:55	24	1080	275	0.214	2.686	
11/may/2022	19:00	26	1170	298	0.213	2.899	
11/may/2022	19:05	28	1260	321	0.213	3.112	
11/may/2022	19:10	30	1350	344	0.204	3.316	
11/may/2022	18:00	31	1395	355	0.213	3.529	
COMENTARIOS							



**Anexo 10:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio)”  
 modelo experimental micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>						FECHA: <u>03/JUN/22</u>	
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA DE SERVICIO MÍNIMA</u>						HORA: <u>11:00 hrs</u>	
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL CETEVI</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>				MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento	Acumulada	
					mm	mm	
03/jun/2022	10:59	0	0	0	0	0	
03/jun/2022	11:01	2	90	23	0.000	0.320	
03/jun/2022	11:03	4	180	46	0.427	0.747	
03/jun/2022	11:05	6	270	69	0.283	1.030	
03/jun/2022	11:07	8	360	92	0.350	1.380	
03/jun/2022	11:09	10	450	115	0.230	1.61	
03/jun/2022	11:11	12	540	137	0.240	1.850	
03/jun/2022	11:13	14	630	160	0.110	1.96	
03/jun/2022	11:15	16	720	183	0.070	2.030	
03/jun/2022	11:17	18	810	206	0.390	2.420	
03/jun/2022	11:19	20	900	229	0.430	2.850	
03/jun/2022	11:21	22	990	252	0.380	3.230	
03/jun/2022	11:23	24	1080	275	0.370	3.600	
03/jun/2022	11:25	26	1170	298	0.210	3.810	
03/jun/2022	11:27	28	1260	321	0.210	4.020	
03/jun/2022	11:29	30	1350	344	0.120	4.140	
03/jun/2022	11:30	31	1395	355	0.330	4.470	ULTIMO INCREMENTO DE CARGA
03/jun/2022	12:00	31	1395	355	0.080	4.550	
03/jun/2022	12:30	31	1395	355	-0.020	4.530	
03/jun/2022	13:00	31	1395	355	0.110	4.640	
03/jun/2022	13:30	31	1395	355	0.020	4.660	
03/jun/2022	14:00	31	1395	355	0.050	4.710	
03/jun/2022	14:30	31	1395	355	0.160	4.870	
03/jun/2022	15:00	31	1395	355	0.070	4.940	
03/jun/2022	15:30	31	1395	355	0.080	5.020	
03/jun/2022	16:00	31	1395	355	-0.020	5.000	
03/jun/2022	16:30	31	1395	355	0.000	5.000	
03/jun/2022	17:30	31	1395	355	-0.050	4.950	
03/jun/2022	18:30	31	1395	355	0.000	4.950	
03/jun/2022	19:30	31	1395	355	-0.350	4.600	
03/jun/2022	20:30	31	1395	355	0.490	5.090	
COMENTARIOS							



**Anexo 11:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio)”  
 modelo experimental micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>							
FECHA: <u>03/JUN/22</u>							
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA DE SERVICIO MINIMA</u> HORA: <u>10:59 hrs</u>							
TIPO: <u>CARGA</u> <input checked="" type="radio"/> <u>DESCARGA</u> <input type="radio"/>							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS DE MICRÓMETRO DEL LADO DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u> MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento mm	Acumulada mm	
03/jun/2022	10:59	0	0	0	0	0	
03/jun/2022	11:01	2	90	23	0.000	0.322	
03/jun/2022	11:03	4	180	46	0.425	0.747	
03/jun/2022	11:05	6	270	69	0.290	1.037	
03/jun/2022	11:07	8	360	92	0.330	1.367	
03/jun/2022	11:09	10	450	115	0.232	1.60	
03/jun/2022	11:11	12	540	137	0.252	1.851	
03/jun/2022	11:13	14	630	160	0.110	1.96	
03/jun/2022	11:15	16	720	183	0.087	2.048	
03/jun/2022	11:17	18	810	206	0.449	2.497	
03/jun/2022	11:19	20	900	229	0.478	2.975	
03/jun/2022	11:21	22	990	252	0.400	3.375	
03/jun/2022	11:23	24	1080	275	0.430	3.805	
03/jun/2022	11:25	26	1170	298	0.222	4.027	
03/jun/2022	11:27	28	1260	321	0.276	4.303	
03/jun/2022	11:29	30	1350	344	0.139	4.442	
03/jun/2022	11:30	31	1395	355	0.420	4.862	ULTIMO INCREMENTO DE CARGA
03/jun/2022	12:00	31	1395	355	0.118	4.980	
03/jun/2022	12:30	31	1395	355	0.000	4.980	
03/jun/2022	13:00	31	1395	355	0.123	5.103	
03/jun/2022	13:30	31	1395	355	0.082	5.185	
03/jun/2022	14:00	31	1395	355	0.129	5.314	
03/jun/2022	14:30	31	1395	355	0.248	5.562	
03/jun/2022	15:00	31	1395	355	0.145	5.707	
03/jun/2022	15:30	31	1395	355	0.171	5.878	
03/jun/2022	16:00	31	1395	355	-0.103	5.775	
03/jun/2022	16:30	31	1395	355	-0.045	5.730	
03/jun/2022	17:30	31	1395	355	0.076	5.806	
03/jun/2022	18:30	31	1395	355	0.006	5.812	
03/jun/2022	19:30	31	1395	355	-0.466	5.346	
03/jun/2022	20:30	31	1395	355	-0.283	5.063	
COMENTARIOS							



**Anexo 12:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio)”  
 modelo experimental descarga micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <b>TESIS MAESTRÍA</b>							
FECHA: <b>04 JUN 22</b>							
NOMBRE DE LA PRUEBA: <b>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA DE SERVICIO MINIMA</b> HORA: <b>11:26 hrs</b>							
TIPO:      CARGA <input type="radio"/> DESCARGA <input checked="" type="radio"/>							
REFERENCIA: <b>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL CETEVI</b>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <b>MICRÓMETRO 1*</b> MODELO: <b>ELITE PRECISION</b>							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento	Acumulada	
					mm	mm	
03/jun/2022	11:26	31	1395	355	0	5.090	
03/jun/2022	11:28	30	1350	344	0.000	4.930	
03/jun/2022	11:30	28	1260	321	-0.090	4.840	
03/jun/2022	11:32	26	1170	298	-0.080	4.760	
03/jun/2022	11:34	24	1080	275	-0.180	4.580	
03/jun/2022	11:36	22	990	252	-0.270	4.310	
03/jun/2022	11:38	20	900	229	-0.270	4.040	
03/jun/2022	11:40	18	810	206	-0.410	3.630	
03/jun/2022	11:42	16	720	183	-0.440	3.190	
03/jun/2022	11:44	14	630	160	-0.270	2.920	
03/jun/2022	11:46	12	540	137	-0.150	2.770	
03/jun/2022	11:48	10	450	115	-0.210	2.560	
03/jun/2022	11:50	8	360	92	-0.220	2.340	
03/jun/2022	11:52	6	270	69	-0.370	1.970	
03/jun/2022	11:54	4	180	46	-0.320	1.650	
03/jun/2022	11:56	2	90	23	-0.520	1.130	
03/jun/2022	11:58	0	0	0	-0.510	0.620	ULTIMO DECREMENTO DE CARGA
03/jun/2022	12:20	0	0	0	-0.120	0.500	
COMENTARIOS							



**Anexo 13:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga de servicio)”  
 modelo experimental descarga micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>24/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA DE SERVICIO MINIMA</u>				HORA: <u>11:26 hrs</u>			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS DE MICRÓMETRO DEL LADO DEL LABORATORIO DE HIDRAÚLICA</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>				MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento	Acumulada	
					mm	mm	
03/jun/2022	11:26	31	1395	355	0	5.570	
03/jun/2022	11:28	30	1350	344	0.000	5.442	
03/jun/2022	11:30	28	1260	321	-0.112	5.330	
03/jun/2022	11:32	26	1170	298	-0.084	5.246	
03/jun/2022	11:34	24	1080	275	-0.226	5.020	
03/jun/2022	11:36	22	990	252	-0.262	4.758	
03/jun/2022	11:38	20	900	229	-0.337	4.421	
03/jun/2022	11:40	18	810	206	-0.493	3.928	
03/jun/2022	11:42	16	720	183	-0.426	3.502	
03/jun/2022	11:44	14	630	160	-0.322	3.180	
03/jun/2022	11:46	12	540	137	-0.146	3.034	
03/jun/2022	11:48	10	450	115	-0.209	2.825	
03/jun/2022	11:50	8	360	92	-0.233	2.592	
03/jun/2022	11:52	6	270	69	-0.382	2.210	
03/jun/2022	11:54	4	180	46	-0.337	1.873	
03/jun/2022	11:56	2	90	23	-0.524	1.349	
03/jun/2022	11:58	0	0	0	-0.548	0.801	ULTIMO INCREMENTO DE CARGA
03/jun/2022	12:20	0	0	0	-0.130	0.671	
COMENTARIOS							



**Anexo 14:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga última)”  
modelo analítico.

<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA</b>							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <b>TESIS MAESTRÍA</b>				FECHA: <b>11/MAY/22</b>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <b>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA</b>				HORA: <b>18:00 hrs</b>			
TIPO:            CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: <b>RESULTADOS DE MODELO ANALÍTICO EN SAP2000</b>							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por incremento	Acumulada	
					mm	mm	
11/may/2022	18:00	0	0	0	0	0	
11/may/2022	18:00	2	90	23	0.000	0.348	
11/may/2022	18:05	4	180	46	0.214	0.562	
11/may/2022	18:10	6	270	69	0.213	0.775	
11/may/2022	18:15	8	360	92	0.213	0.988	
11/may/2022	18:20	10	450	115	0.214	1.20	
11/may/2022	18:25	12	540	137	0.204	1.406	
11/may/2022	18:30	14	630	160	0.213	1.62	
11/may/2022	18:35	16	720	183	0.213	1.832	
11/may/2022	18:40	18	810	206	0.214	2.046	
11/may/2022	18:45	20	900	229	0.213	2.259	
11/may/2022	18:50	22	990	252	0.213	2.472	
11/may/2022	18:55	24	1080	275	0.214	2.686	
11/may/2022	19:00	26	1170	298	0.213	2.899	
11/may/2022	19:05	28	1260	321	0.213	3.112	
11/may/2022	19:10	30	1350	344	0.204	3.316	
11/may/2022	18:00	32	1440	366	0.213	3.529	
11/may/2022	18:00	34	1530	389	0.214	3.743	
11/may/2022	18:05	36	1620	412	0.213	3.956	
11/may/2022	18:10	38	1710	435	0.213	4.169	
11/may/2022	18:15	40	1800	458	0.214	4.383	
11/may/2022	18:20	42	1890	481	0.213	4.596	
11/may/2022	18:25	44	1980	504	0.213	4.809	
11/may/2022	18:30	46	2070	527	0.214	5.023	
11/may/2022	18:35	48	2160	550	0.204	5.227	
11/may/2022	18:40	50	2250	573	0.213	5.440	
11/may/2022	18:45	51	2295	584	0.207	5.647	
COMENTARIOS							



**Anexo 15:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga última)” modelo experimental micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>07/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA ÚLTIMA</u>				HORA: <u>08:50 hrs</u>			
TIPO: <input checked="" type="radio"/> CARGA <input type="radio"/> DESCARGA							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL CETEVI</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1°</u>				MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento mm	Acumulada mm	
07/jun/2022	08:50	0	0	0	0	0	
07/jun/2022	08:52	2	90	23	0.000	0.420	
07/jun/2022	08:54	4	180	46	0.430	0.850	
07/jun/2022	08:56	6	270	69	0.300	1.150	
07/jun/2022	08:58	8	360	92	0.350	1.500	
07/jun/2022	09:00	10	450	115	0.220	1.72	
07/jun/2022	09:02	12	540	137	0.200	1.920	
07/jun/2022	09:04	14	630	160	0.060	1.98	
07/jun/2022	09:06	16	720	183	0.100	2.080	
07/jun/2022	09:08	18	810	206	0.570	2.650	
07/jun/2022	09:10	20	900	229	0.430	3.080	
07/jun/2022	09:12	22	990	252	0.290	3.370	
07/jun/2022	09:14	24	1080	275	0.360	3.730	
07/jun/2022	09:16	26	1170	298	0.190	3.920	
07/jun/2022	09:18	28	1260	321	0.170	4.090	
07/jun/2022	09:20	30	1350	344	0.070	4.160	
07/jun/2022	09:22	32	1440	366	0.090	4.250	
07/jun/2022	09:24	34	1530	389	0.630	4.880	
07/jun/2022	09:26	36	1620	412	0.570	5.450	
07/jun/2022	09:28	38	1710	435	0.400	5.850	
07/jun/2022	09:30	40	1800	458	0.390	6.240	
07/jun/2022	09:32	42	1890	481	0.220	6.460	
07/jun/2022	09:34	44	1980	504	0.190	6.650	
07/jun/2022	09:36	46	2070	527	0.140	6.790	
07/jun/2022	09:38	48	2160	550	0.090	6.880	
07/jun/2022	09:40	50	2250	573	0.630	7.510	
07/jun/2022	09:42	51	2295	584	0.300	7.810	
07/jun/2022	10:12	51	2295	584	0.370	8.180	
07/jun/2022	11:12	51	2295	584	0.270	8.450	
07/jun/2022	12:12	51	2295	584	0.100	8.550	
07/jun/2022	13:12	51	2295	584	0.200	8.750	
07/jun/2022	14:12	51	2295	584	0.180	8.930	
07/jun/2022	15:12	51	2295	584	0.190	9.120	
07/jun/2022	16:12	51	2295	584	0.410	9.530	
07/jun/2022	17:12	51	2295	584	0.240	9.770	
07/jun/2022	18:12	51	2295	584	-9.770	9.550	
07/jun/2022	19:12	51	2295	584	0.000	9.420	
07/jun/2022	20:12	51	2295	584	0.000	8.860	
07/jun/2022	21:12	51	2295	584	0.000	8.610	
07/jun/2022	22:12	51	2295	584	0.000	8.520	
07/jun/2022	23:12	51	2295	584	0.000	8.490	
08/jun/2022	00:12	51	2295	584	0.000	9.440	
08/jun/2022	07:00	51	2295	584	0.000	9.440	
08/jun/2022	08:00	51	2295	584	0.000	9.440	
COMENTARIOS							



**Anexo 16:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga última)”  
modelo experimental micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA				FECHA: 07/JUN/22			
NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA ÚLTIMA				HORA: 08:50 hrs			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1"				MODELO: ELITE PRECISION			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento mm	Acumulada mm	
07/jun/2022	08:50	0	0	0	0	0	
07/jun/2022	08:52	2	90	23	0.000	0.462	
07/jun/2022	08:54	4	180	46	0.434	0.896	
07/jun/2022	08:56	6	270	69	0.296	1.192	
07/jun/2022	08:58	8	360	92	0.334	1.526	
07/jun/2022	09:00	10	450	115	0.207	1.73	
07/jun/2022	09:02	12	540	137	0.203	1.936	
07/jun/2022	09:04	14	630	160	0.067	2.00	
07/jun/2022	09:06	16	720	183	0.099	2.102	
07/jun/2022	09:08	18	810	206	0.628	2.730	
07/jun/2022	09:10	20	900	229	0.448	3.178	
07/jun/2022	09:12	22	990	252	0.303	3.481	
07/jun/2022	09:14	24	1080	275	0.384	3.865	
07/jun/2022	09:16	26	1170	298	0.190	4.055	
07/jun/2022	09:18	28	1260	321	0.173	4.228	
07/jun/2022	09:20	30	1350	344	0.063	4.291	
07/jun/2022	09:22	32	1440	366	0.095	4.386	ULTIMO INCREMENTO DE CARGA
07/jun/2022	09:24	34	1530	389	0.687	5.073	
07/jun/2022	09:26	36	1620	412	0.015	5.088	
07/jun/2022	09:28	38	1710	435	1.026	6.114	
07/jun/2022	09:30	40	1800	458	0.406	6.520	
07/jun/2022	09:32	42	1890	481	0.257	6.777	
07/jun/2022	09:34	44	1980	504	0.208	6.985	
07/jun/2022	09:36	46	2070	527	0.104	7.089	
07/jun/2022	09:38	48	2160	550	0.102	7.191	
07/jun/2022	09:40	50	2250	573	0.756	7.947	
07/jun/2022	09:42	51	2295	584	0.261	8.208	
07/jun/2022	10:12	51	2295	584	0.321	8.529	
07/jun/2022	11:12	51	2295	584	0.285	8.814	
07/jun/2022	12:12	51	2295	584	0.122	8.936	
07/jun/2022	13:12	51	2295	584	0.265	9.201	
07/jun/2022	14:12	51	2295	584	0.303	9.504	
07/jun/2022	15:12	51	2295	584	0.488	9.992	
07/jun/2022	16:12	51	2295	584	0.538	10.530	
07/jun/2022	17:12	51	2295	584	0.238	10.768	
07/jun/2022	18:12	51	2295	584	0.090	10.858	
07/jun/2022	19:12	51	2295	584	-0.187	10.671	
07/jun/2022	20:12	51	2295	584	-0.803	9.868	
07/jun/2022	21:12	51	2295	584	-0.306	9.562	
07/jun/2022	22:12	51	2295	584	-0.122	9.440	
07/jun/2022	23:12	51	2295	584	-0.050	9.390	
08/jun/2022	00:12	51	2295	584	0.879	10.269	
08/jun/2022	07:00	51	2295	584	0.000	10.269	
08/jun/2022	08:00	51	2295	584	0.000	10.269	
COMENTARIOS							



**Anexo 17:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga última)” modelo experimental descarga micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>						FECHA: <u>08/JUN/22</u>	
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA ÚLTIMA</u>						HORA: <u>8::10 hrs</u>	
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input checked="" type="radio"/>							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL CETEVI</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u> MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por Incremento	Acumulada	
					mm	mm	
08/jun/2022	08:10	51	2295	584	0	9.440	
08/jun/2022	08:12	50	2250	573	0.000	9.320	
08/jun/2022	08:14	48	2160	550	-0.430	8.890	
08/jun/2022	08:16	46	2070	527	-0.090	8.800	
08/jun/2022	08:18	44	1980	504	-0.060	8.740	
08/jun/2022	08:20	42	1890	481	-0.210	8.530	
08/jun/2022	08:22	40	1800	458	-0.200	8.330	
08/jun/2022	08:24	38	1710	435	-0.350	7.980	
08/jun/2022	08:26	36	1620	412	-0.340	7.640	
08/jun/2022	08:28	34	1530	389	-0.420	7.220	
08/jun/2022	08:30	32	1440	366	-0.490	6.730	
08/jun/2022	08:32	30	1350	344	-0.110	6.620	
08/jun/2022	08:34	28	1260	321	-0.070	6.550	
08/jun/2022	08:36	26	1170	298	-0.180	6.370	
08/jun/2022	08:38	24	1080	275	-0.210	6.160	
08/jun/2022	08:40	22	990	252	-0.330	5.830	
08/jun/2022	08:42	20	900	229	-0.370	5.460	
08/jun/2022	08:44	18	810	206	-0.500	4.960	
08/jun/2022	08:46	16	720	183	-0.520	4.440	
08/jun/2022	08:48	14	630	160	-0.090	4.350	
08/jun/2022	08:50	12	540	137	-0.070	4.280	
08/jun/2022	08:52	10	450	115	-0.240	4.040	
08/jun/2022	08:54	8	360	92	-0.240	3.800	
08/jun/2022	08:56	6	270	69	-0.450	3.350	
08/jun/2022	08:58	4	180	46	-0.380	2.970	
08/jun/2022	09:00	2	90	23	-0.510	2.460	
08/jun/2022	09:02	0	0	0	-0.880	1.580	
COMENTARIOS							



**Anexo 18:** Registro de prueba “Deformación y carga máxima del sistema (carga última)” modelo experimental descarga micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>						FECHA: <u>08/JUN/22</u>	
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA CARGA ÚLTIMA</u>						HORA: <u>8:10 hrs</u>	
TIPO: <input checked="" type="radio"/> CARGA <input type="radio"/> DESCARGA							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1"</u>						MODELO: <u>FLITE PRECISION</u>	
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m2	Por Incremento	Acumulada	
					mm	mm	
08/jun/2022	08:10	51	2295	584	0	10.280	
08/jun/2022	08:12	50	2250	573	0.000	10.074	
08/jun/2022	08:14	48	2160	550	-0.369	9.705	
08/jun/2022	08:16	46	2070	527	-0.082	9.623	
08/jun/2022	08:18	44	1980	504	-0.068	9.555	
08/jun/2022	08:20	42	1890	481	-0.219	9.336	
08/jun/2022	08:22	40	1800	458	-0.195	9.141	
08/jun/2022	08:24	38	1710	435	-0.399	8.742	
08/jun/2022	08:26	36	1620	412	-0.302	8.440	
08/jun/2022	08:28	34	1530	389	-0.494	7.946	
08/jun/2022	08:30	32	1440	366	-0.432	7.514	
08/jun/2022	08:32	30	1350	344	-0.105	7.409	
08/jun/2022	08:34	28	1260	321	-0.071	7.338	
08/jun/2022	08:36	26	1170	298	-0.177	7.161	
08/jun/2022	08:38	24	1080	275	-0.203	6.958	
08/jun/2022	08:40	22	990	252	-0.320	6.638	
08/jun/2022	08:42	20	900	229	-0.361	6.277	
08/jun/2022	08:44	18	810	206	-0.495	5.782	
08/jun/2022	08:46	16	720	183	-0.533	5.249	
08/jun/2022	08:48	14	630	160	-0.091	5.158	
08/jun/2022	08:50	12	540	137	-0.073	5.085	
08/jun/2022	08:52	10	450	115	-0.233	4.852	
08/jun/2022	08:54	8	360	92	-0.239	4.613	
08/jun/2022	08:56	6	270	69	-0.445	4.168	
08/jun/2022	08:58	4	180	46	-0.370	3.798	
08/jun/2022	09:00	2	90	23	-0.516	3.282	
08/jun/2022	09:02	0	0	0	-0.954	2.328	
COMENTARIOS							



Anexo 19: Registro de prueba “Carga al colapso” modelo experimental micrómetro 1.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>08/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>CARGA HASTA COLAPSO DEL SISTEMA</u>				HORA: <u>09:30 hrs</u>			
TIPO: <input checked="" type="radio"/> CARGA <input type="radio"/> DESCARGA							
REFERENCIA: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL CETEV</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1*</u>				MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por incremento mm	Acumulado mm	
08/Jun/2022	09:30	0	0	0	0	0	
08/Jun/2022	09:32	2	90	23	0.000	0.670	
08/Jun/2022	09:34	4	180	46	0.460	1.130	
08/Jun/2022	09:36	6	270	69	0.430	1.560	
08/Jun/2022	09:38	8	360	92	0.490	2.050	
08/Jun/2022	09:40	10	450	115	0.270	2.32	
08/Jun/2022	09:42	12	540	137	0.210	2.530	
08/Jun/2022	09:44	14	630	160	0.120	2.65	
08/Jun/2022	09:46	16	720	183	0.090	2.740	
08/Jun/2022	09:48	18	810	206	0.640	3.380	
08/Jun/2022	09:50	20	900	229	0.520	3.900	
08/Jun/2022	09:52	22	990	252	0.360	4.260	
08/Jun/2022	09:54	24	1080	275	0.440	4.700	
08/Jun/2022	09:56	26	1170	298	0.240	4.940	
08/Jun/2022	09:58	28	1260	321	0.240	5.180	
08/Jun/2022	10:00	30	1350	344	0.110	5.290	
08/Jun/2022	10:02	32	1440	366	0.100	5.390	ULTIMO INCREMENTO DE CARGA
08/Jun/2022	10:04	34	1530	389	0.530	5.920	
08/Jun/2022	10:06	36	1620	412	0.580	6.500	
08/Jun/2022	10:08	38	1710	435	0.380	6.880	
08/Jun/2022	10:10	40	1800	458	0.370	7.250	
08/Jun/2022	10:12	42	1890	481	0.220	7.470	
08/Jun/2022	10:14	44	1980	504	0.309	7.779	
08/Jun/2022	10:16	46	2070	527	0.081	7.860	
08/Jun/2022	10:18	48	2160	550	0.130	7.990	
08/Jun/2022	10:20	50	2250	573	0.830	8.820	
08/Jun/2022	10:25	52	2340	595	0.340	9.160	
08/Jun/2022	10:30	54	2430	618	0.340	10.100	
08/Jun/2022	10:35	56	2520	641	0.480	10.580	
08/Jun/2022	10:40	58	2610	664	0.220	10.800	
08/Jun/2022	10:45	60	2700	687	0.290	11.090	
08/Jun/2022	10:50	62	2790	710	0.140	11.230	
08/Jun/2022	10:55	64	2880	733	0.070	11.300	
08/Jun/2022	11:00	66	2970	756	0.950	12.250	AJUSTE DE MICRÓMETRO
08/Jun/2022	11:05	68	3060	779	1.030	13.280	
08/Jun/2022	11:10	70	3150	802	0.380	13.640	
08/Jun/2022	11:15	72	3240	824	0.620	14.260	
08/Jun/2022	11:20	74	3330	847	0.320	14.580	
08/Jun/2022	11:25	76	3420	870	0.400	14.980	
08/Jun/2022	11:30	78	3510	893	0.140	15.120	
08/Jun/2022	11:35	80	3600	916	0.340	15.460	
08/Jun/2022	11:40	82	3690	939	1.740	17.200	
08/Jun/2022	11:45	84	3780	962	0.660	17.860	
08/Jun/2022	11:50	86	3870	985	0.490	18.350	
08/Jun/2022	11:55	88	3960	1008	0.910	19.260	
08/Jun/2022	12:00	90	4050	1031	0.660	19.920	
08/Jun/2022	12:05	92	4140	1053	1.300	21.220	
08/Jun/2022	12:10	94	4230	1076	0.030	21.250	
08/Jun/2022	12:15	96	4320	1099	0.070	21.320	
08/Jun/2022	14:30	98	4410	1122	0.580	21.900	AJUSTE DE MICRÓMETRO
08/Jun/2022	14:40	100	4500	1145	1.220	23.120	
08/Jun/2022	14:50	102	4590	1168	1.090	24.210	
08/Jun/2022	15:00	104	4680	1191	1.330	25.540	
08/Jun/2022	15:10	106	4770	1214	1.030	26.570	
08/Jun/2022	15:15	108	4860	1237	0.850	27.420	
08/Jun/2022	15:18	110	4950	1260	3.600	31.020	
08/Jun/2022	15:20	112	5040	1282	0.370	31.390	
08/Jun/2022	15:50	113	5040	1282	0.070	31.460	
08/Jun/2022	18:20	113	5040	1282	0.220	31.680	
08/Jun/2022	21:00	113	5040	1282	-1.110	30.570	
09/Jun/2022	08:00	112	5040	1282	0.000	30.570	
09/Jun/2022	08:45	114	5130	1305	0.590	31.160	AJUSTE DE MICRÓMETRO
09/Jun/2022	08:50	116	5220	1328	0.610	31.770	
09/Jun/2022	08:55	118	5310	1351	1.230	33.000	
09/Jun/2022	09:00	120	5400	1374	0.760	33.760	
09/Jun/2022	09:05	122	5490	1397	0.640	34.400	
09/Jun/2022	09:10	124	5580	1420	0.660	35.060	
09/Jun/2022	09:15	126	5670	1443	0.710	35.770	
09/Jun/2022	09:20	128	5760	1466	6.820	42.590	RETIBAMOS MICRÓMETROS
09/Jun/2022	09:25	130	5850	1489	2.410	45.000	LECTURA TOMADA CON FLEXOMETRO
COMENTARIOS							



**Anexo 20:** Registro de prueba “Carga al colapso” modelo experimental micrómetro 2.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>TESIS MAESTRÍA</u>				FECHA: <u>08/JUN/22</u>			
NOMBRE DE LA PRUEBA: <u>CARGA HASTA COLAPSO DEL SISTEMA</u>				HORA: <u>09:30 hrs</u>			
TIPO: <input checked="" type="radio"/> CARGA <input type="radio"/> DESCARGA							
REFERENCIAL: <u>RESULTADOS MICRÓMETRO LADO DEL LAB DE HIDRAULICA</u>							
DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO							
NOMBRE DEL INSTRUMENTO: <u>MICRÓMETRO 1°</u>				MODELO: <u>ELITE PRECISION</u>			
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por Incremento mm	Acumulada mm	
08/jun/2022	09:30	0	0	0	0	0	
08/jun/2022	09:32	2	90	23	0.000	0.504	
08/jun/2022	09:34	4	180	46	0.479	0.983	
08/jun/2022	09:36	6	270	69	0.443	1.426	
08/jun/2022	09:38	8	360	92	0.492	1.918	
08/jun/2022	09:40	10	450	115	0.276	2.19	
08/jun/2022	09:42	12	540	137	0.209	2.403	
08/jun/2022	09:44	14	630	160	0.110	2.51	
08/jun/2022	09:46	16	720	183	0.099	2.612	
08/jun/2022	09:48	18	810	206	0.695	3.307	
08/jun/2022	09:50	20	900	229	0.529	3.836	
08/jun/2022	09:52	22	990	252	0.412	4.248	
08/jun/2022	09:54	24	1080	275	0.405	4.653	
08/jun/2022	09:56	26	1170	298	0.228	4.881	
08/jun/2022	09:58	28	1260	321	0.260	5.141	Lectura con flexometro 3 mm
08/jun/2022	10:00	30	1350	344	0.104	5.245	
08/jun/2022	10:02	32	1440	366	0.102	5.347	
08/jun/2022	10:04	34	1530	389	0.566	5.913	
08/jun/2022	10:06	36	1620	412	0.580	6.493	
08/jun/2022	10:08	38	1710	435	0.408	6.901	
08/jun/2022	10:10	40	1800	458	0.447	7.348	
08/jun/2022	10:12	42	1890	481	0.176	7.524	
08/jun/2022	10:14	44	1980	504	0.393	7.917	
08/jun/2022	10:16	46	2070	527	0.098	8.015	
08/jun/2022	10:18	48	2160	550	0.108	8.123	
08/jun/2022	10:20	50	2250	573	1.000	9.123	
08/jun/2022	10:25	52	2340	595	1.407	10.530	
08/jun/2022	10:30	54	2430	618	0.014	10.544	
08/jun/2022	10:35	56	2520	641	0.496	11.040	
08/jun/2022	10:40	58	2610	664	0.272	11.312	
08/jun/2022	10:45	60	2700	687	0.297	11.609	
08/jun/2022	10:50	62	2790	710	0.172	11.781	
08/jun/2022	10:55	64	2880	733	0.818	12.599	
08/jun/2022	11:00	66	2970	756	1.045	13.644	AJUSTE DE MICRÓMETRO
08/jun/2022	11:05	68	3060	779	1.036	14.680	
08/jun/2022	11:10	70	3150	802	0.347	15.027	
08/jun/2022	11:15	72	3240	824	0.683	15.710	
08/jun/2022	11:20	74	3330	847	0.311	16.021	
08/jun/2022	11:25	76	3420	870	0.408	16.429	
08/jun/2022	11:30	78	3510	893	0.161	16.590	
08/jun/2022	11:35	80	3600	916	0.469	17.059	
08/jun/2022	11:40	82	3690	939	1.820	18.879	
08/jun/2022	11:45	84	3780	962	0.750	19.629	
08/jun/2022	11:50	86	3870	985	0.520	20.149	
08/jun/2022	11:55	88	3960	1008	1.037	21.186	
08/jun/2022	12:00	90	4050	1031	0.789	21.975	
08/jun/2022	12:05	92	4140	1053	2.026	24.001	
08/jun/2022	12:10	94	4230	1076	0.252	24.253	
08/jun/2022	12:15	96	4320	1099	0.285	24.538	
08/jun/2022	14:30	98	4410	1122	0.690	25.228	AJUSTE DE MICRÓMETRO
08/jun/2022	14:40	100	4500	1145	1.270	26.498	
08/jun/2022	14:50	102	4590	1168	1.117	27.615	
08/jun/2022	15:00	104	4680	1191	1.273	28.888	
08/jun/2022	15:10	106	4770	1214	0.990	29.878	
08/jun/2022	15:15	108	4860	1237	0.880	30.758	
08/jun/2022	15:18	110	4950	1260	3.589	34.347	
08/jun/2022	15:20	112	5040	1282	0.303	34.650	
08/jun/2022	15:50	112	5040	1282	0.218	34.868	AJUSTE DE MICRÓMETRO
08/jun/2022	18:20	112	5040	1282	0.197	35.065	
08/jun/2022	21:00	112	5040	1282	0.001	35.066	
09/jun/2022	08:00	112	5040	1282	-0.001	35.065	
09/jun/2022	08:45	114	5130	1305	0.737	35.802	AJUSTE DE MICRÓMETRO
09/jun/2022	08:50	116	5220	1328	0.965	36.767	
09/jun/2022	08:55	118	5310	1351	-0.878	35.889	
09/jun/2022	09:00	120	5400	1374	0.731	36.620	
09/jun/2022	09:05	122	5490	1397	0.603	37.223	
09/jun/2022	09:10	124	5580	1420	0.633	37.856	
09/jun/2022	09:15	126	5670	1443	0.791	38.647	
09/jun/2022	09:20	128	5760	1466	7.125	45.772	RETIRAMOS MICRÓMETROS
09/jun/2022	09:25	130	5850	1489	2.228	48.000	LECTURA TOMADA CON FLEXOMETRO
COMENTARIOS							



**Anexo 21:** Registro de prueba “Carga al colapso” modelo analítico.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERETARO FACULTAD DE INGENIERÍA DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA							
REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA							
NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA				FECHA: 11/MAY/22			
NOMBRE DE LA PRUEBA: INFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEL SISTEMA				HORA: 18:00 hrs			
TIPO: CARGA <input checked="" type="radio"/> DESCARGA <input type="radio"/>							
REFERENCIA: RESULTADOS DE MODELO ANALÍTICO EN SAP2000							
REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA							
FECHA	HORA	CARGA			DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Centales	Kilos	kg/m <sup>2</sup>	Por Incremento mm	Acumada mm	
12/may/2022	18:00	0	0	0	0	0	
12/may/2022	18:02	2	90	23	0.000	0.348	
12/may/2022	18:04	4	180	46	0.214	0.562	
12/may/2022	18:06	6	270	69	0.213	0.775	
12/may/2022	18:08	8	360	92	0.213	0.988	
12/may/2022	18:10	10	450	115	0.214	1.20	
12/may/2022	18:12	12	540	137	0.204	1.406	
12/may/2022	18:14	14	630	160	0.213	1.62	
12/may/2022	18:16	16	720	183	0.213	1.832	
12/may/2022	18:18	18	810	206	0.214	2.046	
12/may/2022	18:20	20	900	229	0.213	2.259	
12/may/2022	18:22	22	990	252	0.213	2.472	
12/may/2022	18:24	24	1080	275	0.214	2.686	
12/may/2022	18:26	26	1170	298	0.213	2.899	
12/may/2022	18:28	28	1260	321	0.213	3.112	
12/may/2022	18:30	30	1350	344	0.204	3.316	
12/may/2022	18:32	32	1440	366	0.213	3.529	
12/may/2022	18:34	34	1530	389	0.214	3.743	
12/may/2022	18:36	36	1620	412	0.213	3.956	
12/may/2022	18:38	38	1710	435	0.213	4.169	
12/may/2022	18:40	40	1800	458	0.214	4.383	
12/may/2022	18:42	42	1890	481	0.213	4.596	
12/may/2022	18:44	44	1980	504	0.213	4.809	
12/may/2022	18:46	46	2070	527	0.214	5.023	
12/may/2022	18:48	48	2160	550	0.204	5.227	
12/may/2022	18:50	50	2250	573	0.213	5.440	
12/may/2022	18:52	52	2340	595	0.214	5.654	
12/may/2022	18:54	54	2430	618	0.213	5.867	
12/may/2022	18:56	56	2520	641	0.213	6.080	
12/may/2022	18:58	58	2610	664	0.214	6.294	
12/may/2022	19:00	60	2700	687	0.213	6.507	
12/may/2022	19:02	62	2790	710	0.204	6.711	
12/may/2022	19:04	64	2880	733	0.223	6.934	
12/may/2022	19:06	66	2970	756	0.213	7.147	
12/may/2022	19:08	68	3060	779	0.204	7.351	
12/may/2022	19:10	70	3150	802	0.213	7.564	
12/may/2022	19:12	72	3240	824	0.214	7.778	
12/may/2022	19:14	74	3330	847	0.213	7.991	
12/may/2022	19:16	76	3420	870	0.213	8.204	
12/may/2022	19:18	78	3510	893	0.214	8.418	
12/may/2022	19:20	80	3600	916	0.213	8.631	
12/may/2022	19:22	82	3690	939	0.213	8.844	
12/may/2022	19:24	84	3780	962	0.213	9.057	
12/may/2022	19:26	86	3870	985	0.214	9.271	
12/may/2022	19:28	88	3960	1008	0.213	9.484	
12/may/2022	19:30	90	4050	1031	0.214	9.698	
12/may/2022	19:32	92	4140	1053	0.204	9.902	
12/may/2022	19:34	94	4230	1076	0.213	10.115	
12/may/2022	19:36	96	4320	1099	0.213	10.328	
12/may/2022	19:38	98	4410	1122	0.214	10.542	
12/may/2022	19:40	100	4500	1145	0.213	10.755	
12/may/2022	19:42	102	4590	1168	0.204	10.959	
12/may/2022	19:44	104	4680	1191	0.223	11.182	
12/may/2022	19:46	106	4770	1214	0.213	11.395	
12/may/2022	19:48	108	4860	1237	0.204	11.599	
12/may/2022	19:50	110	4950	1260	0.214	11.813	
12/may/2022	19:52	112	5040	1282	0.213	12.026	
12/may/2022	19:54	114	5130	1305	0.213	12.239	
12/may/2022	19:56	116	5220	1328	0.214	12.453	
12/may/2022	19:58	118	5310	1351	0.213	12.666	
12/may/2022	20:00	120	5400	1374	0.213	12.879	
12/may/2022	20:02	122	5490	1397	0.213	13.092	
12/may/2022	20:04	124	5580	1420	0.204	13.296	
12/may/2022	20:06	126	5670	1443	0.223	13.519	
12/may/2022	20:08	128	5760	1466	0.213	13.732	
12/may/2022	20:10	130	5850	1489	0.204	13.936	
COMENTARIOS							