



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

**DISEÑO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYE DE UNA PROPUESTA
DE LOSA PARA CASA HABITACIÓN.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta

Ing. José Zirahuén Peña Campos

Dirigido por:

Dr. Alejandro Clemente Chávez

Querétaro, Qro. Abril de 2022



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias Línea Terminal Estructuras

**DISEÑO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYE DE UNA PROPUESTA
DE LOSA PARA CASA HABITACIÓN.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias.

Presenta:

Ing. José Zirahuén Peña Campos

Dirigido por:

Dr. Alejandro Clemente Chávez

Dr. Alejandro Clemente Chávez
Presidente

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza
Secretario

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández
Vocal

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca
Suplente

Dr. Omar Chávez Alegría
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Abril de 2022
México

Resumen

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018), la república mexicana atraviesa por un problema de déficit habitacional que no solo es regional si que no que afecta al mundo entero: “ En México se estima que un 34% de la población no habita en una vivienda digna, es decir 73 millones de mexicanos” debido al alto costo de las viviendas y al bajo poder adquisitivo, por lo que se presenta una opción de construcción que aporta soluciones de bajo costo optimizando recursos sin perder su eficiencia y confort. Cabe mencionar que una vivienda digna se define como la cual no debe tener más de 2.5 habitantes por cuarto habitable, no estar deteriorada, contar con agua entubada en el interior, contar con drenaje, contar con energía eléctrica. Se da a conocer un nuevo método de construcción de losas, con el que se pretende innovar en los sistemas de losa en construcción de casas habitación en serie en el país. Este consiste en las siguientes premisas principales: Materiales de fácil obtención en el mercado, modulable, ligera, buen comportamiento ante deflexiones, no uso de cimbra, económica y fácil de construir. La propuesta de sistema de losa tridimensional modular LTM inicialmente fue modelada analíticamente con el software Structural Analysis Program, SAP 2000; posteriormente fue construida en modelo real y probada experimentalmente bajo la metodología acorde con los métodos de ensaye establecidas por la norma mexicana NMX-C-406-ONNCE-2019 de la Industria de la construcción: “componentes estructurales prefabricados de concreto para sistemas de losas”. En todo momento fue considerado aspectos de diseño bajo cargas en condiciones de servicio acorde a las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México NTC-2017. Los resultados muestran un buen comportamiento pasando todas las pruebas ante normativas, una buena eficiencia estructural con gran rango en comportamiento de ductilidad; este último aspecto hace sobresalir al sistema LTM en criterios de diseño sísmico. La discusión y resultados en detalle son mostrados en el documento. Se recomienda esta propuesta del sistema LTM pueda ser tomado en cuenta en futuros proyectos de vivienda en México dado los beneficios obtenidos en la reducción de recursos, eficiencia y comportamiento estructural, así como la contribución al medio ambiente.

(Palabras Clave: innovación, tridilosa, déficit habitacional, sistema constructivo, sistema estructural).

Summary

According to Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018), the Mexican republic is going through a housing deficit problem that is not only regional but affects the entire world: "In Mexico, it is estimated that 34% of the population does not live in a decent home, that is, 73 million Mexicans" due to the high cost of housing and low purchasing power, which is why a construction option is presented that provides low-cost solutions optimizing resources without losing their efficiency and comfort. . It is worth mentioning that a decent home is defined as one that should not have more than 2.5 inhabitants per habitable room, not be deteriorated, have piped water inside, have drainage, have electricity. A new slab construction method is released, with which it is intended to innovate in slab systems in serial residential construction in the country. This consists of the following main premises: Materials that are easily available on the market, modulable, light, good behavior against deflections, no use of falsework, economical and easy to build. The LTM modular three-dimensional slab system proposal was initially analytically modeled with the Structural Analysis Program software, SAP 2000; Later, it was built in a real model and experimentally tested under the methodology in accordance with the test methods established by the Mexican standard NMX-C-406-ONNCE-2019 of the Construction Industry: "precast concrete structural components for slab systems". At all times, design aspects under loads were considered in service conditions according to Las Normas Tecnicas Complementarias de la ciudad de México NTC-2017. The results show a good behavior passing all the tests before regulations, a good structural efficiency with a wide range in ductility behavior; This last aspect makes the LTM system stand out in terms of seismic design criteria. Detailed discussion and results are shown in the document. It is recommended that this proposal of the LTM system can be taken into account in future housing projects in Mexico given the benefits obtained in the reduction of resources, efficiency and structural behavior, as well as the contribution to the environment.

(Key Words: innovation, tridilose, housing deficit, construction system, structural system).

Dedicatorias

A mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente y me enseñaron el valor de cumplir los sueños a base de perseverancia y mucha dedicación.

A mis hermanas y cuñado, por su apoyo, comprensión y motivación.

A mi pareja, por sus consejos y ánimos.

Agradecimientos

A mi Universidad, por darme la oportunidad de alcanzar un objetivo más en mi vida como profesional.

Al CONACYT, por la beca nacional que me brindó de enero del 2020 a diciembre 2021 la cual me permitió dedicarme en tiempo completo a la realización de esta investigación.

Al Dr. Clemente, por ser mi director de tesis y por el apoyo que me brindo a lo largo de la realización de este trabajo.

Al Dr. Rivas, por el financiamiento para la construcción del modelo experimental a través del FOMIX-QRO del CETEVI y por sus observaciones durante la elaboración de esta investigación.

Al Dr. Pérez Lara, por sus observaciones durante la elaboración del presente trabajo.

A mis compañeros de Licenciatura de la UAQ, por el apoyo brindado en la construcción y ensaye del modelo experimental.

Gracias.

Índice

Resumen.....	i
Summary	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos	iv
Índice.....	v
Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Objetivo General.....	4
1.5 Objetivos Particulares.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Tipos de losas	6
2.2 Revisión de la norma.	34
3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE LOSA: LTM.....	41
3.1 Características del sistema.....	41
3.2 Geometría del sistema.	42
3.3 Análisis y diseño estructural.....	44
4. METODOLOGÍA	48
4.1 Fabricación, Montaje y Colado del sistema LTM.	49
4.2 Ensaye.	57
5. VALIDACIÓN: RESULTADOS.	72
5.1 Resistencia a flexión bajo una carga puntual.	72
5.2 Deformación y carga máxima debido a: Carga de servicio mínima.	76
5.3 Deformación y carga máxima debido a: Carga última.....	81
5.4 Comportamiento del sistema, ensaye al colapso.	86
5.5 Precio unitario.	96
6. CONCLUSIÓN.....	101
7. BIBLIOGRAFÍA.....	106
8. ANEXOS	110

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares	14
Tabla 2.2 Cargas aplicadas y deformaciones obtenidas	17
Tabla 2.3 Propiedades del sistema novidesa	21
Tabla 2.4 Espesor mínimo de losas sin vigas interiores	28
Tabla 3.1 Propiedades del perfil tubular rectangular	43
Tabla 3.2 Propiedades de la varilla de acero	44
Tabla 3.3 Cargas losa de entrepiso	45
Tabla 3.4 Cargas losa de azotea	45
Tabla 4.1 Caracterización del material	55
Tabla 4.2 Dosificación del material para obtener una mezcla con resistencia de diseño mínima de 250 kg/cm ²	55
Tabla 5.1 Lecturas del modelo experimental en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	73
Tabla 5.2 Lecturas de carga del modelo analítico en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual.	74
Tabla 5.3 Lecturas de carga uniformemente distribuida y descarga del modelo experimental en el ensaye carga de servicio mínima	77
Tabla 5.4 Lecturas de carga uniformemente distribuida del modelo analítico en el ensaye carga de servicio mínima	79
Tabla 5.5 Lecturas de la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensaye carga última	82
Tabla 5.6 Lecturas de carga del modelo analítico en el ensaye carga última	84
Tabla 5.7 Resumen de las cuatro etapas de carga del ensaye al colapso.	86
Tabla 5.8 Lecturas de carga del modelo experimental del ensaye al colapso	88
Tabla 5.9 Precio Unitario de los sistemas de losa más empleados en el país a la fecha de octubre 2021	97
Tabla 5.10 Explosión de insumos del sistema LTM a la fecha de octubre 2021	98
Tabla 5.11 Explosión de insumos del sistema de losa maciza a la fecha de octubre 2021,	98
Tabla 5.12 Explosión de insumos del sistema losa de vigueta y bovedilla a la fecha de octubre 2021	99
Tabla 6.1 Resumen de resultados de las pruebas ONNCCE y NTC 2017 al sistema LTM,	102
Tabla 6.2 Resumen de resultados del ensaye al colapso del sistema LTM	103

Índice de Figuras

Figura 2.1 a) Sistema Termodomo, (Marín Ávila & Reynoso Miranda, 1998), b) Casa construida mediante impresión 3D.....	5
Figura 2.2 Detalle de una losa maciza	7
Figura 2.3 Grafica carga – deflexión de una losa	8
Figura 2.4 Configuración del agrietamiento para los distintos valores	9
Figura 2.5 Franjas en el método de Marcus	10
Figura 2.6 Detalle de una losa reticular	12
Figura 2.7 Detalle de la losacero.....	15
Figura 2.8 Gráfica curva esfuerzo deformación del elemento losacero.....	18
Figura 2.9 Componentes del sistema Viga acero.....	19
Figura 2.10 Detalle del Sistema de losa Novidesa Markos.....	20
Figura 2.11 Elementos del sistema Semivigueta y bovedilla.....	22
Figura 2.12 Componentes del Elemento estructural Alveolar	24
Figura 2.13 Componentes del sistema de Vigueta y bovedilla	25
Figura 2.14 Curva carga vs deformación del sistema vigueta y bovedilla	26
Figura 2.15 a) Diagrama de partes que componen al sistema Bubble Deck (Mrinank & Manjesh, 2016), b) Imagen real del sistema Bubble Deck	27
Figura 2.16 Elementos Losa CTS	29
Figura 2.17 Sistema Tridilosa	30
Figura 2.18 Implementación del sistema tridilosa en la construcción del World Trade Center de la ciudad de México en 1972	31
Figura 2.19 Daño por corrosión del acero en una tridilosa del Centro social y de usos múltiples en Macuspana Tabasco.....	32
Figura 2.20 Figura piramidal de la cual se compone la tridilosa	32
Figura 2.21 Configuraciones de la estructura interna del sistema tridilosa para grandes claros	33
Figura 2.22 Prueba de resistencia a flexión bajo una carga puntual	36
Figura 2.23 Prueba de carga distribuida de servicio mínima.....	38
Figura 2.24 Prueba de carga distribuida de servicio aumentada.....	40
Figura 3.1 Vista en Isométrico del Módulo del sistema LTM.....	42
Figura 3.2 Vista Lateral del sistema LTM	43
Figura 3.3 Modelo de la armadura en AutoCad.....	44
Figura 3.4 a) Análisis y b) diseño estructural del sistema LTM	47
Figura 4.1 Diagrama de árbol sobre la metodología.....	48
Figura 4.2 Render del modelo experimental.....	49
Figura 4.3 a) Construcción de las bases, b) Bases terminadas.....	50
Figura 4.4 a) Construcción de los módulos del sistema, b) Módulos terminados	50
Figura 4.5 a) Peso de un módulo del Sistema LTM, a) Presentación de Módulos del Sistema LTM con el acabado.....	51

Figura 4.6 Detalle pernos de sujeción.....	52
Figura 4.7 Instalación de las cadenas.....	52
Figura 4.8 Detalle del cimbrado.....	53
Figura 4.9 Detalle de la colocación del plástico	53
Figura 4.10 Detalle de la colocación de la malla 6-6/10-10	54
Figura 4.11 a) Elaboración de la mezcla en sitio, b) vaciado de la mezcla	56
Figura 4.12 Preparación para el aplanado de la cara inferior del sistema LTM	56
Figura 4.13 Acabado inferior de la losa.....	57
Figura 4.14 Dimensión de los costales	58
Figura 4.15 Canastilla de precisión para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual.....	59
Figura 4.16 Colocación de los micrómetros para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	59
Figura 4.17 Colocación de la canastilla de presión en el modelo experimental; para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual.....	60
Figura 4.18 Aplicación de la carga monótona creciente vertical para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	60
Figura 4.19 Modelo experimental con la carga P aplicada para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	61
Figura 4.20 Inspección visual de la cara inferior del sistema LTM, para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	61
Figura 4.21 Colocación de los micrómetros en el ensaye carga de servicio mínima.	62
Figura 4.22 Aplicación de la carga monótona creciente distribuida en el ensaye carga de servicio mínima	63
Figura 4.23 Modelo experimental con la carga uniformemente distribuida W_s aplicada en el ensaye carga de servicio mínima.....	63
Figura 4.24 Registro de la última lectura con el modelo experimental descargado en el ensaye carga de servicio mínima.....	64
Figura 4.25 Inspección visual cara inferior del sistema LTM en el ensaye carga de servicio mínima.....	64
Figura 4.26 Colocación de los micrómetros en el ensaye carga última.....	65
Figura 4.27 Aplicación de la carga monótona creciente distribuida en el ensaye carga última	66
Figura 4.28 Modelo de experimental con la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensaye carga última	66
Figura 4.29 Modelo experimental descargado en el ensaye carga última	67
Figura 4.30 Inspección visual de la capa de terminado del sistema LTM en el ensaye carga última.....	67
Figura 4.31 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la primera etapa de caga, en el ensaye al colapso.....	68

Figura 4.32 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la segunda etapa de carga, en el ensaye al colapso	69
Figura 4.33 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la tercera etapa de carga, en el ensaye al colapso	70
Figura 4.34 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total en la cuarta etapa de carga, en el ensaye al colapso.....	71
Figura 5.1 Modelo de experimental con la carga P aplicada en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	72
Figura 5.2 Gráfica carga vs deflexión del modelo experimental; en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	73
Figura 5.3 Gráfica comparativa del modelo analítico vs experimental; en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	74
Figura 5.4 Capa de acabado del sistema LTM con la carga P aplicada, en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual	75
Figura 5.5 Modelo de experimental con la carga uniformemente distribuida W_s aplicada en el ensaye carga de servicio mínima.....	76
Figura 5.6 Gráfica de la carga uniformemente distribuida y descarga vs deflexión en el ensaye carga de servicio mínima.....	78
Figura 5.7 Gráfica comparativa comportamiento durante la carga y descarga del modelo analítico vs experimental; para el ensaye carga de servicio mínima	79
Figura 5.8 Cara inferior de sistema LTM de ensaye, con grietas en acabado, sin daño estructural en el ensaye carga de servicio mínima	80
Figura 5.9 Modelo experimental con la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensaye carga última	81
Figura 5.10 Gráfica de la carga uniformemente distribuida y descarga vs deflexión en el ensaye carga última	83
Figura 5.11 Gráfica comparativa comportamiento durante la carga y descarga del modelo analítico vs experimental; para el ensaye carga última	84
Figura 5.12 Cara inferior de sistema LTM de ensaye, con grietas en acabado, sin daño estructural, en el ensaye carga última	85
Figura 5.13 Gráfica carga uniformemente distribuida vs deflexión del ensaye al colapso.....	87
Figura 5.14 Primer elemento que falla a compresión en la primera etapa de carga del ensaye al colapso.....	89
Figura 5.15 Vista lateral del modelo experimental al terminar la primera etapa de carga del ensaye al colapso	89
Figura 5.16 Vista lateral del modelo analítico en la primera etapa de carga del ensaye al colapso.....	90
Figura 5.17 Elementos con falla a compresión en la segunda etapa de carga del ensaye al colapso.....	91

Figura 5.18 Vista lateral del modelo experimental en la segunda etapa de carga del ensaye al colapso.....	91
Figura 5.19 Vista lateral del modelo experimental en la tercera etapa de carga del ensaye hasta el colapso.....	92
Figura 5.20 Grietas debidas a la rotación en apoyos que se presentan en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso	93
Figura 5.21 Grietas en la capa de compresión en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso.....	93
Figura 5.22 a) Pernos de sujeción visibles, b) quinto elemento en fallar del sistema LTM en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso	94
Figura 5.23 Elemento con falla al centro del sistema LTM de la cuarta etapa de carga del ensaye al colapso.....	95
Figura 5.24 Colapso del modelo experimental en la cuarta etapa de carga del ensaye al colapso.....	96
Figura 5.25 Gráfica comparativa de precios de los 3 tipos de losas	99
Figura 5.26 Gráfica comparativa del análisis del precio unitario de los 3 tipos de losas.....	100
Figura 6.1 Gráfica Carga vs deflexión comparativa del STM vs sistemas análogos.....	104

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (2020), desde el 2007 se ha registrado un incremento del 60% de personas que migran dentro de su mismo país de ciudades pequeñas, pueblos o hasta ranchos hacia ciudades y/o áreas metropolitanas: “El principal motivo de su migración es que las ciudades son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial”.

Esto se ve reflejado en una rápida urbanización que ha dado como resultado un número creciente de habitantes en barrios pobres, además que habitan en infraestructuras que cuentan con servicios inadecuados. Conforme con la Organización de las Naciones Unidas (2020), este problema se va agravando con el paso de los años y actualmente se estima que: “unos 1600 millones de personas se alojan en viviendas inadecuadas y cerca de 900 lo hacen en asentamientos informales tanto en países de pocos recursos como en las naciones con mayores ingresos”.

En México se estima que: “34% de la población no habita en una vivienda digna, es decir 73 millones de mexicanos” (Banco Interamericano para el Desarrollo, 2020). De acuerdo con el INEGI (2020), resalta la grave problemática de déficit de vivienda que el país enfrentará en la próxima década dado que “El 25.7% de la población total nacional se encuentra en el rango de edad (25 a 45 años) que busca de una vivienda, pero el 45% de ellos no tienen ni tendrán los recursos ni acceso a un programa de financiamiento como el INFONAVIT”.

Cabe resaltar que conforme al Consejo Nacional de Población (2020), Querétaro se encuentra como el cuarto lugar con mayor saldo migratorio o ganancia de población generada por el fenómeno de la migración: “Cada hora, la población de Querétaro aumenta con 10 personas, de las cuales 6 son ciudadanos que llegan de otras entidades del País o del extranjero, y 4 son por nacimientos”. Siendo que según la CONAPO “De 100 personas 31 provienen de Ciudad de México, 20 del Estado de México, 11 de Guanajuato, 5 de Hidalgo y 4 de Michoacán; de los cuales el ingreso promedio del hogar es de 6 mil pesos mensuales o 1.51 salarios mínimos diarios.”

Lo anterior incentiva a plantear nuevos procesos constructivos que permita a todos los sectores privados y públicos obtener un menor costo y tiempo de ejecución en sus proyectos y así también mejorar la calidad de vida para los habitantes

La ingeniería en la construcción siempre crea innovaciones, para mejorar y optimizar recursos en la construcción de edificaciones es así que, en nuestro país, se han desarrollado proyectos de ingeniería con procesos constructivos que además de ser innovadores generan ahorros en sus presupuestos. En la actualidad, los últimos avances para la optimización de materiales en la construcción de losas, han desarrollado varios sistemas constructivos de los cuales el sistema de Bubbluedeck, Losa acero y Vigüeta y bovedilla son los que han tenido mayor aceptación.

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente México enfrenta un déficit en vivienda que afecta al 34% de la población; nuestro país demanda anualmente la construcción de 1,500,000 viviendas y este se va acumulando año con año por el incremento poblacional, además de que no se construye ni el 80% de la demanda de viviendas.

Es necesario destacar que de acuerdo con el INEGI (2020), esta situación tiene una proyección a futuro más crítica dado a que actualmente por lo menos la mitad de los 112 millones de habitantes que somos en el país tienen menos de 26 años de edad. “Es decir, la demanda de viviendas en el país tendrá un incremento considerable en esta década”.

Conforme al INFONAVIT (2020), El Gobierno Federal ha atacado este problema apegándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la ONU en su agenda 2030, ofreciendo créditos para la construcción o compra de una vivienda a través del INFONAVIT de los cuales “el 25% lo utilizan para comprar una casa ya construida, 36% para mandarla a construir y el restante para remodelarla o ampliarla”.

1.2 Justificación

Por lo anterior se observa claramente un alza del déficit de la construcción de vivienda en México, es por ello que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) considera en la novena posición la vivienda dentro de Los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES): “Estos programas organizan los esfuerzos de investigación en torno a problemáticas nacionales concretas que, por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución integral, profunda y amplia.” (CONACYT, 2020). Por lo tanto, es vital importancia proponer nuevos sistemas constructivos que bajen costos y faciliten la adquisición de la vivienda para la población, he aquí la necesidad de implementar nuevos procesos de construcción que ofrezcan ventajas frente a los sistemas de construcción tradicionales tales como las losas macizas; y modernos como lo antes mencionados.

En la construcción, uno de los mayores impactos negativos de esta actividad se da en el mal uso y desperdicio de recursos tanto en materiales como de mano de obra, el cual no solamente afecta al ambiente, sino que repercute en el costo y tiempo de ejecución de los proyectos de construcción. Por tal motivo se busca proponer un nuevo sistema constructivo que presenta soluciones de bajo costo optimizando recursos sin perder su eficiencia.

La presente investigación nos lleva hacia un nuevo diseño, que servirá para solucionar problemas que nuestra economía enfrenta; también servirá como referencia para futuras investigaciones que puedan partir de esta.

1.3 Hipótesis

Será posible desarrollar una propuesta de sistema de piso de bajo costo y práctico en su uso, con materiales de fácil adquisición, de rápida ejecución y que cumpla con la normativa NMX-C-406-ONNCCE-2019, que contribuya a disminuir el déficit de vivienda en México.

1.4 Objetivo General

Proponer y analizar un nuevo sistema de losa de producción en serie de bajo costo y liviana que cumpla con los métodos de prueba de la normativa mexicana NMX-C-406-ONNCCE-2019 y NTC 2017.

1.5 Objetivos Particulares

- a) Explicar los principios básicos para el diseño de losas.
- b) Conocer los fundamentos del análisis de losas.
- c) Elaborar los especímenes estructurales.
- d) Explicar el comportamiento del sistema tridilosa modular hasta el colapso.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En México se tienen registros desde 1998 sobre la tendencia de construir casas de una manera rápida como el sistema termodomo como lo ilustra la Figura 2.1 a); hasta los sistemas más modernos como la impresión 3D, ilustrado en la Figura 2.1 b). Ambos sistemas necesitan de mano de obra calificada y materiales de construcción poco comunes de adquirir, además que se limitan a ser viviendas a nivel de piso, requiriendo grandes extensiones de terreno para poder construir las en serie. Es por eso que este trabajo de investigación propone un nuevo sistema de construcción de losas prefabricadas que no requieren de mano de obra calificada ni de materiales especiales.

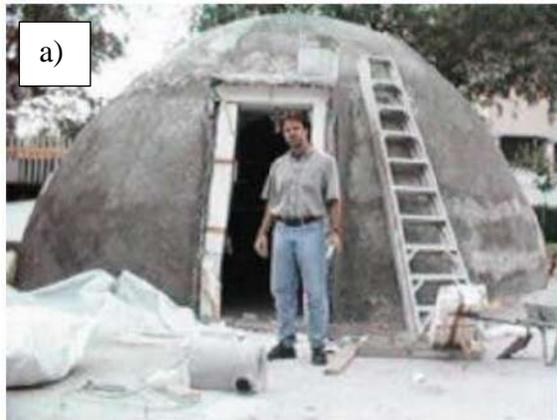


Figura 2.1 a) Sistema Termodomo, (*Marín Ávila & Reynoso Miranda, 1998*), b) Casa construida mediante impresión 3D, (*Souza Aredon, Salet, & Kanuff, 2019*).

Las losas cumplen con una función estructural y arquitectónica a la vez; arquitectónicamente separa los espacios verticales formando los diferentes pisos de una construcción. Y, dentro de su función estructural tienen como propósito disponer de superficies útiles horizontales que sean capaces de sostener las cargas de servicio, estas:

Pueden estar apoyadas en vigas de concreto reforzado (y se vacía por lo general en forma monolítica con estas vigas), en muros de mampostería o de concreto reforzado, en elementos de acero estructural, en forma directa en columnas o en el terreno de forma continua. (Nilson, 2001, pág. 381)

Dependiendo del tipo de apoyo de las losas se considera la dirección de las acciones: “Las losas se pueden apoyar solo en dos lados opuestos, caso en que la acción estructural de la losa es fundamentalmente en una dirección. También es posible que haya vigas en los cuatro lados de modo que se obtiene una acción de losa en dos direcciones” (Nilson, 2001, pág. 381)

2.1 Tipos de losas

Losas Macizas.

Son elementos de concreto armado, como se muestra en Figura 2.2; de sección transversal rectangular llena, generalmente de espesor no mayor a los 15 centímetros. Para su realización es necesario contar con los muros de carga o columnas terminados, después se debe colocar cimbra que puede ser por medio de hojas de triplay, madera o metálicas dependiendo de la calidad del terminado que se busque. Una vez realizado este par de pasos se tiene el armado de acero con los calibres de las varillas que obtuvimos de un previo análisis estructural, para después poder colocar las instalaciones eléctrico/sanitarias o especiales.

Una vez realizados estos pasos procedemos a verter el concreto cuidando solamente de vibrar adecuadamente el mismo, para posteriormente proceder al curado y pasando el tiempo adecuado de fraguado poder descimbrar para realizar el paso final que sería el de resanado.



Figura 2.2 Detalle de una losa maciza, (McCormac & Brown, 2016).

Dado a su facilidad constructiva y su gran capacidad para adaptarse a diseños irregulares, actualmente es el método más utilizado para la construcción de viviendas en nuestro país; pero presenta desventajas tales como el alto costo ligado al volumen de concreto, además del peso muerto del elemento.

Diseño.

Para González Cuevas & Fernández Villegas (2005), el diseño de estos elementos queda descrito en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto: “En el diseño de losas que trabajan en una dirección o dos direcciones son aplicables las disposiciones para vigas de las NTC. Además del refuerzo principal de flexión, deben proporcionarse refuerzo por cambios volumétricos, normal al anterior” (p.548).

Comportamiento de falla.

En el comportamiento de falla de estas deben de considerarse los demás elementos debido a que las características de cada componente influyen en el comportamiento de los otros.

Pero para fines prácticos partiremos del principio de diseño, donde los apoyos deben tener una rigidez a flexión mucho mayor que el de la losa. De acuerdo con González Cuevas & Fernández Villegas (2005): “Al ensayar hasta la falla se puede obtener la gráfica carga – deflexión” (p.570) la cual se muestra en la Figura 2.3.

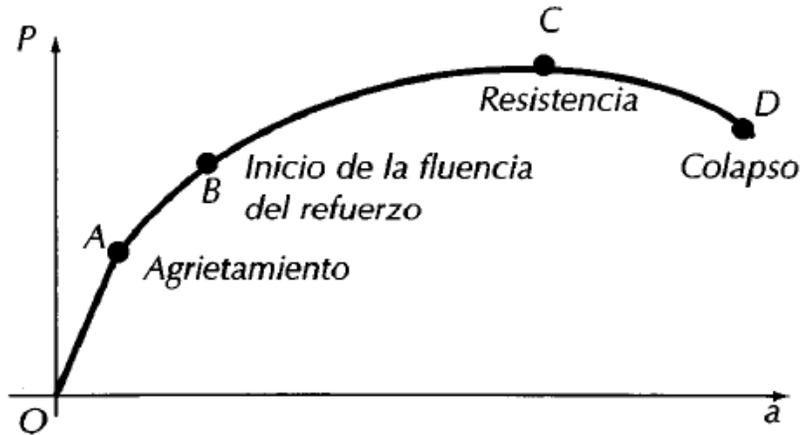


Figura 2.3 Grafica carga – deflexión de una losa, (González Cuevas & Fernández Villegas, 2005).

En ella se pueden apreciar cuatro etapas. La primera en el segmento entre 0 y A conocida como etapa lineal, donde el agrietamiento del concreto en la zona de esfuerzos de tensión es despreciable. Las cargas de servicio de las losas se encuentran generalmente cerca del punto A. La transición de la primera etapa hacia la segunda es gradual dado que el agrietamiento del concreto se desarrolla paulatinamente desde las zonas de momentos flexionantes máximos, hacia las zonas de momentos flexionantes menores. Esta etapa destaca por que los esfuerzos en el acero de refuerzo son menores que el límite de fluencia.

La tercera etapa se acentúa en que los esfuerzos en el acero de refuerzo sobrepasan el límite de fluencia. Al igual que el agrietamiento del concreto, la fluencia del refuerzo empieza en las zonas de momentos flexionantes máximos y se propaga paulatinamente hacia las zonas

de momentos menores. Por último, en la cuarta etapa es cuando el sistema no soporta mas carga y termina con el colapso.

En relación con González Cuevas & Fernández Villegas (2005), nos ilustra el avance del agrietamiento en las distintas etapas en la Figura 2.4, donde: “Puede verse que el agrietamiento empieza en el centro de la losa, que es la zona de momentos flexionantes máximos, y avanza hacia las esquinas a lo largo de las diagonales.” (p.571).

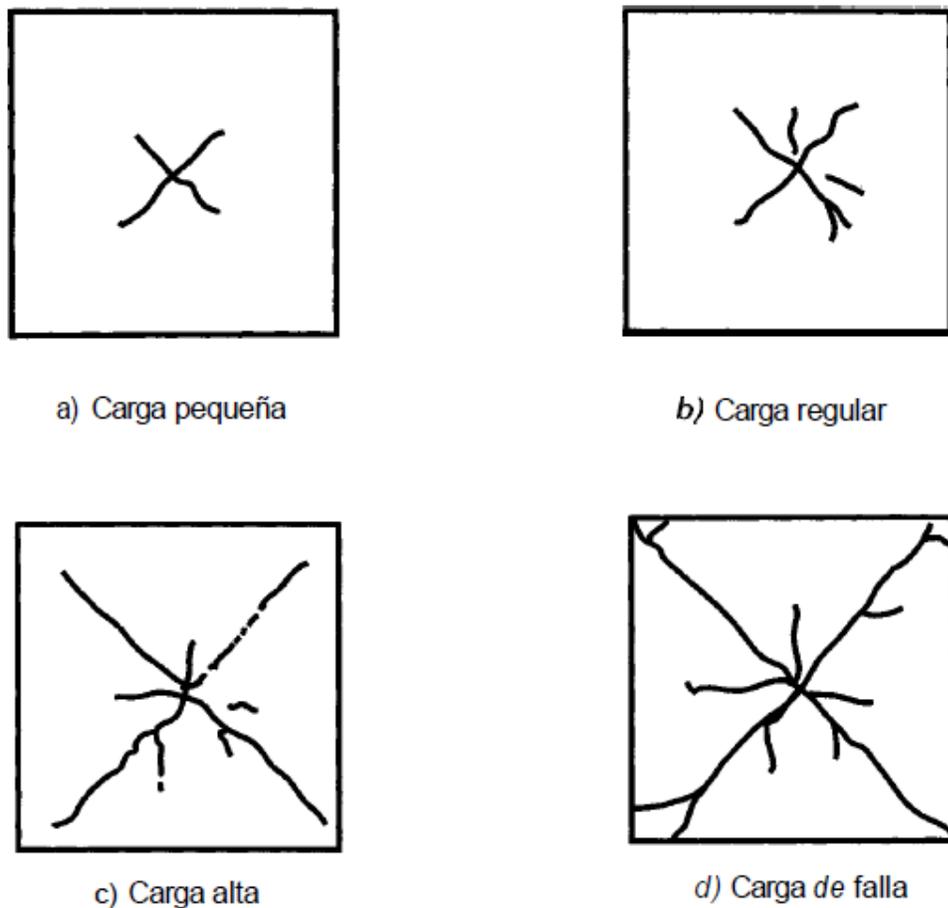


Figura 2.4 Configuración del agrietamiento para los distintos valores de la carga aplicada (González Cuevas & Fernández Villegas, 2005)

Análisis.

Dentro del análisis lo podemos comprender como la determinación de las acciones internas en una losa dada cuando se conoce la carga aplicada. El análisis de losas puede efectuarse aplicando los métodos de la Teoría de la Elasticidad.

Los resultados así obtenidos sólo son válidos en la etapa de comportamiento lineal, además, los resultados son sólo aproximados aun para estas cargas, debido a que el concreto reforzado no cumple con las características ideales de los materiales lineales, homogéneos y elásticos. El método más empleado es el método de franjas de Marcus, el cual se ilustra en la Figura 2.5.

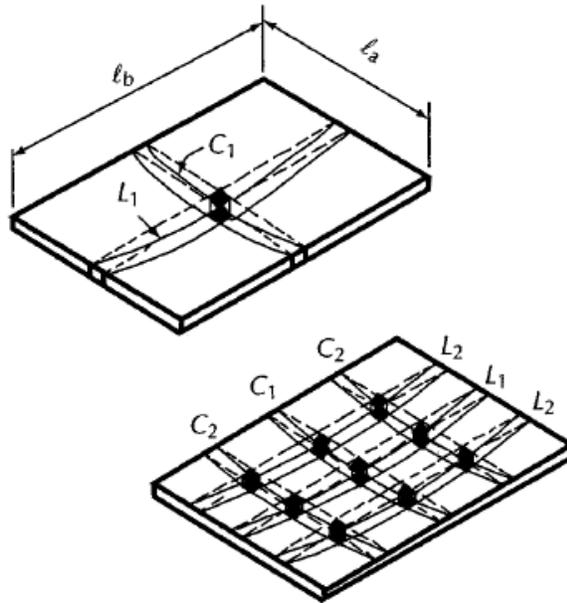


Figura 2.5 Franjas en el método de Marcus, (*González Cuevas & Fernández Villegas, 2005*)

De donde se deduce la ecuación (1)

$$\frac{5w_a l_a^4}{384 EI} = \frac{5w_b l_b^4}{384 EI} \quad (1)$$

donde w_a y w_b son las fracciones de la carga w que corresponden a las franjas Cl y LI, respectivamente. Simplificando esta ecuación se obtiene la ecuación (2):

$$\frac{w_a}{w_b} = \frac{l_b^4}{l_a^4} \quad (2)$$

Por condiciones de equilibrio, la suma de las cargas w_a y w_b deben ser la carga total w , que se representa en la ecuación (3):

$$w_a + w_b = w \quad (3)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones de (2) y (3) se obtiene (4) y (5):

$$w_a = \frac{l_b^4}{l_a^4 + l_b^4} w \quad (4)$$

$$w_b = \frac{l_a^4}{l_a^4 + l_b^4} w \quad (5)$$

De acuerdo con González Cuevas & Fernández Villegas (2005), estas ecuaciones permiten obtener las cargas con las que se diseñan las franjas C y L como si fuesen vigas aisladas:

“Este método permite obtener coeficientes para distintas relaciones entre l_a y l_b y permite también, siguiendo el mismo razonamiento, analizar losas con distintas condiciones de apoyo. Las ecuaciones (4) y (5) indican también que la carga se reparte en forma inversamente proporcional a la cuarta potencia de los claros, o sea, que la losa trabaja más en dirección del claro corto que en la del claro largo” (pág.574).

El método es aproximado porque no toma en cuenta que las franjas de losa paralelas no pueden deformarse en forma independiente entre sí.

Losa Reticular.

La losa reticular es llamada así, porque que en ella se forman retículas, o huecos, las cuales tienen la función de aligerar, disminuir el peso de una losa y, por consiguiente, reducir

la cantidad de concreto a utilizar en dicha losa (con ello se reduce el costo de la misma) como se representa en la *Figura 2.6*.



Figura 2.6 Detalle de una losa reticular, (McCormac & Brown, 2016)

Dichos huecos se logran mediante la colocación de casetones de fibra de vidrio. También se les llaman losas aligeradas. Este tipo de losas se utilizan principalmente en lugares donde se requiera salvar grandes claros. Sus usos los podemos constatar en edificios escolares, estacionamientos de centros comerciales, etc. Este tipo de estructura cuenta con ventajas significativas respecto a la estructura tradicional de losa maciza como lo describe Botero Botero & Álvarez Villa (2014):

La capacidad de carga de la losa reticular es mayor. Proporcionan una buena estabilidad estructural junto con una apariencia estética. Por lo tanto, es utilizada en proyectos con gran afluencia de personas.

La losa reticular se puede hacer de concreto, madera o acero, entre los que se prefieren losa reticular de concreto para edificios comerciales y otras dos para garajes o pasillos decorativos, etc.

Tiene buen control de vibración debido a dos refuerzos direccionales. Por lo tanto, es útil para que los edificios públicos puedan controlar las vibraciones creadas por los movimientos de la multitud.

Las losas reticulares son livianas y requieren menos cantidad de concreto, por lo que es económico. El volumen de concreto y acero requerido es pequeño, por lo tanto, la estructura es liviana. Los moldes o cubetas se pueden reutilizar en otros trabajos. (pág.54).

Entre sus desventajas se puede resaltar el hecho de que se requiere un mayor volumen de material para la ejecución del encofrado; además de que: “Las herramientas de encofrado requeridas son muy costosas, por lo que no se recomienda para viviendas” (Botero Botero & Álvarez Villa, 2014).

Análisis, comportamiento de falla y diseño.

Su análisis y su comportamiento de falla procede exactamente de la misma manera que lo descrito en el apartado de losa macizas, pero para su diseño se utiliza el método de los coeficientes que describe en la sección 3.3 Análisis de losas de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, la cual se ilustra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares (NTC-CEC, 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	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Interior Indgs los bordes continuos	Neg. 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	Neg. 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
	Neg. en bordesdisc. positivo	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
De borde Un lado largo discontinuo	Neg. 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
	Neg. en borde disc. positivo	corto	651	0	362	0	321	0	283	0	250	0	219	0	190	0
		corto	751	912	334	366	285	312	241	263	202	218	164	175	129	135
Desasauina Los lados adyacentes discontinuos	Neg. 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
	Neg. bordes disc. positivo	corto	651	0	362	0	321	0	277	0	250	0	219	0	190	0
		largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0
Extremo Tresbordes discontinuos un lado largo continuo	Neg. en borde cont. Neg. en bordes disc.	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 cor- to continuo	Neg. en borde cont. Neg. en borde disc.	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	Neg. en borde disc. positivo	largo	200	250	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540
		corto	570	0	550	0	530	0	470	0	430	0	380	0	330	0
	positivo	largo	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0
		corto	1100	1670	830	1380	800	1330	720	1190	640	1070	570	950	500	830
positivo	largo	200	250	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	

Caso I, Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

Caso II, Losa no colada monolíticamente con sus apoyos.

Los coeficientes multiplicados por $10^{-4} wa_1^2$ dan momentos por unidad de ancho.

Para el caso I, a_1 y a_2 pueden tomarse como los claros libres entre paños de vigas; para el caso II se tomarán como los claros entre ejes, pero sin exceder el claro libre más dos veces el espesor de la losa.

Una vez obtenido los coeficientes de todos los tableros se procede a calcular por flexión simple como si se tratara de una viga.

Losacero.

Es una cubierta formada por una lámina que se fija a las estructuras a través de pernos o bulbos de acero soldados al patín superior de las vigas aprovechando al conector como elemento de fijación, de manera que cuando llega a ocurrir un movimiento telúrico, la lámina, la losa de concreto y las mismas vigas actúan como una sola pieza, evitando así que los techos se derrumben. Como se representa en la Figura 2.7 a) y b).

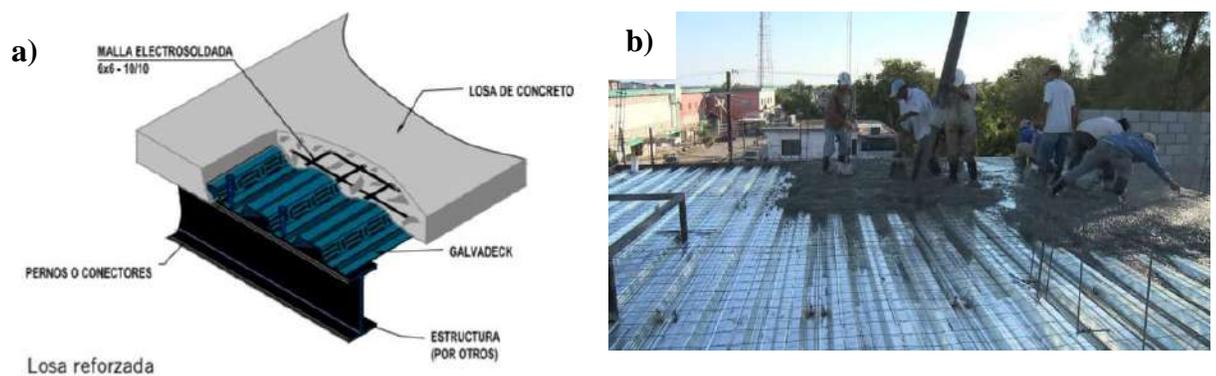


Figura 2.7 Detalle de la losacero, (Luttrell, 2013)

De acuerdo con Luttrell (2013), no es necesario la implementación de cimbra y reduce el uso de puntales en un 50%, debido a que: “La Lámina Losacero está diseñada para que, con las muescas especiales, sustituya a la cimbra tradicional y pueda pasarse del colado directamente a los acabados finales, brindando así una vida útil más prolongada en cualquier condición ambiental” (p.41).

Está disponible en calibres 18, 20, 22 y 24, el ancho efectivo es de 36” y longitudes que van desde 2.4 a 12 metros, como se muestra en la Figura 2.7 b). Este tipo de estructuras cumple con los estándares de fabricación de la American National Standards Institute (ANSI) y Steel Deck Institute (SDI).

Análisis y diseño.

Para su diseño debemos conocer las propiedades de la lámina, como son: calibre, peso, módulo de la sección de la fibra inferior (S_b), módulo de la sección de la fibra superior (S_t) y momento de inercia (I_s). Además, son necesarios los datos de la sección compuesta tales como: peso de la lamina y el concreto (W_{DL}), fuerza cortante vertical resistente (V_R), inercia de la sección compuesta (I_C), modulo de sección compuesta de la fibra inferior (S_{bc}) y el módulo de sección compuesta de la fibra superior (S_{tc}). Para su diseño es necesario verificar 4 etapas, donde la primera es verificar la necesidad de apuntalamiento, donde:

La deflexión de la lamina por peso propio y concreto debe ser inferior a $L/180$, calculado con la ecuación (6).

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (6)$$

Además, el esfuerzo debido al peso propio, el concreto y una sobrecarga transitoria de 100 kg/m^2 no debe ser mayor a 1,400 kg/cm^2 donde:

$$W' = W_{DL} + 100 \text{ kg}/m^2 \quad (7)$$

Y el esfuerzo en la parte alta de la lámina (f_t) se calcula con la misma formula que el esfuerzo en la parte baja de la lámina (f_b), con la ecuación (8):

$$\frac{100W'L^2}{8S_t} \quad (8)$$

El esfuerzo debido al peso propio, el concreto y una concentración de 90 kg en un ancho de 30 cm no debe ser mayor a 1,862 kg/cm^2 , verificado con la ecuación (9):

$$\frac{PL}{4} + \frac{W_R L^2}{8} \quad (9)$$

De cumplirse las 4 ecuaciones la sección no necesita apuntalamiento.

El segundo apartado es la verificación de la deflexión de la sección compuesta donde no debe exceder los 0.33 cm, y se calcula con la expresión (10):

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EIc} \quad (10)$$

El tercer apartado nos habla de la verificación del esfuerzo en la fibra superior del concreto debido a la sobrecarga solamente, no debe de exceder 112.5 kg/cm² calculado con la expresión (11).

$$fc = \frac{100WL^2}{8nS_{tc}} \quad (11)$$

Por último, se verifica el corte debido por la sobrecarga, la cual no debe exceder 1308 kg y se calcula con la ecuación (12):

$$V_{act} = \frac{WL}{2} \quad (12)$$

Modo de falla.

Para describir el modo de falla la empresa Coordina SFS México SA de CV realizo una prueba hasta la falla encontrar la curva esfuerzo deformación, donde la Tabla 2.2 y la Figura 2.8 muestra los valores obtenidos.

Tabla 2.2 Cargas aplicadas y deformaciones obtenidas.
(Coordinadora SFS México SA de CV, 2018)

HSS 6" x 8"	PESO /ML	LARGO	PESO
	33.36	6.1	203.496

No.	PESO (kgs)	DEF. A (mm)	DEF. B (mm)
0	0	0	0
1	203.50	0.00	0.00
2	406.99	0.00	0.00
3	610.49	0.50	0.50
4	813.98	0.60	0.60
5	1017.48	0.65	0.65
6	1220.98	0.70	0.70
7	1424.47	0.75	0.75
8	1627.97	1.00	1.00
9	1831.46	1.02	1.02
10	2034.96	1.03	1.03
11	2238.46	1.04	1.04
12	2441.95	1.50	1.50
13	2645.45	4.00	4.00



Figura 2.8 Gráfica curva esfuerzo deformación del elemento losacero, (Coordinadora SFS México SA de CV, 2018).

Viga Acero.

De acuerdo con VigaAcero (2018), el elemento viga acero: “Es el 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 de manera más rápida y sencilla”. Como se muestra en la Figura 2.9 c).

Este sistema cumple con las normas ASTM A 1011, ASTM A 1008 y ASTM A 663. La vigueta tiene medidas de 13 cm de ancho, 9 cm de alto y un largo máximo de hasta 8 metros. Para poder elaborar la losa primero se debe apoyar la vigueta a 2.5 cm como mínimo a cada lado sobre el muro o viga de soporte con una distancia entre las viguetas a ejes es hasta 84 cm. Después se procede a instalar los supercasetones de EPS D15, realizando todos los cortes necesarios para las instalaciones sanitarias y eléctricas. No necesita encofrado y sólo requiere apuntalamiento en luz libre mayor a 3 m.

Se procede a colocar o armar una malla de retracción de fragua y temperatura sobre los casetones. Como se muestra en la Figura 2.9 a) y b), se debe usar siempre separadores para esta malla y acero negativo. Por ultimo Se realiza el vaciado de concreto fabricado en obra o pre-mezclado, realizar un barrido horizontal y no apilar concreto en un solo lugar. Luego del vaciado realizar un buen curado del concreto, de acuerdo a los procedimientos ACI, ASTM y RNE.

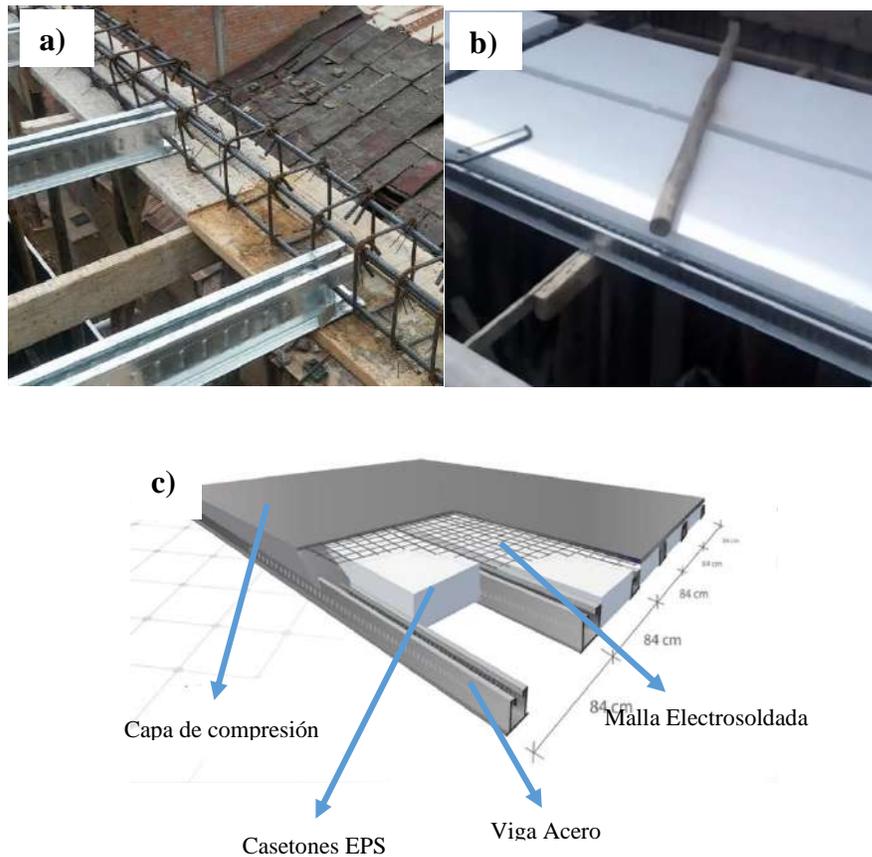


Figura 2.9 Componentes del sistema Viga acero, (VigaAcero, 2018)

Este sistema cuenta con grandes ventajas, de entre las cuales destacan: “No requiere encofrado, en grandes luces solo requiere apuntalamiento. 40% menos peso por metro cuadrado que otros sistemas. Mejor comportamiento sísmico y más resistente. Fácil de transportar, manipular y apilar. Su transporte vertical no requiere grúa” (VigaAcero, 2018).

Análisis y método de falla.

Para Mc Cormac & Csernak (2013), el análisis del sistema de viga acero parte del método de franjas de Marcus: “El análisis de estos elementos se ha descrito con anterioridad partiendo el principio que estableció Marcus en su conocido método de franjas” (p.650). Por otra parte, hasta la fecha de realización de esta tesis no se ha encontrado algún artículo científico que describa el método de falla de este tipo de losa.

Diseño.

La ventaja de este sistema de entre piso es que no se necesita un cálculo previo para el diseño de este elemento dado a que las vigas siempre se deben coloca a una distancia no mayor a 84 cm.

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. “funcionan como aislamiento de firme y piso, así mismo permiten habilitar un sistema de cimbra permanente para firmes y losas nervadas monolíticas de concreto armado. De esta manera se evita la colocación de entarimados de madera que fungen como cimbra de contacto y que tienen una corta vida útil” (Novidesa, 2012). Como se muestra en la Figura 2.10.

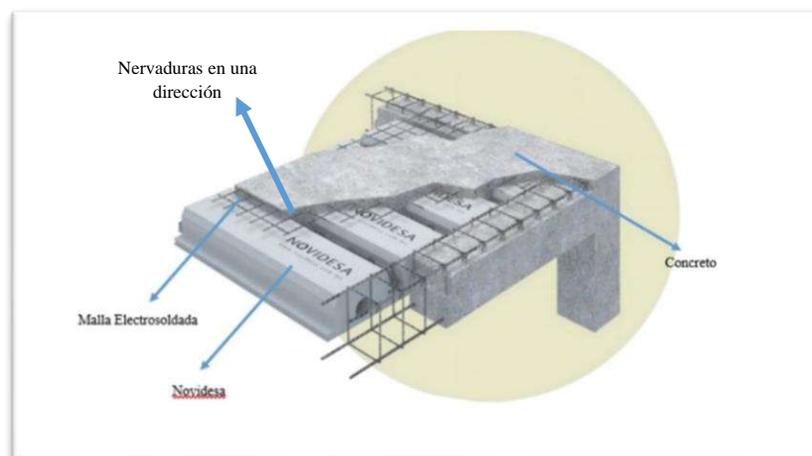


Figura 2.10 Detalle del Sistema de losa Novidesa Markos, (Cruz Medina, 2014).

Este sistema cuenta con la certificación internacional ASTM E84-9 (UL 723 Section 7.3.2) from plastic Surface burning characteristics flame spread 0 and smoke developed 5; ASTM C578 Standard specification for rigid, cellular polystyrene Thermal Insulation; UL-94 Standard for test for flammability of plastic materials. También cuenta con las siguientes certificaciones nacionales NMX-C-405-ONNCCE-2014 Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos, DIT-NMX-C-460-ONNCCE Aislamiento térmico valor “R” para las envolventes de vivienda y la NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificación. Las partes que conforman este elemento se ilustraran en la Figura 2.10.

Diseño.

El fabricante nos establece que este tipo de elemento estructural no necesita un calculo previo para poder dimensionarlo, si no que esta en funcion a una tabla preestablecida con peraltes. Como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Propiedades del sistema novidesa, (Novidesa, 2012)

Propiedades del Sistema					Carga losa de entrepiso			Carga losa de azotea				
Peralte (cm)	Peralte total (cm)*	Cantidad de Concreto (m ² /m ³)	Peso del Sistema (kg/m ²)*	Apuntalamiento (m) **	Peralte (cm)	Carga muerta (kg/m ²)	Carga viva (kg/m ²)	Carga de diseño (kg/ml)	Peralte (cm)	Carga muerta (kg/m ²)	Carga viva (kg/m ²)	Carga de diseño (kg/ml)
18	23	0.083	205	1.30	18	350		444	18	415		414
20	25	0.091	224	1.25	20	369		459	20	434		429
25	30	0.103	255	1.25	25	400	190	483	25	465	100	453
29	34	0.114	280	1.20	29	425		503	29	490		473
32	37	0.121	299	1.20	32	444		518	32	509		488

*Considerando capa de compresión de 5cm.
 ** Para el cálculo del espaciamento máximo del apuntalamiento se consideró la suma de las cargas correspondientes a peso propio del sistema, carga viva de 244 kg/m² (según ACI-347-01) y sobre carga de RCDF de 40 kg/m².
 Carga muerta en entrepisos: acabados 105 kg/m² + peso propio + sobrecarga 40 kg/m² (inciso 5.1.2 NTC del RCDF-17) Cargas mínimas de referencia.
 Carga muerta en azotea: acabados 170 kg/m² + peso propio + sobrecarga 40 kg/m² (inciso 5.1.2 NTC del RCDF-17) Cargas mínimas de referencia.

Semivigueta y bovedilla.

De acuerdo con Politodo (2013): “La semivigueta es un elemento horizontal o inclinado, compuesto por la armadura y por un patín de concreto en la parte inferior y a todo lo largo de la misma con una resistencia superior al f’c de 200kg/cm² (la norma NMX-C-406-2019-ONNCCE exige una resistencia de 200 kg/cm²)” como se muestra en la Figura 2.11 c).

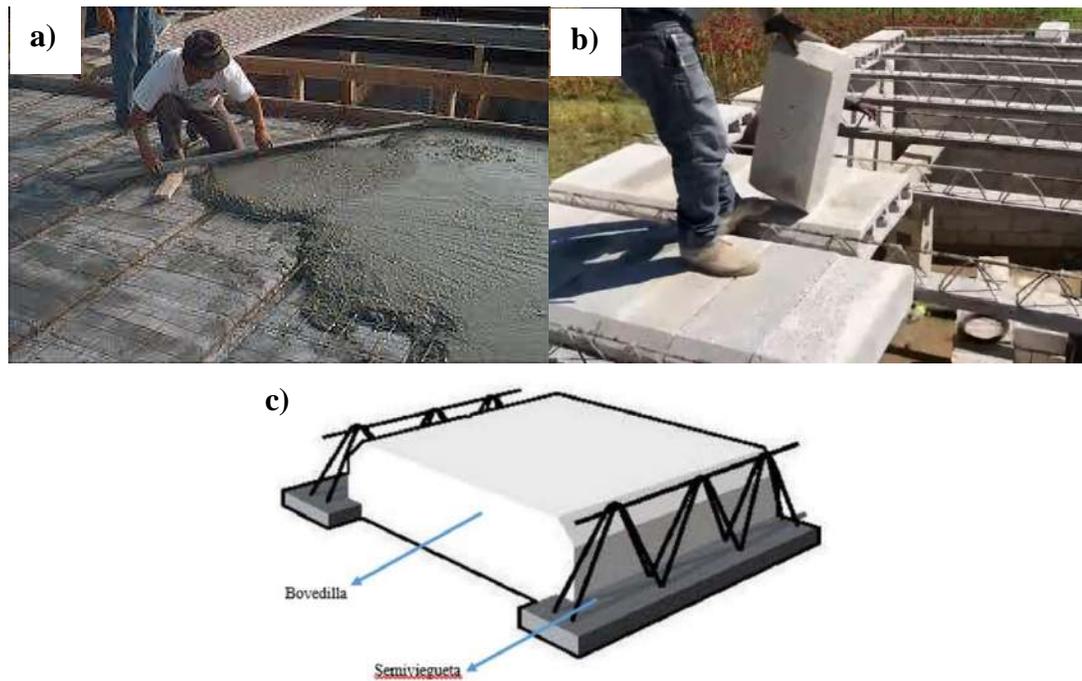


Figura 2.11 Elementos del sistema Semivigüeta y bovedilla, (Politodo, 2013).

Las vigüetas se colocan a partir de los muros de arranque; estas deberán apoyarse por lo menos 5cm sobre los muros. Las vigüetas se colocan manualmente sobre el muro ya nivelado. Se cuela la capa de compresión junto con la dala perimetral para que la losa quede amarrada a los muros y además trabaje por sismo y se evita el doble gasto de dala. Como se muestra en la Figura 2.11 a) y Figura 2.11 b).

Diseño.

Su implementación esta recomendada solo para casas tipo habitación, dado a que no es recomendable para claros muy grandes, además su diseño se limita a las especificaciones del fabricante donde la vigüeta tiene medidas de 12 de patín, hombro de 5cm y peraltes de 15, 19, 25 y 30 cm donde la bovedilla mide 58 cm de ancho y estos elementos siempre deben estar a una distancia entre de ejes de 70 cm.

Análisis y modos de falla.

Hasta la fecha de elaboración de esta tesis no se encontró ningún documento de carácter científico que describa los patrones de falla y el análisis de dicho sistema de losa.

Alveolar.

De acuerdo con PREMEX (2017), el sistema alveolar consiste en:

“Una placa de 30 cm de peralte, es un elemento estructural de concreto presforzado, el cual tiene las siguientes características: acero de presfuerzo con $f_y = 16,000 \text{ kg/cm}^2$ y concreto de alta resistencia con $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$.

El firme de concreto se proyectará con un espesor de 6 cm, (espesor mínimo recomendado por el RCDF-2004) y con un $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, reforzado con malla electrosoldada 6"x6"-6/6 (de acuerdo a cuantía mínima requerida y carga).

Su principal característica es la autoportancia; longitud máxima que la viga puede soportar sin puntal (10m, longitud de apuntalamiento), según la carga y bajo análisis del área técnica PREMEX.

Más allá de esta longitud, la viga deberá tener un puntal al centro provisional mientras el concreto colado en obra alcanza un 80% de la resistencia especificada. Se puede tener distintas combinaciones con los elementos aligerantes como las bovedillas de poliestireno o premexcimbra.”. Como se muestra en la Figura 2.12 a).

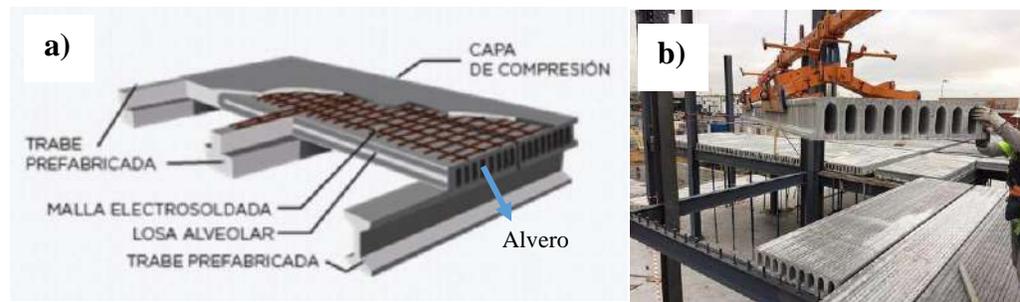


Figura 2.12 Componentes del Elemento estructural Alveolar, (PREMEX, 2017)

Dentro de sus beneficios destacan la reducción en el uso de acero y concreto, eliminación total de la cimbra, reducción de mano de obra, rápido montaje y un ahorro considerable en el tiempo de construcción. Pero representa grandes desventajas como la implementación de maquinaria pesada para colocar cada placa, además de la mano de obra especializada. Como se ilustra en la Figura 2.12 b).

Diseño.

Dado a que es un elemento prefabricado el diseño se ve limitado a cumplir con las especificaciones del fabricante en cuanto a claros y peraltes. Este sistema de losa permite claros de hasta 14 mts y peraltes de 15, 25 y 30 cm, respetando la relación de claro 14 mts y peralte de 30 cm.

Análisis y modo de falla.

Hasta la fecha de elaboración de esta tesis no se encontró ningún documento de carácter científico que describa los patrones de falla de dicho sistema de losa.

Vigueta y bovedilla.

Conforme a Clemente Chavez (2016), este elemento estructural se caracteriza por contener 3 elementos principales, como se ilustra en la Figura 2.13:

“3 partes fundamentales (ver figura 1): 1) un arreglo de viguetas de concreto prefabricadas y presforzadas hechas con concretos pretensados de resistencias a la

compresión ($f'c$) de entre 350kg/cm² y 500kg/cm², con aceros de alta resistencia (esfuerzo de fluencia promedio $F_y = 17,500$ kg/cm²) de sección transversal generalmente tipo “I”; 2) bovedillas, colocadas entre dicho arreglo de viguetas, estas piezas son huecas y prefabricadas de materiales diversos que comprenden las conocidas de concreto (mezcla comprimida de arena y cemento) y las de poliestireno, con diversas secciones transversales; y 3) una capa de compresión de concreto, comúnmente de $f'c = 250$ kg/cm², colocada in-situ sobre el anterior arreglo de viguetas y bovedillas, la capa de concreto es de espesores de a partir de 5cm, acompañada de una malla electrosoldada como refuerzo, de $F_y = 5000$ kg/cm²” (pág. 2)

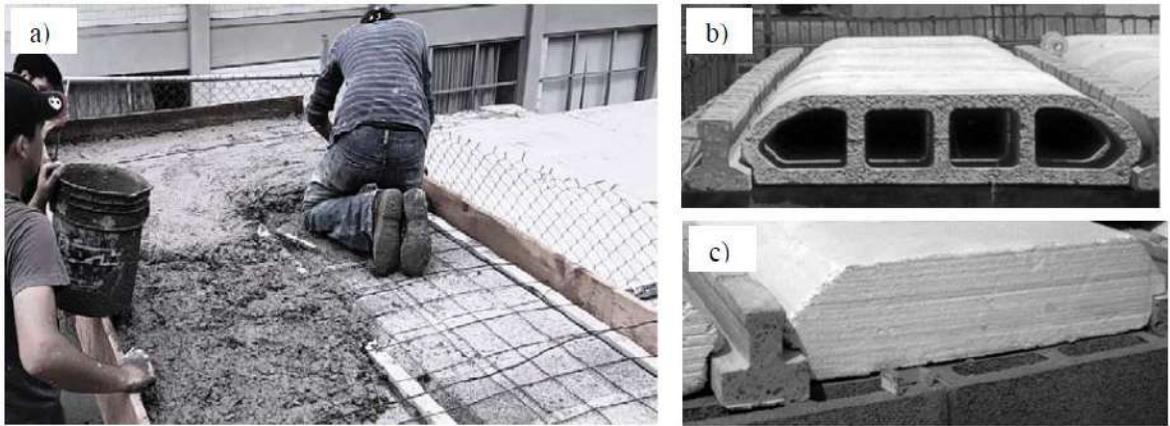


Figura 2.13 Componentes del sistema de Vigueta y bovedilla, (Clemente Chavez, 2016)

Diseño.

El diseño de estos elementos está definido por las dimensiones de las viguetas y bovedillas, es decir en centro de cada vigueta debe estar a 75 cm y se cuentan con bovedillas de 15 y 20 cm dependiendo de la capacidad ultima que se solicite. Cabe resaltar que este sistema solo se recomienda para casas tipo habitación.

Modo de falla.

De acuerdo con Hernandez Chamalé (2017), para lograr encontrar el modelo de falla de este elemento se procedió a realizar una muestra de 3.70 mts de largo, a la cual la carga total aplicada sobre la losa, se dejará durante un periodo de 24 hrs., después se inicia el proceso de descarga procediendo inverso al proceso de carga durante 24 hrs. La losa permanece descargada, luego de las cuales se inició nuevamente con el proceso de carga, con la única diferencia que en este último caso se buscó alcanzar el colapso de la losa, para así poder realizar la gráfica carga vs deformación que se muestra en Figura 2.14: “El procedimiento del ensayo está basado en las disposiciones del ACI 318-11S sección 20.4. Como sistemas de apoyos se utilizaron para las losas 2, muretes de apoyo. El ensayo a flexión de la losa se realiza mediante un proceso de cargas y descargas con periodos de 24 hrs” (p.58).



Figura 2.14 Curva carga vs deformación del sistema vigueta y bovedilla, (Hernandez Chamalé, 2017)

Bubbledeck.

Acorde con Gutiérrez Yoza & Vergara Tobar (2018), es elemento estructural como lo muestra la Figura 2.15 a) consiste en:

“Losas alivianadas que llevan discos o esferas de plástico reciclado huecas de diámetro variable que se colocan entre dos mallas de acero, las cuales son construidas igual que una losa tradicional, debido a que poseen la misma funcionalidad de las distintas losas alivianadas, con la función de reducir la mayor cantidad de hormigón posible, logrando disminuir su peso propio sin que su comportamiento estructural y resistencia a la flexión y compresión se vea considerablemente perjudicada” (pág. 30).

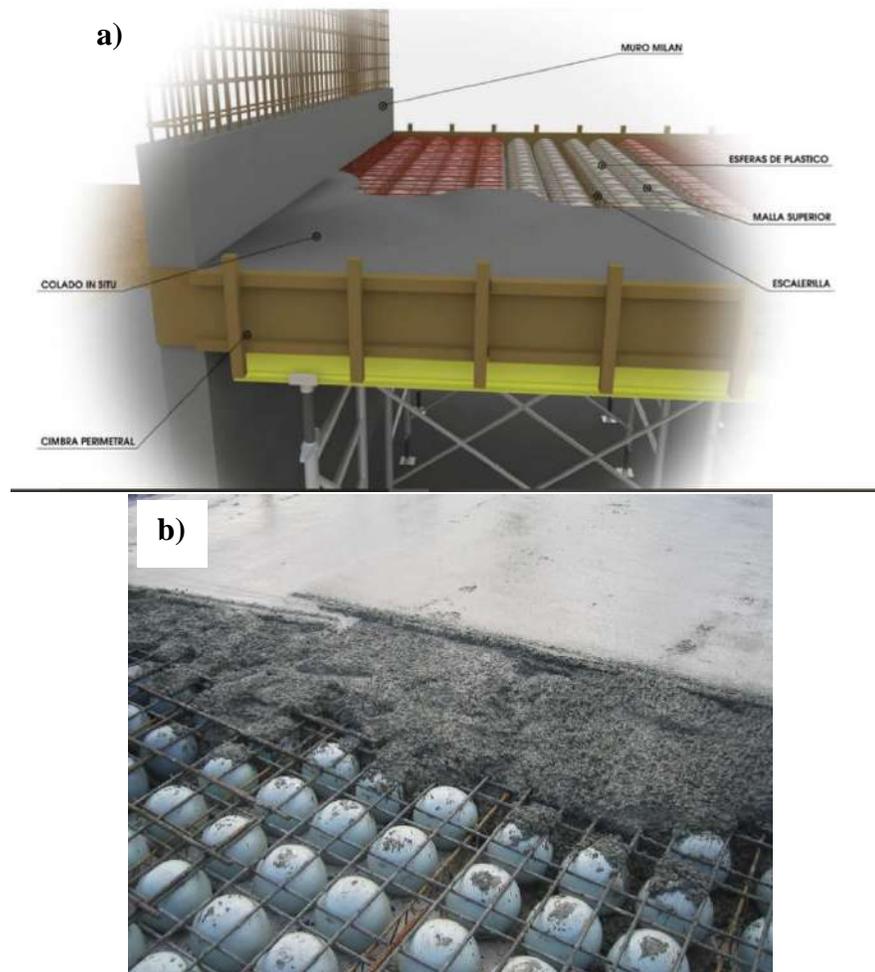


Figura 2.15 a) Diagrama de partes que componen al sistema Bubble Deck (Mrinank & Manjesh, 2016), b) Imagen real del sistema Bubble Deck, (Benítez Páez, 2016).

El ancho de este sistema de losa puede ser de 15 hasta los 30 centímetros de espesor, para ello las esferas de plástico reciclado se piden con un ancho determinado. Como se muestra en la Figura 2.15 b).

Diseño.

De acuerdo con Amaya Astudillo & Galindo Bacuilima (2015), para losas no pre esforzadas sin vigas interiores que se extiendan entre los apoyos en todos los lados y que tengan una relación entre los lados no mayor a 2, el espesor total de la losa h esta dado por American Concrete Institute: “Los espesores mínimos de losas (Código ACI, Sección 8.3.1.1 y 8.3.1.2) son independientes de la carga y el módulo de elasticidad del concreto, los cuales tienen una influencia importante en las deflexiones.” (p.19). Estos se ilustran en la Tabla 2.4, donde l_n es la luz libre en dirección larga.

Tabla 2.4 Espesor mínimo de losas sin vigas interiores (Amaya Astudillo & Galindo Bacuilima, 2015)

Espesor mínimo de losas no pre esforzadas en dos direcciones sin vigas interiores						
f_y Mpa	Sin ábacos			Con ábacos		
	Paneles exteriores		Paneles interiores	Paneles exteriores		Paneles interiores
	Sin vigas de borde	Con vigas de borde		Sin vigas de borde	Con vigas de borde	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Análisis y patrones de falla.

Para el análisis de este tipo de elementos se utiliza el método de diseño directo que para Amaya Astudillo & Galindo Bacuilima (2015): “Es un procedimiento aproximado para el análisis y diseño de losas en dos direcciones. Se limita a sistemas de losas sometidas a cargas uniformemente distribuidas. El método utiliza un conjunto de coeficientes para determinar los momentos de diseño en las secciones críticas.” (p.20). Hasta la fecha de

elaboración de esta tesis no se encontró ningún documento de carácter científico que describa los patrones de falla de dicho sistema de losa.

Losa CTS.

La losa CTS (Core Tubular Steel) es el término técnico para los paneles prefabricados hechos de BCORE. Las partes de una losa CTS se prefabrican en la fábrica y se instalan en el sitio, lo que reduce en gran medida el tiempo de montaje a diferencia de las construcciones de hormigón, liberando así el sitio de construcción del polvo, el ruido y los desechos. Las estructuras hechas de losas de CTS tienen la ventaja de ahorrar energía, son resistentes a los terremotos, tienen una larga vida útil y pueden reciclarse por completo.

Una losa CTS está hecha de tubos de núcleo de paredes delgadas, intercalados entre dos placas de acero inoxidable como se muestra en la Figura 2.16 a). El borde con brida de los tubos centrales aumenta el área de conexión con las placas de acero. Los tubos centrales se integran en las placas de acero mediante el uso de una fina capa de lámina de cobre en espiral colocada entre ellos y luego se funden en hornos de aire caliente a 1100°C para crear una unión muy firme como se ilustra en Figura 2.16 b). Las dimensiones recomendadas para losas en casas habitación según el fabricante son de 10 cm de espesor y cubriendo una relación de 1/6 respecto al ancho y largo.

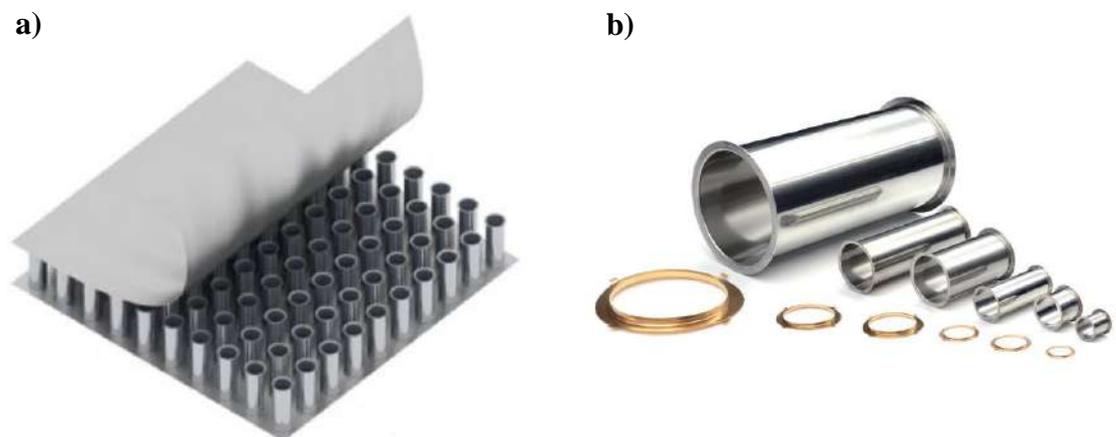


Figura 2.16 Elementos Losa CTS, (Babafemi, Akinola, Kolawole, Paul, & Miah, 2020).

Sistema Tridilosa.

Una vez que hemos conocido los sistemas estructurales más comunes en la construcción de losas en nuestro país es importante resaltar el sistema de tridilosa, dado que en este tipo de sistema se tomó como referencia para la modelación del modelo experimental, gracias al gran potencial que se le vio para la innovación.

De acuerdo con González Meza (2016): “La tridilosa es una estructura mixta de concreto y acero que se compone de elementos tubulares soldados u atornillados a placas de conexión, tanto en el lecho superior como en el inferior que generalmente son capas de concreto.” (p.76). Como se muestra en la Figura 2.17, las diagonales se colocan formando pirámides; su principio de funcionamiento se basa en que el hormigón toma los esfuerzos de compresión en la cuerda superior o inferior y la tensión generada es tomada por el acero, la torción por el armado transversal y el cortante con las diagonales del armado espacial, pudiendo emplearse diferentes tipos de perfiles de acero.

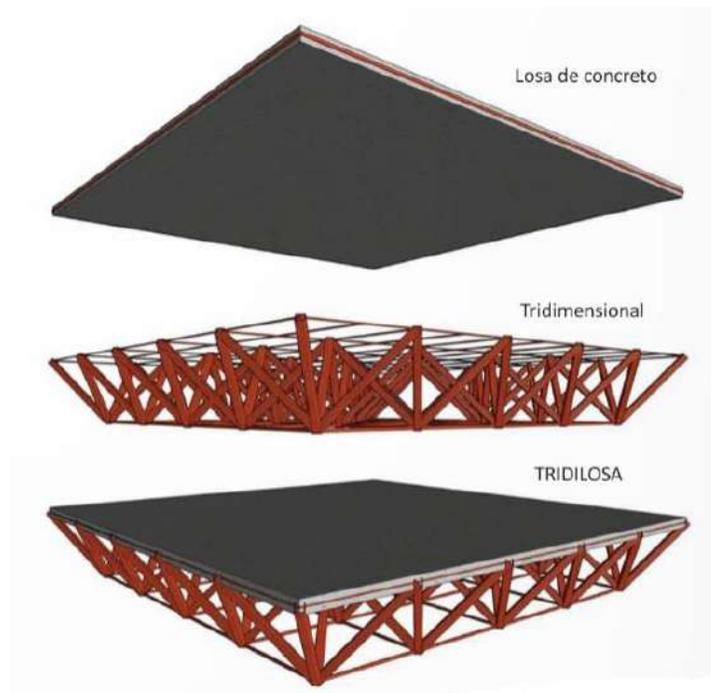


Figura 2.17 Sistema Tridilosa, (Sanabria Ceja & Castillo Martínez, 2010)

El sistema tridilosa fue desarrollado en el año de 1962 por el ingeniero Heberto Castillo Martínez; catedrático de la Universidad Autónoma de México y del Instituto Politécnico Nacional; tal sistema se empezó a implementar en diversas construcciones de la Ciudad de México y el resto del país a partir de 1967, como se ilustra en la Figura 2.18; su aplicación se enfocó principalmente en grandes claros como Hoteles, puentes peatonales y vehiculares, teniendo presencia en varios países alrededor del mundo; como Venezuela, Perú y España.

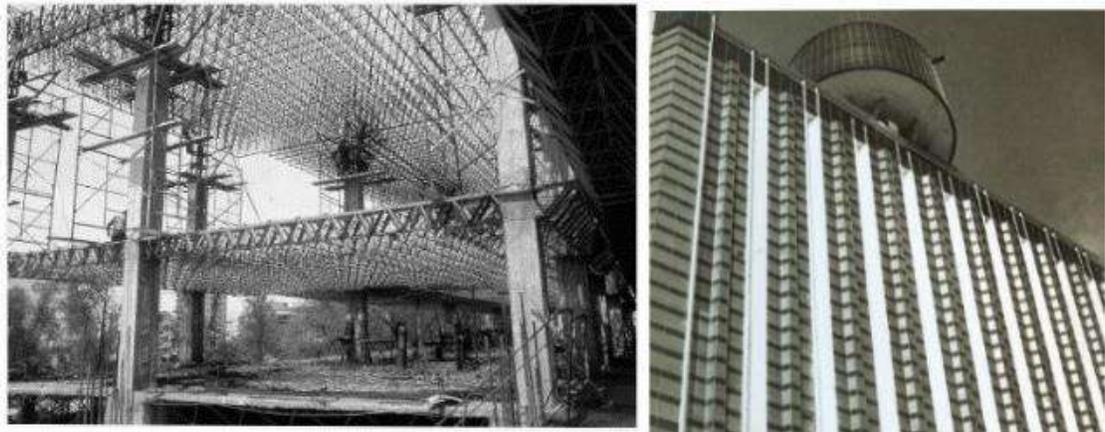


Figura 2.18 Implementación del sistema tridilosa en la construcción del World Trade Center de la ciudad de México en 1972, (Walker, 2001).

Para González Meza (2016), este tipo de sistema presenta varias ventajas constructivas como: “Todos los elementos pueden ser diseñados independientemente unos de otros y por ello hacerlos trabajar con el máximo esfuerzo, el peso propio de las partes estructurales es del 50% de las losas planas.” p.(78). Además, gracias a su geometría se forma un colchón de aire térmico y acústico. De acuerdo con Castillo Juárez (1964), la ventaja principal de la tridilosa radica en: “Que es hiperestática con un gran número de incógnitas, razón por la cual al ocurrir una falla local en la estructura, se efectuara una distribución de esfuerzos subsistiendo el equilibrio” p.(14). Resaltado como desventajas la corrosión del acero como lo ilustra la Figura 2.19, además; durante un incendio la estructura pierde su resistencia a los 550 °C.



Figura 2.19 Daño por corrosión del acero en una tridilosa del Centro social y de usos múltiples en Macuspana Tabasco, (Frei & Solís Ávila, 1985).

Geometría.

La tridilosa se compone de figuras piramidales con una base cuadrada que puede ser de diferente tamaño como se ilustra en la Figura 2.20. De acuerdo con Castillo Juárez (2016),: “Estas, según las necesidades, pueden ser en V, en X, de uno, dos, tres, o más lechos, ello en función de las cargas y la longitud del claro, así como de la relación de pandeo permisible para las mismas.” (p.6). Las diferentes configuraciones se ilustran en la Figura 2.21.



Figura 2.20 Figura piramidal de la cual se compone la tridilosa, (Castillo Juárez, 2016).

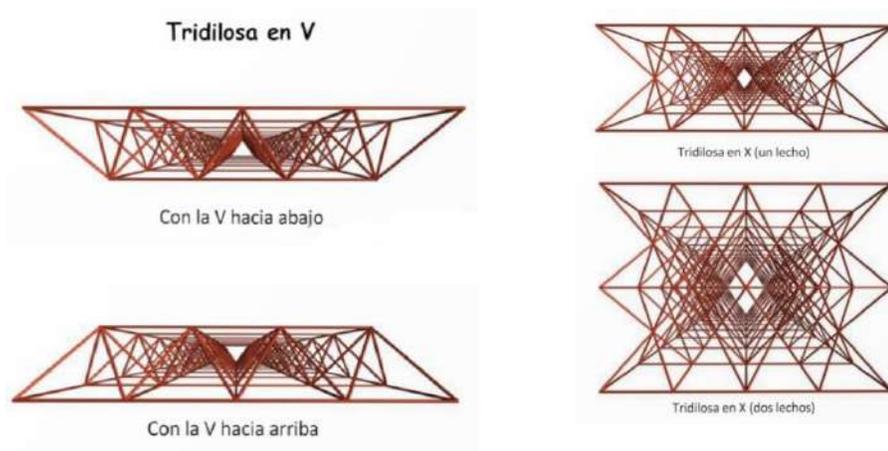


Figura 2.21 Configuraciones de la estructura interna del sistema tridilosa para grandes claros, (Castillo Juárez, 2016).

Criterios de Dimensionamiento.

De acuerdo con Castillo Martínez (1964), los criterios de dimensionamiento para grandes claros son los siguientes:

- i) El concreto de la losa tapa deberá tener un espesor mínimo de 4 cm y 10 cm como máximo.
- ii) El peralte de la tridilosa se recomienda que tenga entre $1/10$ y $1/18$ de la longitud del claro que hay que cubrir.
- iii) Es mejor si las barras diagonales son de la misma longitud y ancho que el cuadrante.
- iv) Se recomienda que el peralte de la estructura tenga una relación de 0.7071 de la longitud del módulo.
- v) La extensión de las placas y su espesor, sobre las que se forman los nudos, será de acuerdo con la sección de los perfiles.
- vi) La longitud de la diagonal en un módulo no deberá ser mayor que 1.5 veces el peralte de la estructura.
- vii) Se podrán utilizar diferentes perfiles de acero.

Este sistema constructivo tiene la ventaja de poder implementarse para librar grandes claros, es por eso que los podemos encontrar en accesos residenciales, espacios culturales, terrazas, albercas y áreas deportivas, auditorios, plazas comerciales, hangares, entre otros. Finalmente, el ingeniero Antonio Heberto Castillo Juárez patentó este sistema, sin embargo, debido a su encarcelamiento por el movimiento estudiantil de 1968, le fue cancelada la patente y pasó a ser propiedad pública. (Castillo Martínez , 1964).

Una vez descritos los sistemas constructivos más comunes en la construcción de losas en México, se parte de ahí para proponer un sistema innovador de losa que cumpla con las siguientes características:

- 1) Sistema principal de acero estructural prefabricado,
- 2) Bajo costo,
- 3) Ligero y
- 4) Fácil montaje;
- 5) Gran durabilidad

2.2 Revisión de la norma

El modelo se validará bajo las pruebas de ensaye de acuerdo con lo establecido por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019; Industria de la construcción; Componentes estructurales prefabricados de concreto para sistemas de losas, especificaciones y métodos de ensayo. Los cuales están detallados dentro de su apartado 7, en el que se establecen 2 tipos diferentes de pruebas, los cuales deberán realizarse por lo menos 28 días después de haber sido colado el modelo experimental. Los cuales son:

1. Resistencia a flexión bajo una carga puntual.
2. Deformación y carga máxima debido a:
 - 2.1 Carga de servicio mínima.
 - 2.2 Carga última.

1. Resistencia a flexión bajo una carga puntual.

Determinación de la carga.

De acuerdo con la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019: “La carga de ensayo debe ser una carga puntual máxima (P) aplicada al centro del claro libre (L_a) del elemento estructural. La carga puntual aplicada debe generar un momento equivalente a aquel producto de la carga muerta de colado más una carga viva de 100 kg/m². La carga puntual máxima que se aplicará al elemento estructural está dada por la siguiente expresión.”

$$P = \frac{e (w_m + w_v) l_a}{2} \quad (2.1)$$

Donde:

P = Carga puntual máxima (kg).

e = Distancia entre ejes de la vigueta (m).

W_m = Carga Muerta de colado en sitio (kg/m²).

W_v = 100 kg/m² (carga viva de colado).

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

Procedimiento:

- (i). Colocar el micrómetro al centro de la longitud de autoportancia L_a .
- (ii). Colocar al centro del claro libre la canastilla de precisión.
- (iii). Se aplica la carga monótona creciente vertical y se toman lecturas de carga y deformación a cada $P/10$, hasta aplicar la totalidad de la carga P . Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura.
- (iv). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión y pandeos en los elementos superiores de la armadura de refuerzo.

Los pasos (i) y (ii) se ilustran en la Figura 2.22.

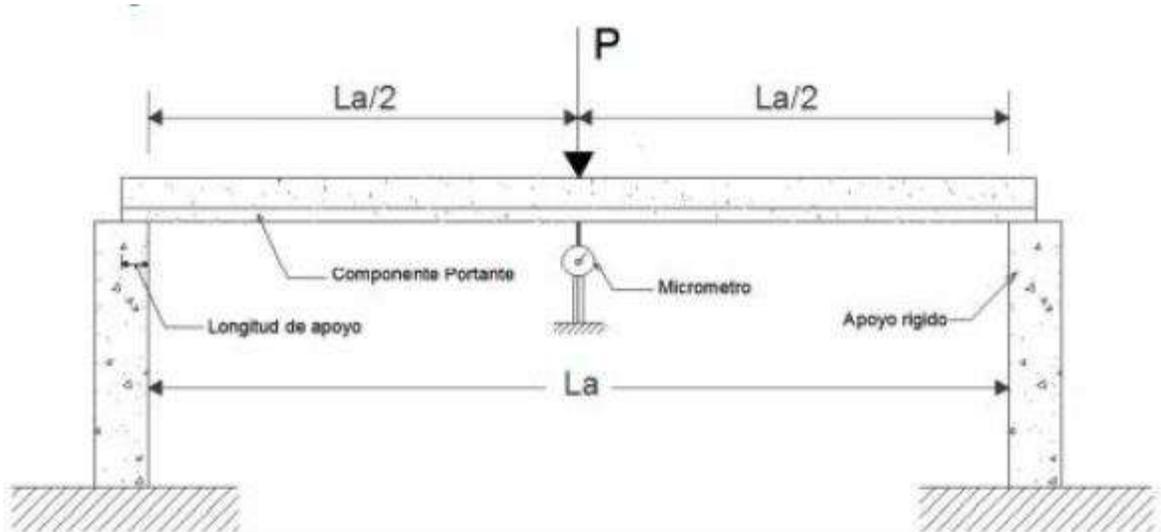


Figura 2.22 Prueba de resistencia a flexión bajo una carga puntual, (NMX-C-406-ONNCCE-2019).

Resultados

De acuerdo con la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, para que el modelo experimental se acepte debe cumplir:

- a) La deflexión final luego de aplicar la carga P no debe de exceder $L_a/300$,
- b) No se debe observar ningún tipo de agrietamiento provocado por flexión o cortante en la sección del concreto, además no se debe presentar ningún tipo de pandeo en los elementos superiores de la armadura de refuerzo y,
- c) Debe cumplirse que tanto experimental como analíticamente $P_{Res} > P$.

2. Deformación y carga máxima debido a:

2.1 Carga de servicio mínima.

Determinación de la carga.

De acuerdo con la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019: “La carga distribuida de servicio mínima utilizada para el ensayo debe ser de $W_s = 350 \text{ kg/m}^2$, esta carga puede aumentarse a solicitud del fabricante.”

$$W_s = 350 \text{ kg/m}^2 \quad (2.2)$$

Procedimiento

- (i). Colocar el micrómetro al centro de la longitud de autoportancia L_a .
- (ii). La carga se aplica verticalmente distribuyéndola uniformemente sobre la superficie del modelo experimental y se toman lecturas de carga y deformación a cada $P/10$, hasta aplicar

la totalidad de la carga W_s . Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura.

(iii). Se toman otras lecturas 24 horas después de terminar de aplicar la carga total W_s .

(iv). Se toman lecturas al descargar totalmente el sistema.

(v). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión o cortante.

Los pasos (i) y (ii) se ilustran en la Figura 2.23.

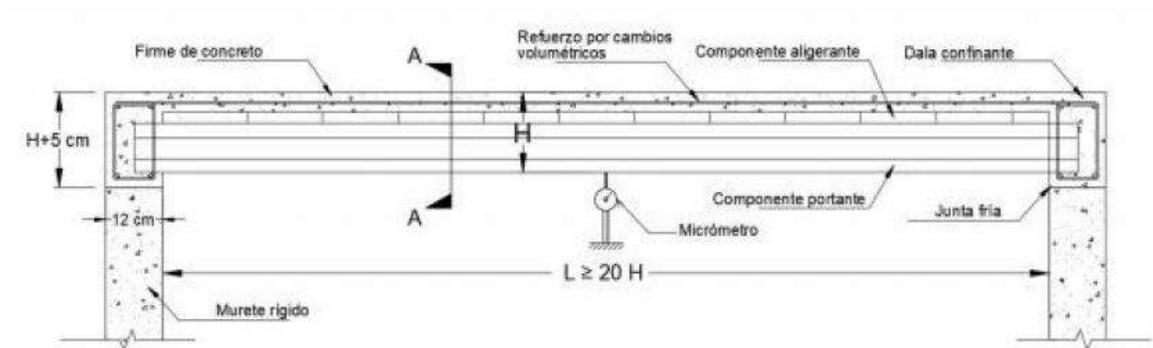


Figura 2.23 Prueba de carga distribuida de servicio mínima, (NMX-C-406-ONNCCE-2019).

Resultados.

De acuerdo con la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, para que el modelo experimental se acepte debe cumplir:

- a) Cumplir con las especificaciones del punto 5.4 de la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, el cual establece que: “La deformación (flecha) inmediata al centro del claro

del sistema de losa y para el 100% la carga de servicio no debe exceder de $L/360$ donde L es la distancia entre los centros de apoyo e indicada por el fabricante” y,

- b) Antes y durante la etapa de carga no se deben observar grietas o fisuras a flexión o cortante en el sistema de ensayo.

2.2 Carga última.

Determinación de la carga.

De acuerdo con la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019, la carga distribuida de servicio aumentada está dada por la siguiente expresión, la cual representa la carga última:

$$\text{Carga de servicio aumentada} = (1.4 W_s + 0.3 \text{ Peso Propio}) \quad (2.3)$$

Procedimiento

- (i). Colocar el micrómetro al centro de la longitud de autoportancia L_a .
- (ii). La carga se aplica verticalmente distribuyéndola uniformemente sobre la superficie del modelo experimental y se toman lecturas de carga y deformación a cada $P/10$, es decir 230 kg, hasta aplicar la totalidad de la carga de servicio aumentada. Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura.
- (iii). Se toman otras lecturas 24 horas después de terminar de aplicar el total de la carga de servicio aumentada.
- (iv). Se toman lecturas al descargar totalmente el sistema.
- (v). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión o cortante.

Los pasos (i) y (ii) se ilustran en la Figura 2.24.

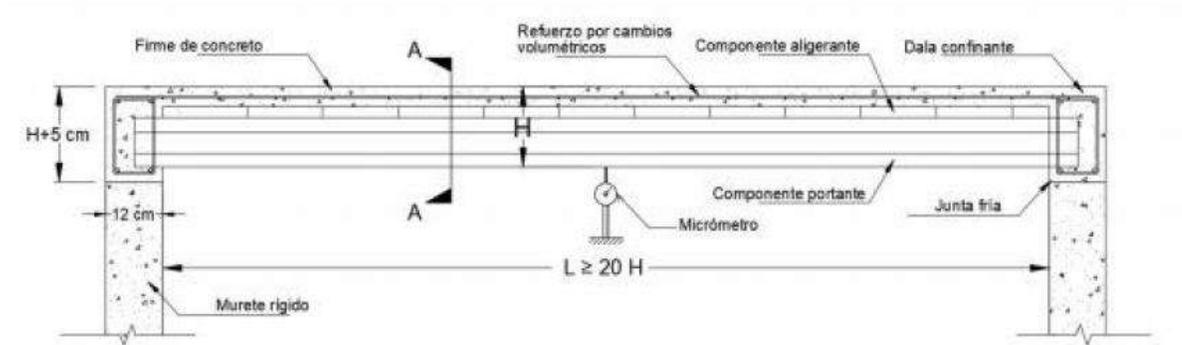


Figura 2.24 Prueba de carga distribuida de servicio aumentada, (NMX-C-406-ONNCCE-2019).

Resultados.

Se permite que el sistema sufra agrietamientos por flexión y deformaciones mayores a $L/360$. Sin embargo, no se acepta aquel sistema que colapse antes de haber aplicado la carga última.

3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE LOSA: LTM

Los sistemas estructurales de losas comunes en viviendas de interés social (nivel medio socioeconómico) en México son de gran consumo de concreto y demanda de gran cantidad de horas de mano de obra en su edificación, aspectos que elevan el costo de la edificación.

El sistema de losa propuesto la denominamos “Losa Tridimensional modular” LTM; 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.

Partiendo de lo anterior, en este trabajo presenta su adecuación e innovación para su empleo a viviendas. Los detalles de la propuesta geométrica, materiales empleados, análisis y diseño estructural, así como sus ensaye y resultados, son presentados a detalle en la presente investigación.

3.1 Características del sistema

El sistema LTM propuesto presenta varias ventajas que los sistemas de losas tradicionales no tienen como:

- 1) Sistema principal de acero estructural prefabricado,
- 2) Costo competitivo,
- 3) Ligero y
- 4) Fácil montaje;
- 5) Gran durabilidad

El primer punto apoya un ahorro considerable de tiempo en el proceso constructivo en obra. En el segundo punto, el acero empleado es del orden de un sistema tradicional de losa de concreto, pero éste es prefabricado y por tanto hay ahorro en mano de obra. En el tercer y

cuarto punto, el sistema de losa, por módulo, pesa 37.5 kg, lo cual puede ser montado por una sola persona en obra. Esto presenta un ahorro considerable de mano de obra y ahorro de tiempo en la edificación. Finalmente, en el quinto punto, el sistema presenta gran durabilidad ante la corrosión con tiempo mínimo de durabilidad de 50 años, gracias a un tratamiento por inmersión en caliente en zinc.

Con lo anterior, podemos tener una visión en la fabricación en serie del sistema LTM, que, con ello, aún más se pueden reducir costos y comenzar un uso común en la vivienda mexicana y otros países.

3.2 Geometría del sistema

El diseño interno de la losa se inspiró en el sistema constructivo tridilosa y se adecuó sus dimensiones para poder ser empleado en la construcción de viviendas en serie. El claro de análisis de la losa se definió en función de las medidas comunes promedio en la construcción de la vivienda de interés social en México; quedando definido este de 3.5m de claro libre.

Un módulo de este sistema ha sido definido con medidas 3.50 m y 0.18m 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 3.1.

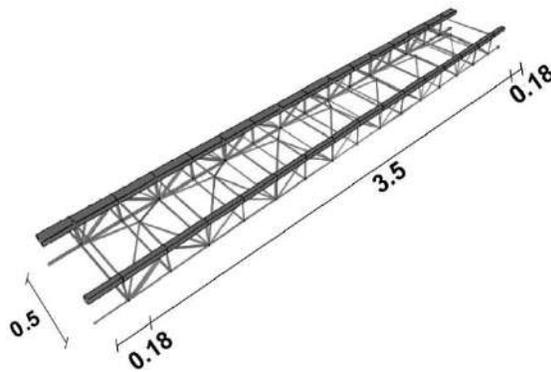


Figura 3.1 Vista en Isométrico del Módulo del sistema LTM, (Fuente propia, 2021).

Materiales.

El sistema Tridilosa Modular está compuesto por una base de un marco superior de un perfil tubular rectangular PTR 1" x 1" con propiedades mostradas en la Tabla 3.1. 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 *Tabla 3.2*.

Tabla 3.1 Propiedades del perfil tubular rectangular (Fuente propia, 2021).

<i>Tamaño</i>	<i>Espesor</i>	<i>Límite de Fluencia "Fy"</i>	<i>Esfuerzo a Traccion "Fu"</i>
1" x 1"	0.294 cm	2320 kg/cm ²	3164 kg/cm ²

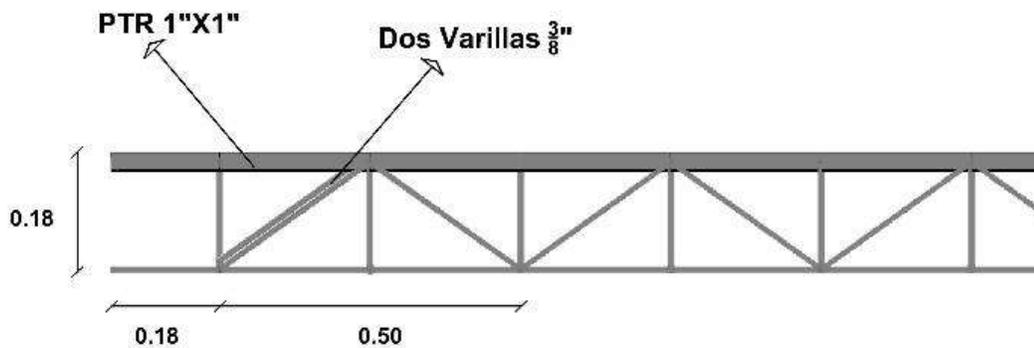


Figura 3.2 Vista Lateral del sistema LTM, (Fuente propia, 2021).

Tabla 3.2 Propiedades de la varilla de acero (Fuente propia, 2021).

<i>Tamaño</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Límite de Fluencia “Fy”</i>	<i>Esfuerzo a Traccion “Fu”</i>
3/8”	0.9525 cm	4200 kg/cm ²	4569 kg/cm ²

3.3 Análisis y diseño estructural

Para el análisis estructural fueron considerados dos módulos del sistema, para tener la practicidad de carga durante el ensayo con un ancho de 1m. Las cargas que fueron consideradas son las pertenecientes a losas de tipo entrepiso las cuales presentan las condiciones más desfavorables. El análisis fue hecho con ayuda del software Structural Analysis Program, SAP 2000.

El primer paso es recrear la estructura metálica en el programa AutoCad, dibujando cada uno de los elementos como una línea independiente, como se muestra en la Figura 3.3. Para después poder importarlos en SAP2000.

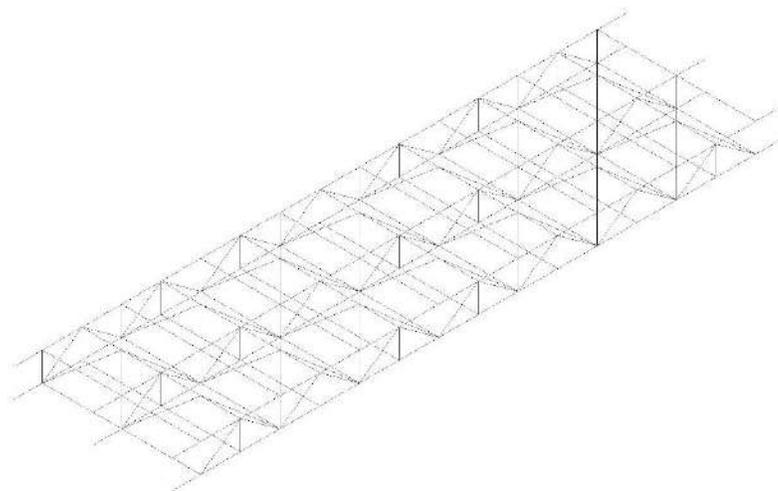


Figura 3.3 Modelo de la armadura en AutoCad, (Fuente propia, 2021).

Cargas de Diseño.

Para la modelación es necesario conocer los pesos propios debidos a cargas muertas y cargas vivas de la losa. Los cuales se desglosan en la Tabla 3.3 para losas de entrespiso y en la Tabla 3.4 para losas de azotea. Resaltando que el peso volumétrico de los materiales se tomó de acuerdo a el libro de Diseño Estructural de Meli Piralla y las cargas vivas (CV_g) de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

Tabla 3.3 Cargas losa de entrespiso, (Fuente propia, 2021).

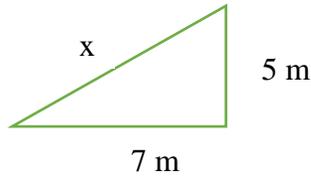
Losa de entrespiso				
CORTE	MATERIAL	ESPESOR m	P. VOL kg/m³	W kg/m²
	<i>Loseta cerámica</i>	0.01	2300	23
	<i>Pega Azulejo</i>	0.01	2100	21
	<i>Mortero</i>	0.015	2100	32
	<i>Mortero Pobre</i>	0.02	2100	42
	<i>Concreto</i>	0.05	2400	120
	<i>Módulo de Armadura</i>	-	-	9.7
	<i>Acabado en plafón</i>	0.02	2100	42
	<i>Carga muerta AD. Por reglamento</i>		<i>Por concreto</i>	20
			<i>Por morteo</i>	20
		<i>Carga Muerta Total CM_T</i>		
	<i>Carga Viva CV_g</i>			190

Tabla 3.4 Cargas losa de azotea, (Fuente propia, 2021).

Losa de azotea Armadura				
CORTE	MATERIAL	ESPESOR m	P. VOL kg/m³	W kg/m²
	<i>Impermeabilizante y lechada</i>	0.002	-	5
	<i>Enladrillado</i>	0.02	1500	30
	<i>Mortero</i>	0.015	2100	32
	<i>Mortero Pobre</i>	0.02	2100	42
	<i>Relleno de Tezontle*</i>	0.086	1600	138
	<i>Concreto</i>	0.05	2400	120
	<i>Módulo de Armadura</i>	-	-	9.7
	<i>Acabado plafón</i>	0.02	2400	48
	<i>Carga muerta AD. Por reglamento</i>		<i>Por concreto</i>	20
			<i>Por morteo</i>	20
	<i>Carga Muerta Total CM_T</i>			464
	<i>Carga Viva CV_g</i>			100

***Relleno de Tezontle:**

Si se toma en cuenta que una casa habitación de clase media mide 7 metros de fondo por 5 metros de ancho tendríamos un triángulo como el siguiente:



Donde $x = \sqrt{5^2 + 7^2} = 8.60 \text{ m}$

con una pendiente de 2%

$8.60(0.02) = 0.172 \text{ m}/2 = 0.086 \text{ m}$

Análisis Estructural.

La geometría de la estructura fue ingresada en el software SAP2000 para después asignar materiales, perfiles, cargas, así como combinaciones de cargas que se describen en el apartado 3.4 de las NTC titulado como Factores de Carga. Para determinar el factor de carga, FC, se aplicarán las reglas siguientes: “a) Para combinación gravitacional se aplicará un factor de carga de 1.3 para carga muerta y 1.5 para carga viva; y para la combinación de servicio se considerará un FC de 1.0 para ambas cargas”.

Lo anterior de acuerdo con lo establecido por la teoría plástica, donde se establece que las estructuras se deben diseñar para tres combinaciones en la Republica Mexicana; las cuales son a) Combinación gravitacional: 1.3 Carga muerta + 1.5 Carga viva, b) Combinación accidental: 1.1 Carga muerta + 1.1 Carga viva_{inst} + 1.1 Fenómeno natural (viento o sismo o nieve) y c) Combinación de servicio: 1.0 Carga muerta + 1.0 Carga viva_{med}.

Una vez que se tienen los datos anteriores se procede a correr el programa y analizarlo de acuerdo a las NTC 2017 como lo muestra la *Figura 3.4 a*).

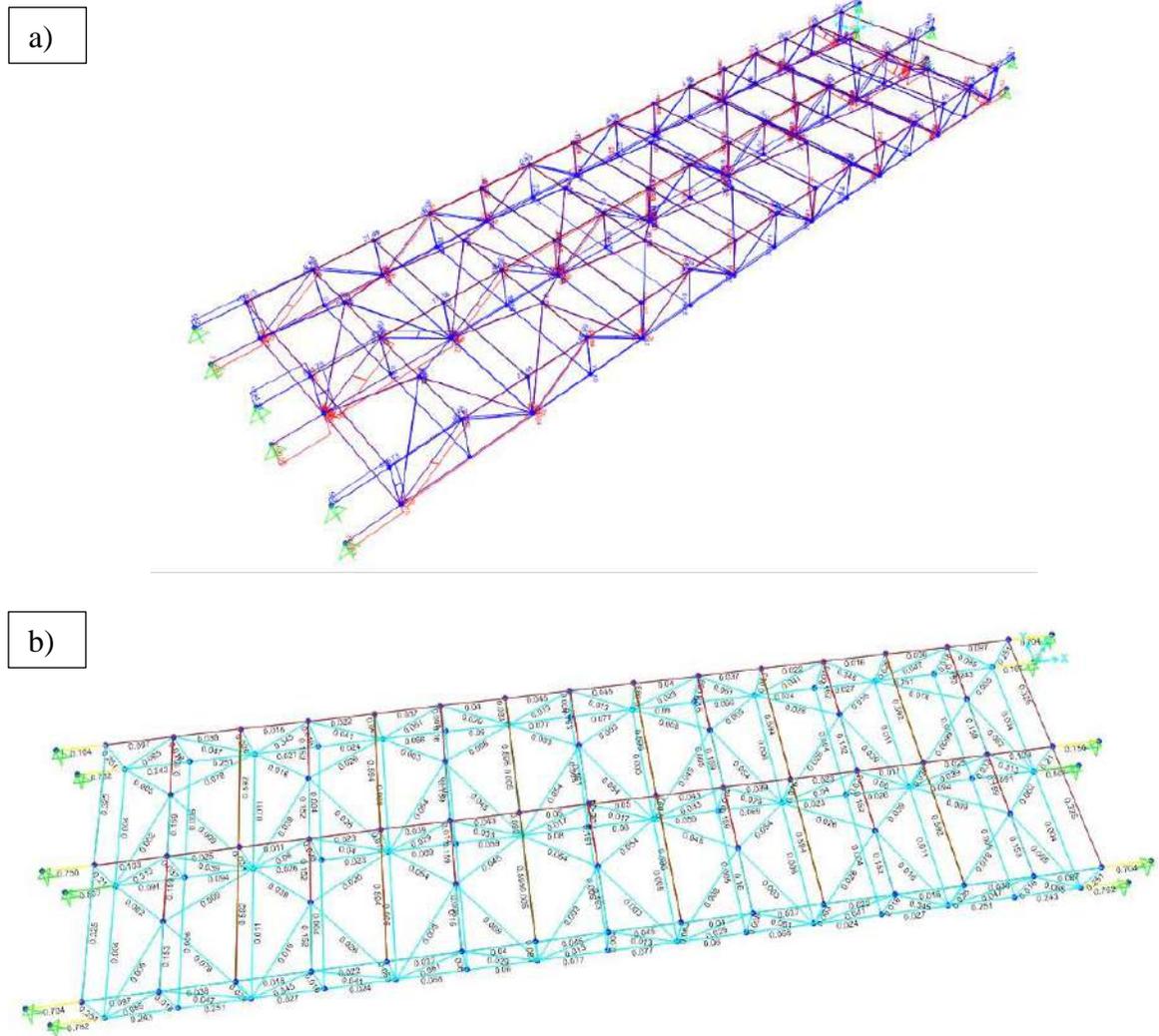


Figura 3.4 a) Análisis y b) diseño estructural del sistema LTM, (Fuente propia, 2021).

Como se aprecia en la *Figura 3.4b*) todos los elementos del sistema modular tridilosa cumplen con los criterios de diseño establecidos en las Normas Técnicas Complementarias 2017.

4. METODOLOGÍA

En capítulos anteriores se ha descrito el planteamiento del problema, hipótesis y objetivos, tanto general como particulares, además del estado del arte sobre el tema y la geometría propuesta del sistema tridilosa modular. A continuación, se presenta el proceso que se seguirá para el desarrollo de esta investigación, el cual se basa en fundamentos metódicos con un proceso definido para llegar a los resultados verídicos y reales, de manera que se pueda tener garantía de los valores y respaldo de las conclusiones que se obtengan al finalizar la misma.

Se presentará el tipo de investigación que se decidió para este proyecto y el alcance al que se encaminó el trabajo, así como los programas y equipos utilizados para la recopilación de datos y una descripción general del proceso; como se muestra en la Figura 4.1.

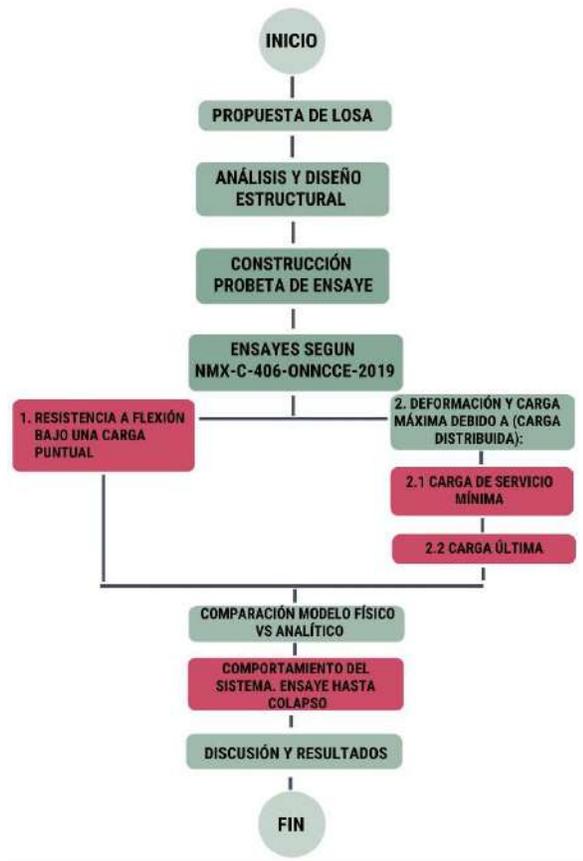


Figura 4.1 Diagrama de árbol sobre la metodología, (Fuente propia, 2021).

4.1 Fabricación, Montaje y Colado del sistema LTM

Se procedió a construir el modelo experimental para corroborar los datos obtenidos en el análisis estructural y observar comportamiento real, así como definir aspectos que faciliten el proceso constructivo del sistema de losa modular. Para lo anterior, y conforme a lo establecido en la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019 se procedió a establecer un render que nos sirviera como guía, como se ilustra en la Figura 4.2.

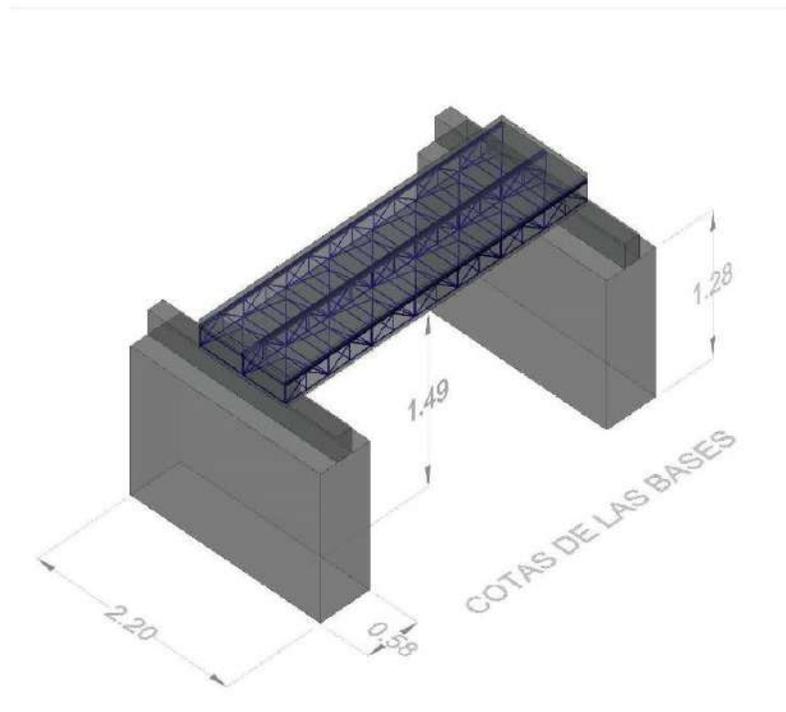


Figura 4.2 Render del modelo experimental, (Fuente propia, 2021).

Bases.

Las bases están conformadas por 6 hiladas de 15 piezas de block macizo de dimensiones $0.40 \times 0.20 \times 0.15$ m con una altura total de 1.50 m, 0.50 m de ancho por 2.20 m de largo como se ilustra en la *Figura 4.3 a)*, dejando una lida de block hasta el final para sentar la losa como se ve en la *Figura 4.3 b)*.



Figura 4.3 a) Construcción de las bases, b) Bases terminadas (Fuente propia, 2021).

Módulos del Sistema LTM.

Se construyeron 2 módulos del sistema con base a las dimensiones y materiales establecidas en el capítulo 4.1 de esta tesis, como se ilustra en la *Figura 4.4*.

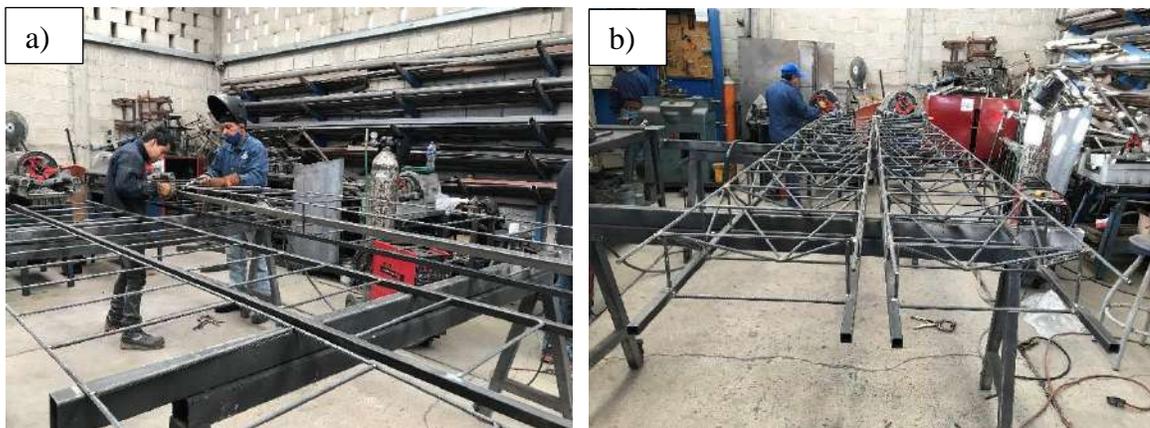


Figura 4.4 a) Construcción de los módulos del sistema, b) Módulos terminados (Fuente propia, 2021).

Tratamiento Antioxidante.

Para proteger el acero de la corrosión y potenciar su fortaleza mecánica a los golpes y a la abrasión se empleó el sistema de galvanizado por inmersión del acero en zinc fundido. El módulo con el acabado tiene un peso total de 37.4 kg como se muestra en la *Figura 4.5 a)*, cabe resaltar que debido a la ligereza del sistema es fácil de transportar y colocar como se muestra en la *Figura 4.5 b)*.



Figura 4.5 a) Peso de un módulo del Sistema LTM, a) Presentación de Módulos del Sistema LTM con el acabado (Fuente propia, 2021).

Para (Lesur Esquivel, 2008), el proceso de galvanizado consta de: “Introducir las piezas de acero en el zinc fundido a una temperatura de 450 °C hasta lograr el recubrimiento deseado que varía de 50 a 100 micras”. De acuerdo a la norma NMX-H-004-SCFI-2008

El sistema fue recubierto con un espesor promedio de cinco de 88 Micras, lo cual según el fabricante nos garantiza una vida útil de por los menos 50 años en condiciones de intemperie, como se ilustra en el anexo 1.

Preparación para el colado.

Antes de colar es necesario llevar los siguientes pasos:

- a) Colocar la malla de harnero galvanizada con alambre galvanizado y los pernos de sujeción elaborados con varilla del número 3 a cada 25 cm como se muestra en la *Figura 4.6*.



Figura 4.6 Detalle pernos de sujeción, (Fuente propia, 2021).

- b) Colocar las cadenas con estribos a cada 25 cm como se ilustra en la *Figura 4.7*.



Figura 4.7 Instalación de las cadenas, (Fuente propia, 2021).

- c) Colocar la cimbra curada con aceite de auto quemado como se ilustra en la Figura 4.8.



Figura 4.8 Detalle del cimbrado, (Fuente propia, 2021).

- d) Colocar la membrana poliestireno, ranurando donde se encuentre los pernos de sujeción, como se ilustra en la Figura 4.9.



Figura 4.9 Detalle de la colocación del plástico, (Fuente propia, 2021).

- e) Colocar la malla 6-6/10-10 sobre la membrana, amarrándola a los pernos con alambre recocido como se muestra en la Figura 4.10.



Figura 4.10 Detalle de la colocación de la malla 6-6/10-10, (Fuente propia, 2021).

Colado.

Para el diseño de la mezcla se utilizó el método ACI 211 el cual se basa en ocho pasos:

1. Caracterización.
2. Determinar: f'_c , Revenimiento, TMG.
3. Determinar el porcentaje de aire.
4. Estimar el valor de Cemento en la relación agua cemento.
5. Estimar el Porcentaje de Grava.
6. Calcular el volumen de arena.
7. Corrección por humedad.
8. Pesos corregidos para 1 m³ de concreto.

Los datos obtenidos de la caracterización del material se muestran en la Tabla 4.1. Siguiendo los pasos del ACI 211 se diseñó la mezcla para tener una resistencia de diseño mínima de 250 kg/cm^2 , dado a que es el valor más común que se emplea en el colado de losas en México. Obteniendo los resultados para 1 m^3 que se muestran en la *Tabla 4.2*.

Tabla 4.1 Caracterización del material, (Fuente propia, 2021).

Peso específico del concreto	3.15	t/m^3
Módulo de finura	2.7	
Peso específico de la arena	1.76	
Porcentaje de absorción de la arena	9.56	%
Humedad de la arena	9.2	%
Peso específico de la grava	2.8	
Tamaño máximo del agregado	17	mm
Peso volumétrico seco de la grava	1.57	t/m^3
Porcentaje de absorción de la grava	1.52	%
Humedad de la grava	0.55	%

Tabla 4.2 Dosificación del material para obtener una mezcla con resistencia de diseño mínima de 250 kg/cm^2 , (Fuente propia, 2021).

Agua	214.24	kg/m^3
Cemento	332.78	kg/m^3
Grava	1073.47	kg/m^3
Arena	570.31	kg/m^3

Una vez obtenidos estos datos se procedió a realizar el concreto en sitio para poder vaciarlo en la losa, como lo ilustra la Figura 4.11.



Figura 4.11 a) Elaboración de la mezcla en sitio, b) vaciado de la mezcla, (Fuente propia, 2021).

Descimbrado y aplanado de la cara inferior.

Se descimbra la estructura y se procede a aplanar la cara inferior del sistema LTM como lo establece la norma. Esto ayudara a apreciar las grietas si es que se presentan; para ello primero se coloca una malla de harnero sujeta con alambre galvanizado como se ilustra en la Figura 4.12.



Figura 4.12 Preparación para el aplanado de la cara inferior del sistema LTM, (Fuente propia, 2021).

Se procede a realizar el aplanado con una mezcla de $\frac{1}{2}$ bulto de cemento, 1 bulto de cal y 4 botes de arena, nos aseguramos que esta mezcla penetre bien la malla de arnero para que esta se autosoporte; por último, se dio un acabado con estuco para obtener una superficie lisa y clara donde sean apreciables con facilidad las grietas si es que se presentan, como lo ilustra la Figura 4.13.



Figura 4.13 Acabado inferior de la losa, (Fuente propia, 2021).

4.2 Ensaye

Para los siguientes ensayos se consideró la norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, equipo de protección personal selección, uso y manejo en los centros de trabajo. En la cual se detalla el uso de casco contra impacto, chaleco reflejante y calzado ocupacional para garantizar la seguridad del personal. Además, dado a la pandemia provocada por el virus SARS CoV 2, el aforo del personal fue limitado al mínimo y el cual se sometió a un test de temperatura cada vez que ingresaba al campus, además del uso de mascarilla de manera obligatoria y sana distancia; esto bajo lo establecido por disposiciones de las Autoridades Universitarias.

Carga empleada para el ensaye.

La carga empleada para las siguientes pruebas será la de costales rellenos de grava con dimensiones 0.70 x 0.50 x 0.20 metros como lo ilustra la Figura 4.14, con un peso de 45 kg cada uno.

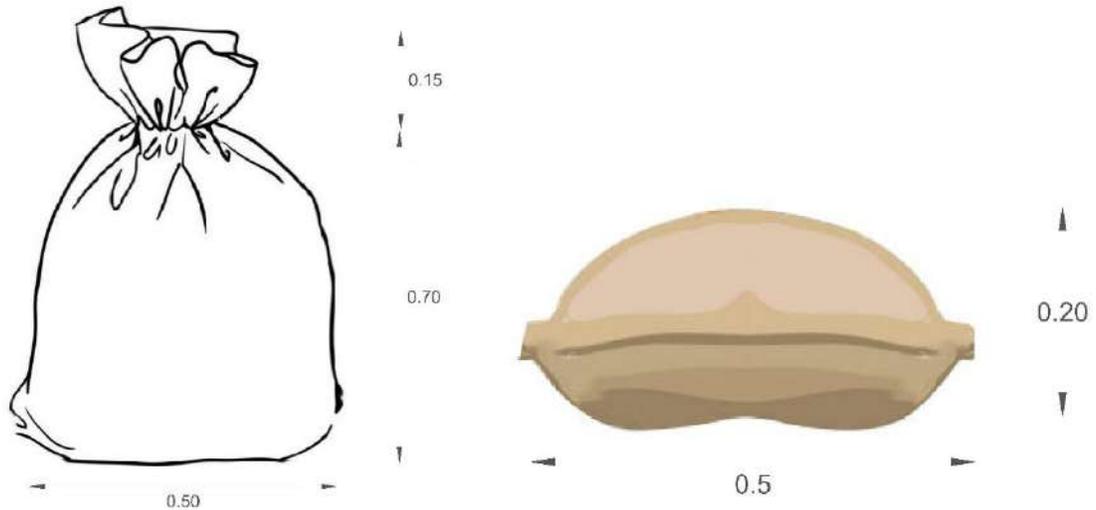


Figura 4.14 Dimensión de los costales, (Fuente propia, 2021).

1. Resistencia a flexión bajo una carga puntual.

Determinación de la carga.

Sustituyendo los valores de la expresión 2.1 para el modelo de ensaye, obtenemos que: la distancia entre ejes de la vigueta es de 0.50 m, la carga muerta de colado en sitio como se definió en el capítulo 3 de esta tesis es de 350 kg/m², la carga viva de colado que define la norma es de 100 kg/m² y la longitud de autoportancia del elemento es de 3.5 m, esto multiplicado por dos, dado a que se toman en cuenta dos módulos del sistema. Resultando una carga puntual máxima P de 800 kg como se ilustra en la expresión 4.1.

$$P = \frac{[0.5(350 + 100)3.50]}{2} = \frac{787}{2} = 393.5 \times 2 \approx 800 \text{ kg} \quad (4.1)$$

Para garantizar la carga puntual se utilizará una canastilla de presión como lo ilustra la Figura 4.15.

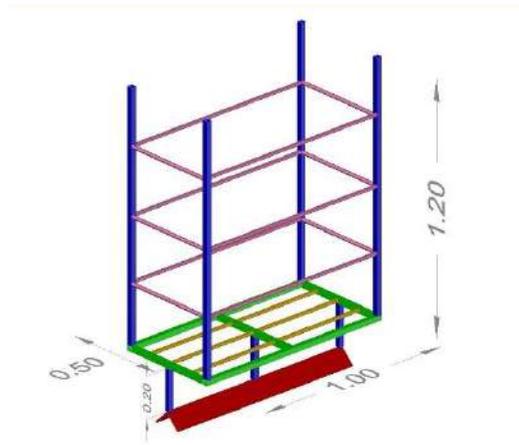


Figura 4.15 Canastilla de precisión para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Procedimiento:

- (i). Colocar los micrómetros al centro de la longitud de autoportancia L_a en ambos extremos, como lo ilustra la *Figura 4.16*.



Figura 4.16 Colocación de los micrómetros para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

(ii). Colocar al centro del claro libre la canastilla de precisión, como se ilustra en *Figura 4.17*.



Figura 4.17 Colocación de la canastilla de presión en el modelo experimental; para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

(iii). Se aplica la carga monótona creciente vertical como lo ilustra la Figura 4.18; se toman lecturas de carga y deformación a cada $P/10$, es decir 45 kg; hasta aplicar la totalidad de la carga P , como lo ilustra la Figura 4.19, las lecturas se encuentran descritas en el anexo 2 y 3 de esta tesis.



Figura 4.18 Aplicación de la carga monótona creciente vertical para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).



Figura 4.19 Modelo experimental con la carga P aplicada para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

(iv). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión y pandeos en los elementos superiores de la armadura de refuerzo, como se ilustra en la Figura 4.20 .

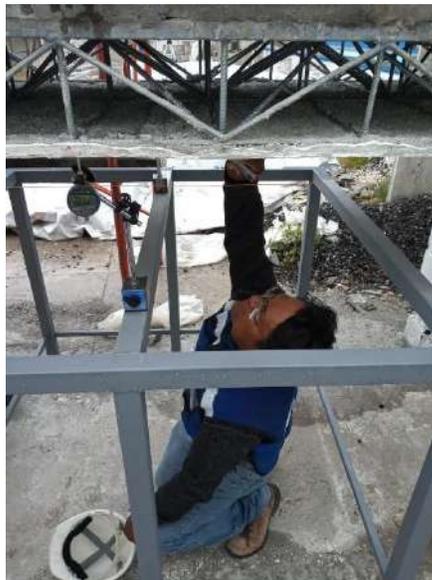


Figura 4.20 Inspección visual de la cara inferior del sistema LTM, para el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual (fuente propia 2021).

2. Deformación y carga máxima debido a:

2.1. Carga de servicio mínima.

Determinación de la carga.

De acuerdo con lo establecido en la expresión 2.2 de esta tesis, y dado que el modelo experimental tiene una superficie de 3.86 m^2 , se deduce que se debe aplicar una carga distribuida de 1,350 kg un aproximado de 30 bultos.

Procedimiento

(i). Colocar el micrómetro al centro de la longitud de autoportancia L_a , como lo ilustra la Figura 4.21.



Figura 4.21 Colocación de los micrómetros en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

(ii). La carga se aplica verticalmente distribuyéndola uniformemente sobre la superficie del modelo experimental, como lo ilustra la Figura 4.22. Se toman lecturas de carga y deformación a cada 90 kg, hasta aplicar la totalidad de la carga W_s , como lo ilustra la Figura 4.23. Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura, los registros se encuentran descritos en los anexos 4,5,6,7,8 y 9 de esta tesis.



Figura 4.22 Aplicación de la carga monótona creciente distribuida en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).



Figura 4.23 Modelo experimental con la carga uniformemente distribuida W_s aplicada en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

- (iii). Se toman otras lecturas 24 horas después de terminar de aplicar la carga total W_s .
- (iv). Se toman lecturas al descargar totalmente el sistema, como lo ilustra la Figura 4.24.



Figura 4.24 Registro de la última lectura con el modelo experimental descargado en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

- (v). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión o cortante, como lo ilustra la Figura 4.25.



Figura 4.25 Inspección visual cara inferior del sistema LTM en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

2.2 Carga última.

Determinación de la carga.

Sustituyendo los valores de la expresión 2.3 para el modelo de ensaye, obtenemos que: la carga de servicio mínima W_s es de 350 kg/m^2 y el peso propio del elemento es de 474.18 kg/m^2 . Dando como resultado una carga de servicio aumentada de 632.25 kg/m^2 , como se ilustra en la expresión 4.2. Dado que el modelo experimental tiene una superficie de 3.88 m^2 , obtenemos una carga distribuida de $2,453.1 \text{ kg}$. Esta carga da un aproximado de 55 bultos.

$$\text{Carga de servicio aumentada} = (1.4 * 350 + 0.3 * 474.18) = 632.2 \text{ kg/m}^2 \quad (4.2)$$

Procedimiento

(i). Colocar el micrómetro al centro de la longitud de autoportancia L_a , como lo ilustra la Figura 4.26.



Figura 4.26 Colocación de los micrómetros en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

(ii). La carga se aplica verticalmente distribuyéndola uniformemente sobre la superficie de del modelo experimental; como lo ilustra la Figura 4.27, se toman lecturas de carga y deformación a cada 90 kg, hasta aplicar la totalidad de la carga de servicio aumentada como lo ilustra la Figura 4.28. Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura.



Figura 4.27 Aplicación de la carga monótona creciente distribuida en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).



Figura 4.28 Modelo de experimental con la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

(iii). Se toman otras lecturas 24 horas después de terminar de aplicar el total de la carga de servicio aumentada.

(iv). Se toman lecturas al descargar totalmente el sistema, como lo ilustra la Figura 4.29.



Figura 4.29 Modelo experimental descargado en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

(v). Hacer una inspección visual del componente estructural en busca de grietas provocadas por flexión o cortante, como lo ilustra la Figura 4.30.



Figura 4.30 Inspección visual de la capa de terminado del sistema LTM en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

3. Comportamiento del sistema, ensaye al colapso.

Para determinar el comportamiento del sistema es necesario realizar la gráfica carga uniformemente distribuida vs. deformación del sistema, donde se aprecie claramente el fin de la etapa lineal y el colapso del modelo experimental; para ello, se realizó cuatro etapas de carga tomando mediciones y haciendo inspecciones visuales entre ellas cada hora.

a) Primera etapa de carga.

Se procedió a colocar los micrómetros al centro del claro de la losa y aplicar una carga uniformemente distribuida de 132 costales, 5940 kg o 1530.9 kg/m^2 ; como lo ilustra la Figura 4.31, tomando lecturas a cada 4 costales o 180 kg.



Figura 4.31 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la primera etapa de carga, en el ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

b) Segunda etapa de carga.

24 horas después de aplicar la primera etapa de carga se procedió a aplicar la segunda etapa, colocando dos blancos del block en el centro del claro de la losa para tener mayor seguridad al momento de presentarse el colapso. Se tomaron lecturas igual que la etapa anterior hasta llegar a una carga uniformemente distribuida de 156 costales, 7020 kg o 1809.3 kg/m², como lo ilustra la Figura 4.32.



Figura 4.32 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la segunda etapa de carga, en el ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

c) Tercera etapa de carga.

48 horas después de aplicar la segunda etapa de carga se procedió a aplicar la tercera etapa, tomando lecturas igual que la etapa anterior hasta llegar a una carga uniformemente distribuida de 200 costales, 9000 kg o 2319.6 kg/m^2 , como lo ilustra la Figura 4.33. Se tomaron lecturas y se hicieron inspecciones visuales del modelo experimental a cada hora durante 96 horas después de cargar el último costal, debido a que el sistema LTM se encontraba fuera de su rango lineal se esperaba su colapso. Debido a que no sucedió fue necesario implementar una cuarta etapa de carga.



Figura 4.33 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total de la tercera etapa de carga, en el ensayo al colapso, (fuente propia 2021).

d) Cuarta etapa de carga.

96 horas después de aplicar la tercera etapa de carga se procedió a aplicar la cuarta etapa, tomando lecturas igual que la etapa anterior hasta llegar a una carga uniformemente distribuida de 208 costales, 9360 kg o 2412.4 kg/m^2 ; carga con la que se presentó el colapso del sistema LTM, como lo ilustra la Figura 4.34.



Figura 4.34 Aplicación de la carga uniformemente distribuida total en la cuarta etapa de carga, en el ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

5. VALIDACIÓN: RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados de los ensayos descritos en el capítulo 4 de esta tesis, así como la comparación de los precios unitarios con los sistemas análogos.

5.1 Resistencia a flexión bajo una carga puntual

Resultados modelo experimental.

Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Dado a que se utilizó dos micrómetros para tener más control sobre las pruebas se muestran los resultados del micrómetro que tuvo el comportamiento más estable durante el ensaye, las cuales se muestran en la Tabla 5.1, la gráfica carga vs. deflexión se ilustra en la Figura 5.2; y las lecturas de cada uno de los micrómetros se muestran en los anexos 2 y 3. La carga puntual total aplicada en esta prueba fue de 800 kg como lo ilustra la Figura 5.1 ,de acuerdo a lo descrito en el capítulo 4.2 de esta tesis.



Figura 5.1 Modelo de experimental con la carga P aplicada en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Tabla 5.1 Lecturas del modelo experimental en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Número de Costales	Carga	Deflexión	Número de Costales	Carga	Deflexión
	kg	cm		kg	cm
0	0	0	9	434	0.121
1	74	0	10	479	0.131
2	119	0.009	11	524	0.154
3	164	0.023	12	569	0.169
4	209	0.03	13	614	0.189
5	254	0.046	14	659	0.205
6	299	0.065	15	704	0.228
7	344	0.084	16	749	0.243
8	389	0.096	17	800	0.247

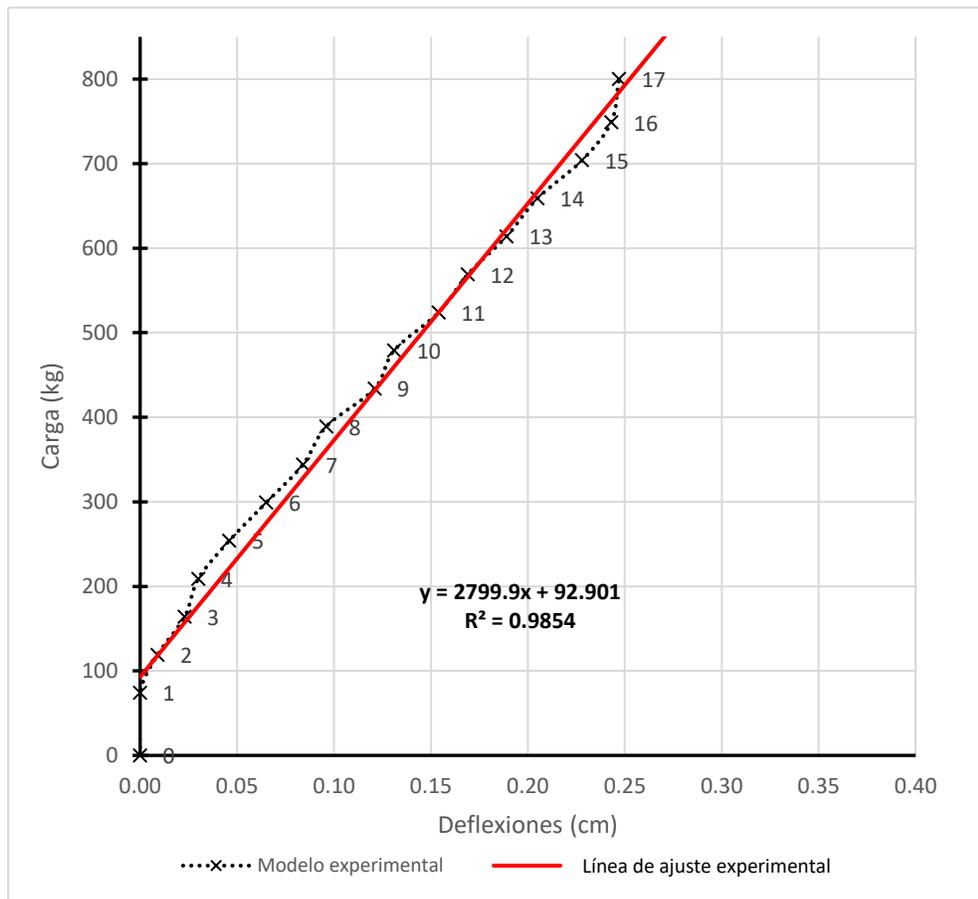


Figura 5.2 Gráfica carga vs deflexión del modelo experimental; en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Resultados modelo analítico.

Se realizó la misma prueba utilizando el software SAP2000 de la cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.2; la comparación entre ambas pruebas se ilustra en la Figura 5.3.

Tabla 5.2 Lecturas de carga del modelo analítico en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Número de Costales	Carga kg	Deflexión cm	Número de Costales	Carga kg	Deflexión cm
0	0	0.05849	9	434	0.12878
1	74	0.07048	10	479	0.13607
2	119	0.077	11	524	0.144
3	164	0.08505	12	569	0.15065
4	209	0.092	13	614	0.15794
5	254	0.099	14	659	0.16523
6	299	0.106	15	704	0.17252
7	344	0.11421	16	749	0.1798
8	389	0.1215	17	800	0.188

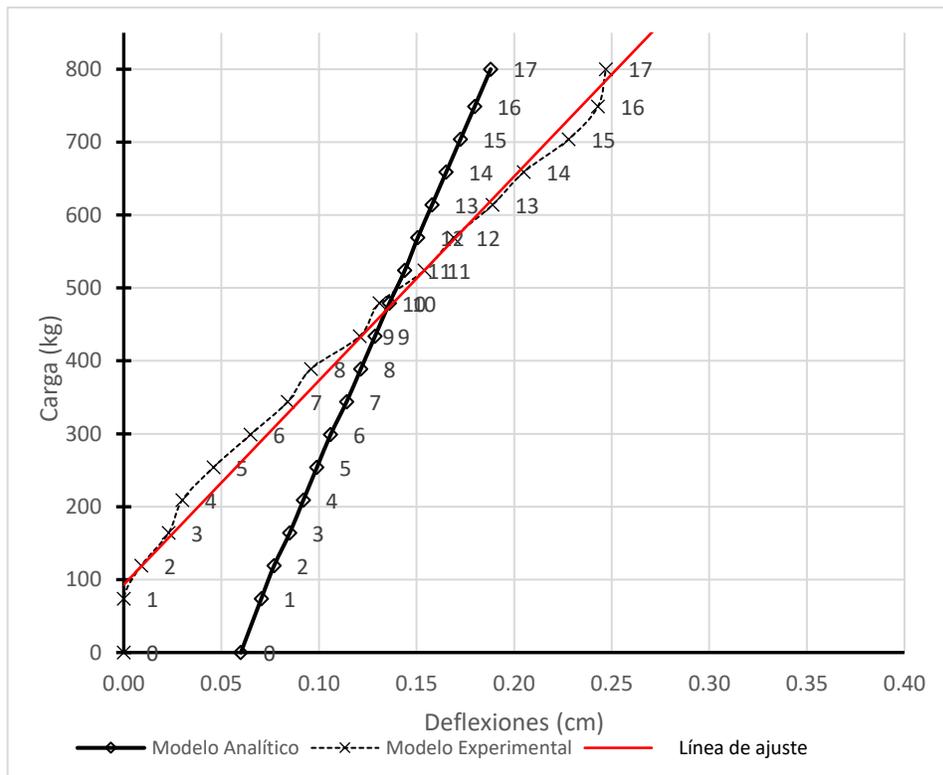


Figura 5.3 Gráfica comparativa del modelo analítico vs experimental; en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual, (fuente propia 2021).

Resultados esperados para la validación.

Para que el modelo experimental se acepte debe cumplir:

- a) La deflexión final luego de aplicar la carga P no debe de exceder $L_a / 300$, es decir, $373/300 = 1.24$ cm. Se cumple con este punto, dado a que la deflexión máxima registrada fue de 0.247 cm, es decir, solo presenta un 20% de la deflexión permitida.
- b) No se debe observar ningún tipo de agrietamiento provocado por flexión o cortante en la sección del concreto, además no se debe presentar ningún tipo de pandeo en los elementos superiores de la armadura de refuerzo.

Como se ilustra en Figura 5.4, la capa de acaba del sistema LTM no presenta ningún tipo de agrietamiento provocado por flexión o cortante, por lo cual este punto también se cumple.



Figura 5.4 Capa de acabado del sistema LTM con la carga P aplicada, en el ensaye resistencia a flexión bajo una carga puntual (fuente propia 2021).

- c) Debe cumplirse que tanto experimental como analíticamente $P_{Resistente\ SAP} > P_{carga\ experimental}$. Este punto se cumple al observar que la P_{Res} necesaria para una flexión de 1.24 cm que se enuncia en el apartado a) de los resultados esperados en esta norma; debe ser de 7,300 kg de acuerdo con el modelo analítico de SAP, por lo tanto $7,300\ kg > 800\ kg$; es decir $P_{Res} > P$.

5.2 Deformación y carga máxima debido a: Carga de servicio mínima

Resultados modelo experimental.



Figura 5.5 Modelo de experimental con la carga uniformemente distribuida W_s aplicada en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

Para el registro o medición de los desplazamientos debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Dado a que se utilizó dos micrómetros para tener más control sobre las pruebas se muestran los resultados del micrómetro que tuvo el comportamiento más estable durante el ensaye, las cuales se muestran en la

Tabla 5.3, la gráfica carga uniformemente distribuida vs. deflexión se ilustra en la Figura 5.6; y las lecturas de cada uno de los micrómetros se muestran del anexo 4 al 9. La carga uniformemente distribuida W_s aplicada para esta prueba es de 350 kg/m^2 como lo ilustra la Figura 5.5, después de 24 hrs se descarga el modelo experimental como lo establece el capítulo 4 de esta tesis.

Tabla 5.3 Lecturas de carga uniformemente distribuida y descarga del modelo experimental en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

CARGA				DESCARGA			
Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión	Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
	kg	kg/m2	cm		kg	kg/m2	cm
6	270	70	0.062	30	1350	350	0.298
12	540	139	0.113	28	1260	325	0.284
14	630	162	0.13	26	1170	302	0.269
16	720	186	0.138	24	1080	278	0.258
18	810	209	0.162	22	990	255	0.239
20	900	232	0.192	20	900	232	0.219
22	990	255	0.215	18	810	209	0.187
24	1080	278	0.237	16	720	186	0.168
26	1170	302	0.252	14	630	162	0.16
28	1260	325	0.268	12	540	139	0.152
30	1350	350	0.277	10	450	116	0.138
				8	360	93	0.123
				6	270	70	0.1
				4	180	46	0.077
				2	90	23	0.046
				0	0	0	0

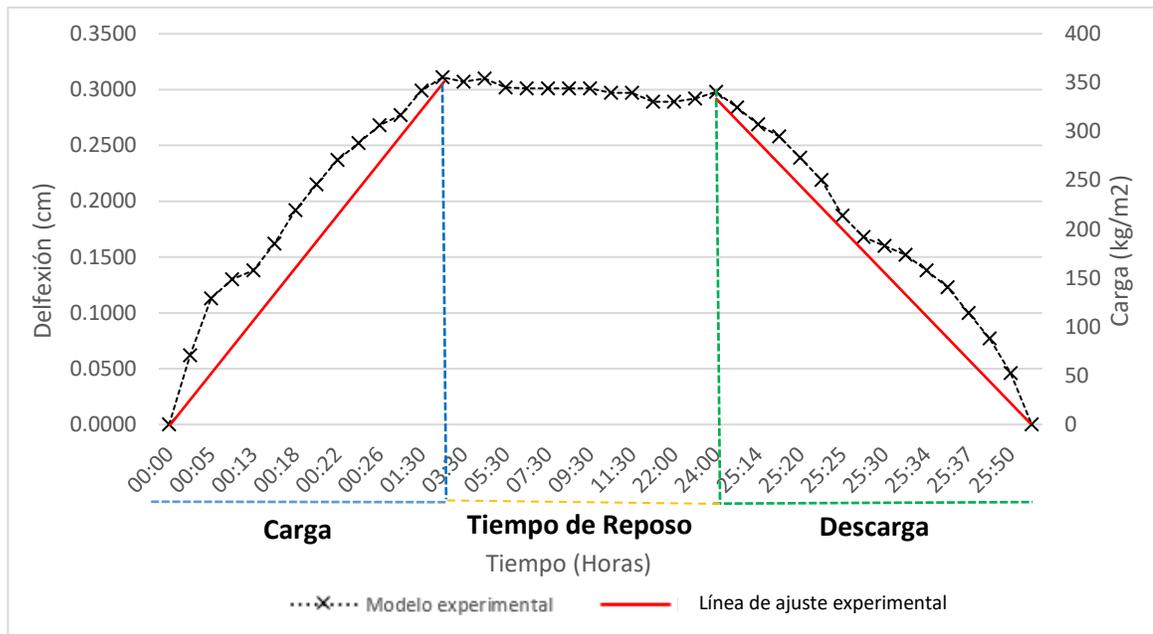


Figura 5.6 Gráfica de la carga uniformemente distribuida y descarga vs deflexión en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

Como se observa en la Figura 5.6 el comportamiento del sistema LTM se encuentra dentro del rango lineal; esto lo podemos comprobar debido a que después de 60 minutos de retirar la carga total del modelo de experimental, este recupera la deflexión ocasionada por la carga, regresando el micrómetro a la lectura inicial en cero. Además, de que ningún elemento del sistema LTM, así como sus apoyos no mostraron algún tipo de daño.

Resultados modelo analítico.

Se realizó la misma prueba utilizando el software SAP2000; para comparar el modelo analítico vs. el modelo experimental, de la cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.4; la comparación entre las etapas de carga uniformemente distribuida de ambas modelos se ilustra en la Figura 5.7. Donde se observa una diferencia de 0.087 cm de deflexión una vez aplicada la carga total de esta prueba.

Tabla 5.4 Lecturas de carga uniformemente distribuida del modelo analítico en el ensaye carga de servicio mínima, (fuente propia 2021).

Número de Costales	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
	kg/m ²	cm
6	70	0.09
12	139	0.11
14	162	0.12
16	186	0.13
18	209	0.14

Número de Costales	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
	kg/m ²	cm
20	232	0.15
22	255	0.16
24	278	0.17
26	302	0.18
28	325	0.18
30	350	0.19

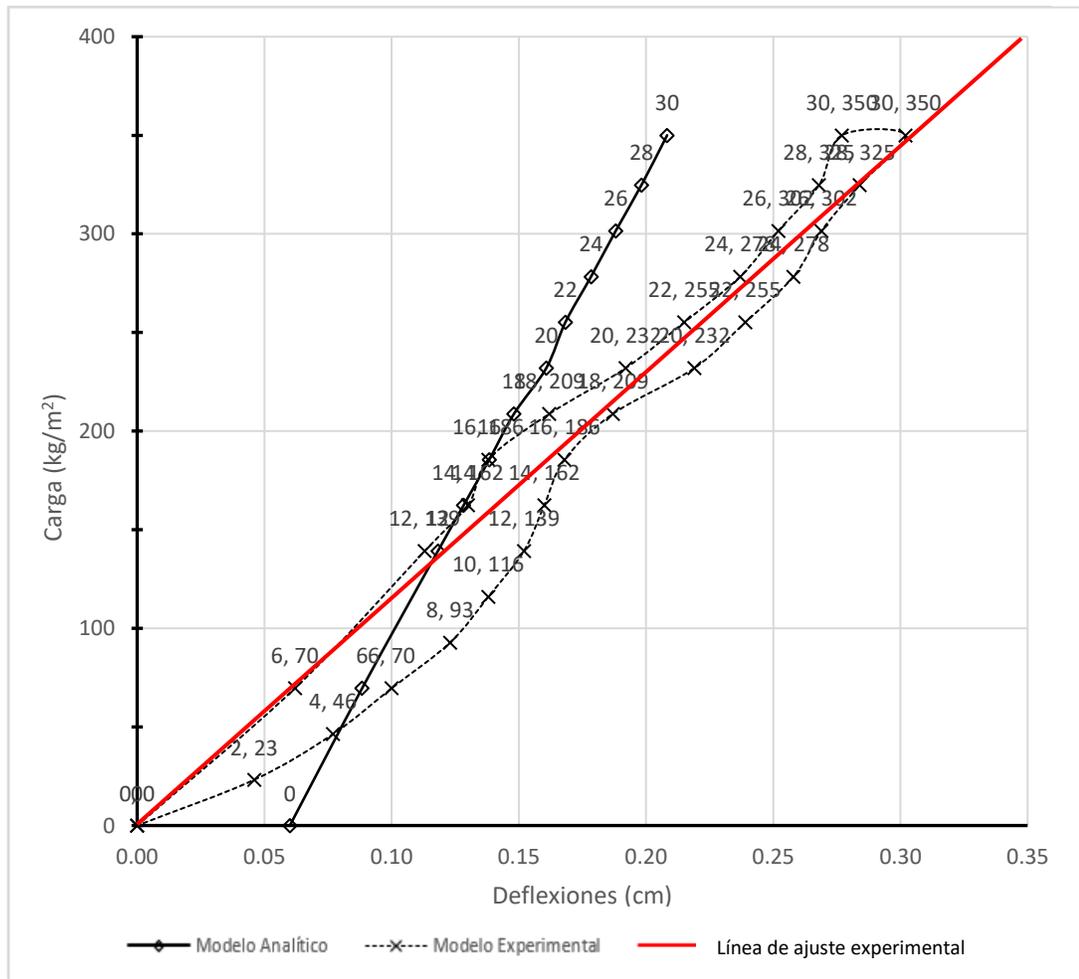


Figura 5.7 Gráfica comparativa comportamiento durante la carga y descarga del modelo analítico vs experimental; para el ensaye carga de servicio mínima (fuente propia 2021).

Como se ilustra en la Figura 5.7 se observa un comportamiento lineal muy similar entre ambos modelos, teniendo una aproximación de del 70% entre la deflexión de la carga total aplicada del modelo experimental y el analítico.

Resultados esperados para la validación.

Para que el modelo experimental se acepte debe cumplir las especificaciones del punto 5.4 de la norma NMX-C-406-ONNCCE-2019:

- a) “La deformación (flecha) inmediata al centro del claro del sistema de losa y para el 100% la carga de servicio no debe exceder de $L/360$; es decir $373/360 = 1.036$ cm”. Se cumple con este punto, dado a que la deflexión máxima registrada fue de 0.298 cm, es decir, solo presenta un 29% de la deflexión permitida.
- b) Antes y durante la etapa de carga no se deben observar grietas o fisuras a flexión o cortante en el sistema de ensayo. Se observaron 5 grietas como lo ilustra la Figura 5.8, las cuales solo están en la capa de acabado del sistema LTM, por lo cual este punto también cumple.

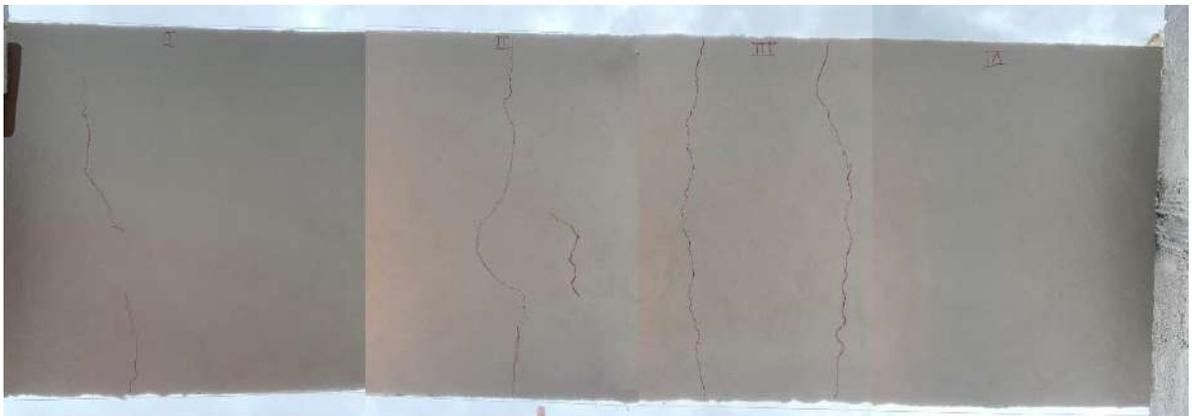


Figura 5.8 Cara inferior de sistema LTM de ensaye, con grietas en acabado, sin daño estructural en el ensaye carga de servicio mínima (fuente propia 2021).

5.3 Deformación y carga máxima debido a: Carga última

Resultados modelo experimental.



Figura 5.9 Modelo experimental con la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

A partir de los lineamientos de norma descritos en capítulo de metodología, con aplicación de carga de servicio aumentada de $W = 644 \text{ kg/m}^2$ y una descarga a 24 hrs como lo ilustra la Figura 5.9; donde se establece que para este ensaye debe tomarse el registro o medición de las deflexiones debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Dado a que se utilizó dos micrómetros para tener más control sobre las pruebas se muestran los resultados del micrómetro que tuvo el comportamiento más estable durante el ensaye, las cuales se muestran en la Tabla 5.5, la gráfica carga distribuida uniforme vs.

deflexión se ilustran en la Figura 5.10; y las lecturas de cada uno de los micrómetros se muestran del anexo 10 al 15.

Tabla 5.5 Lecturas de la carga uniformemente distribuida W aplicada en el ensayo carga última, (fuente propia 2021).

CARGA				DESCARGA			
Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión	Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
	kg	kg/m ²	cm		kg	kg/m ²	cm
0	0	0.0	0	56	2520	649.5	0.737
2	90	23.2	0.027	54	2430	626.3	0.723
4	180	46.4	0.062	52	2340	603.1	0.701
6	270	69.6	0.086	50	2250	579.9	0.672
8	360	92.8	0.11	48	2160	556.7	0.639
10	450	116.0	0.127	46	2070	533.5	0.612
12	540	139.2	0.146	44	1980	510.3	0.581
14	630	162.4	0.157	42	1890	487.1	0.545
16	720	185.6	0.167	40	1800	463.9	0.526
18	810	208.8	0.199	38	1710	440.7	0.507
20	900	232.0	0.232	36	1620	417.5	0.486
22	990	255.2	0.256	34	1530	394.3	0.476
24	1080	278.4	0.28	32	1440	371.1	0.467
26	1170	301.5	0.303	30	1350	347.9	0.434
28	1260	324.7	0.321	28	1260	324.7	0.403
30	1350	347.9	0.332	26	1170	301.5	0.373
32	1440	371.1	0.343	24	1080	278.4	0.34
34	1530	394.3	0.379	22	990	255.2	0.316
36	1620	417.5	0.42	20	900	232.0	0.299
38	1710	440.7	0.446	18	810	208.8	0.288
40	1800	463.9	0.489	16	720	185.6	0.278
42	1890	487.1	0.507	14	630	162.4	0.244
44	1980	510.3	0.528	12	540	139.2	0.207
46	2070	533.5	0.538	10	450	116.0	0.176
48	2160	556.7	0.551	8	360	92.8	0.151
50	2250	579.9	0.589	6	270	69.6	0.132
52	2340	603.1	0.629	4	180	46.4	0.112
54	2430	626.3	0.657	2	90	23.2	0.099
56	2520	649.5	0.687	0	0	0.0	0

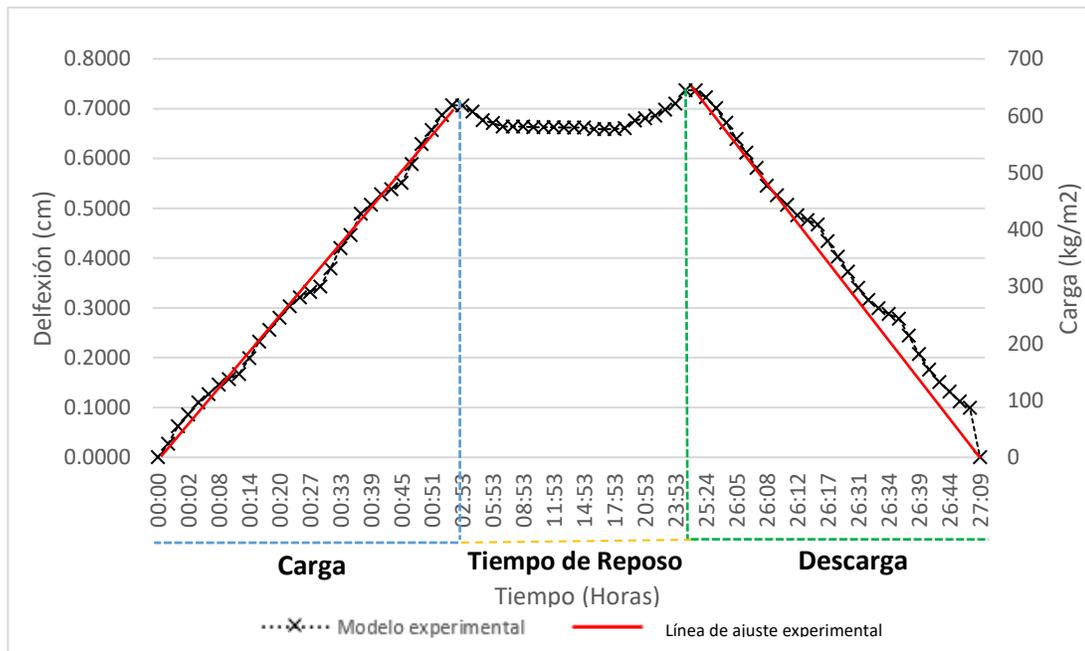


Figura 5.10 Gráfica de la carga uniformemente distribuida y descarga vs deflexión en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

Como se puede observar en la Figura 5.10, el sistema se comporta dentro del rango lineal; además, esto lo podemos comprobar debido a que a la 1er hora con 25 minutos después de retirar la carga total w del modelo experimental recuperó las deflexiones producidas por ésta y regresando el micrómetro a la lectura inicial en cero. Además, de que ningún elemento del sistema LTM de ensaye, así como sus apoyos mostraron algún tipo de daño.

Resultados modelo analítico.

Se realizó la misma prueba utilizando el software SAP2000 de la cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.6; la comparación entre ambas pruebas se ilustra en la Figura 5.11.

Tabla 5.6 Lecturas de carga del modelo analítico en el ensaye carga última, (fuente propia 2021).

CARGA				DESCARGA			
Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión	Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
	kg	kg/m ²	cm		kg	kg/m ²	cm
0	0	0.0	0	30	1350	347.9	0.2083
2	90	23.2	0.0685	32	1440	371.1	0.2181
4	180	46.4	0.0784	34	1530	394.3	0.2281
6	270	69.6	0.0884	36	1620	417.5	0.2381
8	360	92.8	0.0984	38	1710	440.7	0.2473
10	450	116.0	0.1084	40	1800	463.9	0.2538
12	540	139.2	0.1182	42	1890	487.1	0.2694
14	630	162.4	0.1283	44	1980	510.3	0.2753
16	720	185.6	0.1384	46	2070	533.5	0.288
18	810	208.8	0.1481	48	2160	556.7	0.2974
20	900	232.0	0.1608	50	2250	579.9	0.3084
22	990	255.2	0.1683	52	2340	603.1	0.3184
24	1080	278.4	0.1784	54	2430	626.3	0.3254
26	1170	301.5	0.1881	56	2520	649.5	0.3379

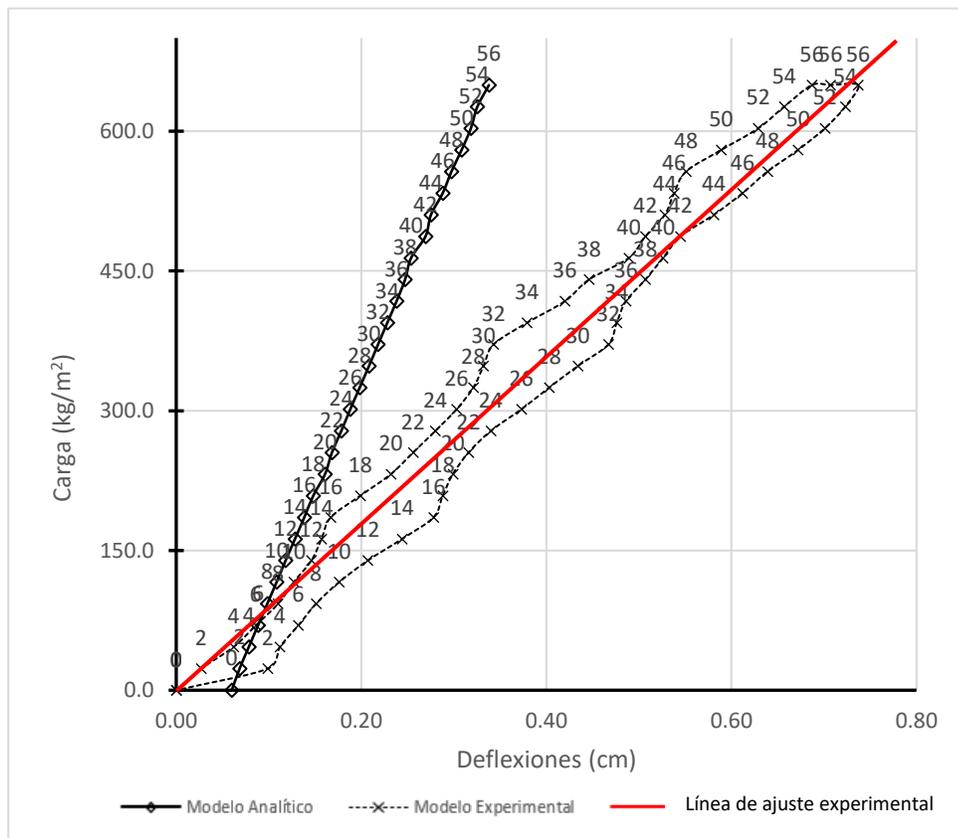


Figura 5.11 Gráfica comparativa comportamiento durante la carga y descarga del modelo analítico vs experimental; para el ensaye carga última (fuente propia 2021).

Como se ilustra en la Figura 5.11 se observa un comportamiento lineal muy similar entre ambos modelos, teniendo una aproximación de del 60% entre la deflexión de la carga W aplicada del modelo experimental y el analítico. Esta diferencia se debe a que el software SAP2000 no considera la deflexión del sistema bajo el efecto de carga sostenida por periodos de tiempo; es decir, lo idealiza como una carga que actúa justo en un instante determinado, pero en la realidad no se comporta de esta manera, dado a que es sometido a cargas dinámicas del personal que sube, camina y descarga los costales para seguir con el procedimiento de prueba.

Resultados esperados para la validación.

Se permite que el modelo experimental sufra agrietamientos por flexión en el sistema estructural y deformaciones mayores a $L/360$, es decir, $373/360 = 1.036$ cm. Sin embargo, no se acepta que el modelo colapse antes de haber aplicado la carga última.

El sistema LMT cumple con estos puntos dado a que su deformación máxima registrada fue de 0.737 cm, es decir 71% de lo permitido por norma; además el modelo experimental no colapsó; sino que, al contrario, se recuperó la deformación presentada al retirar la carga total al final de la prueba. Adicionalmente el sistema LTM no presenta elementos deformados, ni grietas en la capa de compresión; pero si presenta nuevas grietas en la capa de acabado, marcadas en color azul como lo ilustra la Figura 5.12.



Figura 5.12 Cara inferior de sistema LTM de ensaye, con grietas en acabado, sin daño estructural, en el ensaye carga última (fuente propia 2021).

5.4 Comportamiento del sistema, ensaye al colapso

En este ensaye al colapso, no normativo, se decidió realizarlo para conocer con precisión la capacidad total del sistema a la falla, en el cual el sistema pierde estabilidad por las deflexiones continuas en el rango plástico, es decir, sin carga adicional sobre el sistema LTM.

Por lo que, a continuación, se presenta el avance de la gráfica carga uniformemente distribuida vs. deflexión del modelo experimental en 4 etapas o momentos de incrementos de carga hasta que se presentó el colapso del sistema LTM; así como, los resultados de las inspecciones visuales del mismo.

Este ensaye se realizó con cuatro etapas de carga, el resumen de datos de cada una de las etapas se ilustra en la Tabla 5.7. Además, la gráfica carga uniformemente distribuida vs deflexión se ilustra en la Figura 5.13.

Tabla 5.7 Resumen de las cuatro etapas de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

Etapas de carga	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
Rango de costales	0 a 132	132 a 156	156 a 200	200 a 208
Costales	132	24	44	8
Rango de carga	0 a 5940 kg	5940 a 7020 kg	7020 a 9000 kg	9000 a 9360 kg
Carga	5940 kg	1080 kg	1980 kg	360 kg
Rango de carga uniformemente distribuida	0 a 1530.9 kg/m ²	1530.9 a 1809.3 kg/m ²	1809.3 a 2319.6 kg/m ²	2319.6 a 2412.4 kg/m ²
Carga uniformemente distribuida	1530.9 kg/m ²	278.4 kg/m ²	510.3 kg/m ²	92.8 kg/m ²
Rango de deflexión	0 a 1.6208 cm	1.6208 a 3.6105 cm	3.6105 a 14.7947 cm	14.9744 cm a colapso
Deflexión	1.6208 cm	1.9897 cm	11.1842 cm	Colapso
Tiempo de Carga	3.16 horas	0.41 horas	2.12 horas	1 hora
Tiempo de reposo de la Carga	24 horas	48 horas	76 horas	-
Tiempo total	27.16 horas	48.41 horas	78.12 horas	1 hora

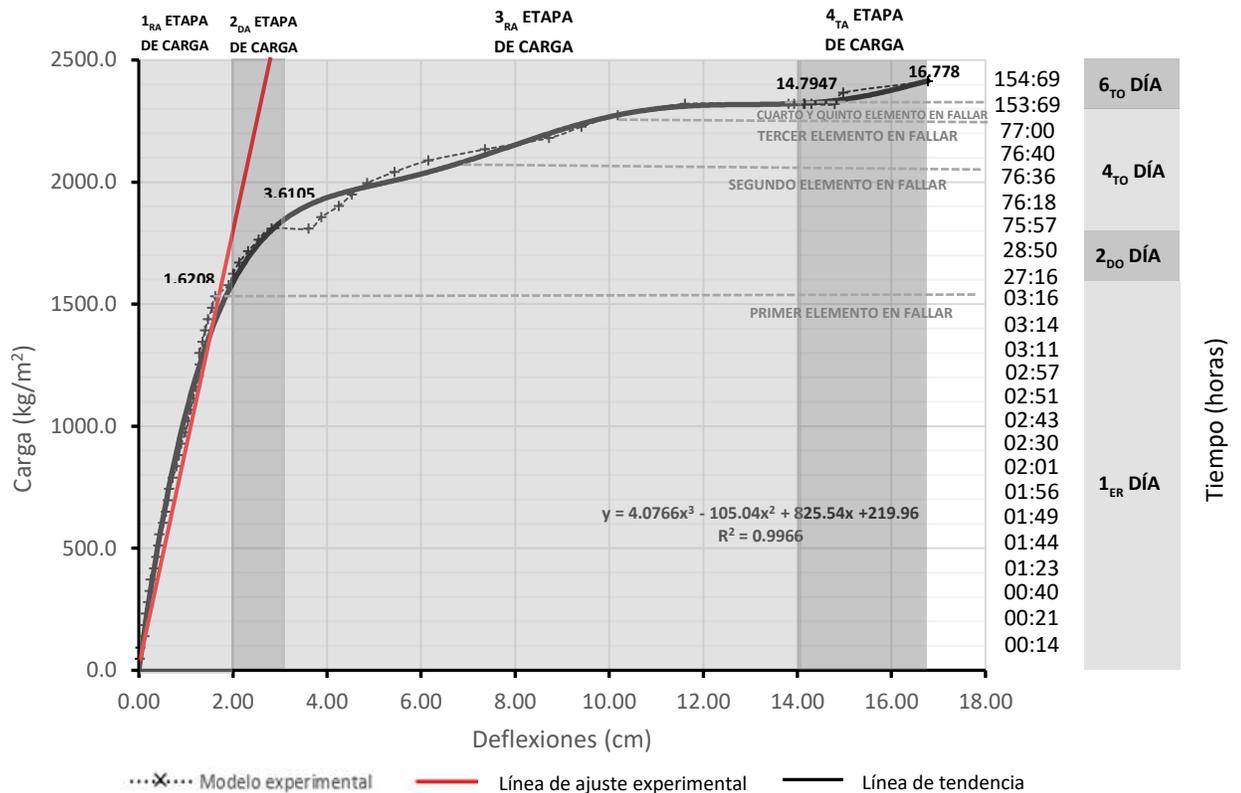


Figura 5.13 Gráfica carga uniformemente distribuida vs deflexión del ensayo al colapso, (fuente propia 2021).

Como se muestra en la Figura 5.13 el sistema LTM deja de estar dentro del comportamiento lineal al término de la primera etapa de carga; esto sucede después de aplicada la carga total de 132 costales o 1530.9 kg/m^2 . En la tercera etapa de carga se observa que se presentan las deflexiones más perceptibles, siendo de 14.7947 cm ; esto ocurre cuando se aplica una carga total de 200 costales o 2319.6 kg/m^2 . El sistema LTM es capaz de soportar esta carga uniformemente distribuida sin colapsar por lo menos 76 horas. Para que el modelo experimental colapse fue necesario aplicar 2412.4 kg/m^2 .

Las lecturas de carga del ensayo al colapso se ilustran en la Tabla 5.8, los formatos completos de las lecturas de carga de este ensayo se encuentran en los anexos 16 al 23 de esta tesis.

Tabla 5.8 Lecturas de carga del modelo experimental del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

Etapa de Carga	Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión	Etapa de Carga	Número de Costales	Carga	Carga uniformemente distribuida	Deflexión
		kg	kg/m ²	cm			kg	kg/m ²	cm
PRIMERA	0	0	0.0	0	PRIMERA	120	5400	1391.8	1.4066
	4	180	46.4	0.0213		124	5580	1438.1	1.4712
	8	360	92.8	0.0342		128	5760	1484.5	1.5564
	12	540	139.2	0.1168		132	5940	1530.9	1.6208
	16	720	185.6	0.1184		136	6120	1577.3	1.9081
	20	900	232.0	0.146	SEGUNDA	140	6300	1623.7	1.9997
	24	1080	278.4	0.1931		144	6480	1670.1	2.129
	28	1260	324.7	0.2304		148	6660	1716.5	2.324
	32	1440	371.1	0.2519		152	6840	1762.9	2.5434
	36	1620	417.5	0.3213		156	7020	1809.3	2.8199
	40	1800	463.9	0.3743	156	7020	1809.3	3.6105	
	44	1980	510.3	0.4109	TERCERA	160	7200	1855.7	3.8758
	48	2160	556.7	0.4337		164	7380	1902.1	4.2504
	52	2340	603.1	0.5156		168	7560	1948.5	4.5291
	56	2520	649.5	0.5734		172	7740	1994.8	4.8499
	60	2700	695.9	0.6147		176	7920	2041.2	5.4341
	64	2880	742.3	0.6419		180	8100	2087.6	6.1551
	68	3060	788.7	0.7149		184	8280	2134.0	7.3583
	72	3240	835.1	0.8004		188	8460	2180.4	8.7171
	76	3420	881.4	0.8507		192	8640	2226.8	9.4128
80	3600	927.8	0.9006	196		8820	2273.2	10.1829	
84	3780	974.2	0.9861	200	9000	2319.6	11.6096		
88	3960	1020.6	1.0439	200	9000	2319.6	13.8095		
92	4140	1067.0	1.0957	200	9000	2319.6	13.9306		
96	4320	1113.4	1.1538	200	9000	2319.6	14.1328		
100	4500	1159.8	1.2101	200	9000	2319.6	14.1577		
104	4680	1206.2	1.2701	200	9000	2319.6	14.2995		
108	4860	1252.6	1.2924	200	9000	2319.6	14.7947		
112	5040	1299.0	1.2848	CUARTA	204	9180	2366.0	14.9744	
116	5220	1345.4	1.3512		208	9360	2412.4	16.778	

A continuación, se ilustran los daños que sufrió el sistema LTM en cada etapa de carga:

- a) Primera etapa de carga (132 costales, incremento de 5940 kg, 1530.9 kg/m²).

Modelo experimental.

Entre la 9na y 10a hr de reposo de la primera etapa de carga se presentan los primeros elementos de la estructura interna del sistema que han fallado a compresión como lo muestra la Figura 5.14, esto sucede cuando se presenta una deflexión de 1.6001 cm.



Figura 5.14 Primer elemento que falla a compresión en la primera etapa de carga del ensayo al colapso, (fuente propia 2021).

Aparte del anterior elemento con pandeo, no hay otro elemento estructural o bien en general el modelo experimental no ha sufrido otros daños, ni presenta una deformación que sea perceptible al ojo humano, como lo ilustra la Figura 5.15.



Figura 5.15 Vista lateral del modelo experimental al terminar la primera etapa de carga del ensayo al colapso, (fuente propia 2021).

Modelo analítico.

Comparando el comportamiento del modelo experimental contra el con el software SAP2000 podemos observar que marca el mismo elemento como crítico como lo ilustra la Figura 5.16 encerrado en el círculo.

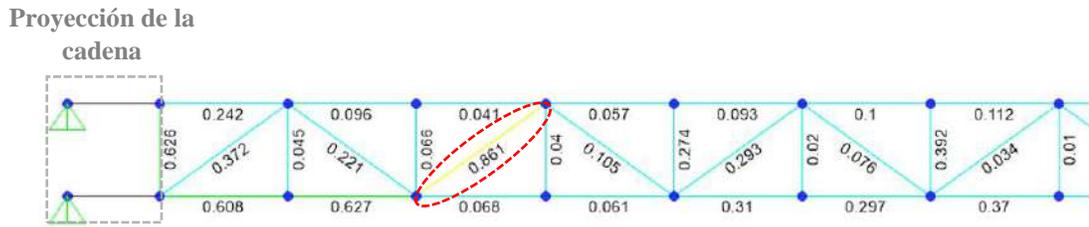


Figura 5.16 Vista lateral del modelo analítico en la primera etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

- b) Segunda etapa de carga (156 costales, incremento de 1080 kg, 278.4 kg/m²).

Modelo experimental.

Como se aprecia en la Figura 5.13 el modelo experimental se encuentra fuera del rango lineal desde el inicio de esta etapa de carga; esto se hace evidente ya que se observó que los mismos elementos con falla a compresión de la etapa anterior ahora presentan deformaciones más perceptibles, como lo ilustra la Figura 5.17. Además, el modelo experimental presenta deflexiones que son perceptibles a simple vista, como lo ilustra la Figura 5.18.



Figura 5.17 Elementos con falla a compresión en la segunda etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).



Figura 5.18 Vista lateral del modelo experimental en la segunda etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

c) Tercera etapa de carga (200 costales, incremento de 1980 kg, 510.3 kg/m²).

Modelo experimental.

Al cargar el costal numero 184 o 8280 kilos y 7.3583 cm de deflexión, la capa de terminado del modelo experimental colapsó debido al sistema de anclaje que se empleó, como se ilustra en la Figura 5.19; siendo este el segundo elemento en fallar. Se recomienda solo el uso de alambre de acero galvanizado para no presentar este tipo de falla.



Figura 5.19 Vista lateral del modelo experimental en la tercera etapa de carga del ensaye hasta el colapso, (fuente propia 2021).

Al aplicar la carga total de 200 costales, ambos apoyos del modelo experimental presentan grietas por giro como lo ilustra la Figura 5.20; además, presentó grietas en la capa de compresión como lo ilustra la Figura 5.21, siendo este el tercer elemento a fallar.



Figura 5.20 Grietas debidas a la rotación en apoyos que se presentan en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).



Figura 5.21 Grietas en la capa de compresión en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

Entre la 2da y 3ra hora de reposo de la tercera etapa de carga de este ensaye la capa de compresión se separa de los pernos de sujeción, esto cuando presenta una deflexión de 13.8095 cm, siendo este el cuarto elemento en fallar; como lo ilustra la Figura 5.22 a). Además, se presenta el quinto elemento en fallar; siendo una barra que se desprende de la armadura del sistema LTM; esto sucede entre la 4ta y 5ta hora de reposo de esta etapa de carga, cuando presenta 14.1328 cm de deflexión, como se ilustra en la Figura 5.22 b).



Figura 5.22 a) Pernos de sujeción visibles, b) quinto elemento en fallar del sistema LTM en la tercera etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

d) Cuarta etapa de carga (208 costales, incremento de 360 kg, 92.8 kg/m²).

Modelo experimental.

A los pocos minutos de que se cargó el costal número 208 o 2412.4 kg/m² un elemento del centro del sistema LTM falló; siendo este el sexto elemento en fallar, como lo ilustra la Figura 5.23; en ese instante el modelo experimental presenta una deflexión de 16.778 cm.



Figura 5.23 Elemento con falla al centro del sistema LTM de la cuarta etapa de carga del ensayo al colapso, (fuente propia 2021).

Unos instantes después se presenta el colapso del modelo experimental como lo ilustra la Figura 5.24; la cual muestra el daño sobre la capa de compresión del sistema LTM al momento de colapso y más elementos que presentan falla por pandeo.

Este ensaye al colapso tuvo una duración total de 154. 69 horas, donde el comportamiento más crítico del sistema se presentó a partir del inicio de la cuarta etapa de carga.



Figura 5.24 Colapso del modelo experimental en la cuarta etapa de carga del ensaye al colapso, (fuente propia 2021).

5.5 Precio unitario

A continuación, se presenta el precio unitario del sistema tridilosa modular, incluye el desglose de materiales y mano de obra; así como una comparación con los sistemas análogos

más empleados en la construcción de casas de interés social en México; losa maciza y losa de vigueta y bovedilla.

Tabla 5.9 Precio Unitario de los sistemas de losa más empleados en el país a la fecha de octubre 2021, (fuente propia 2021).

Clave	Imagen de referencia	Descripción	Unidad	Precio Unitario
LTM		largo y 0.50 m de ancho, con 2 PTR y 2 tramos de varilla del #3. Capa de compresión de espesor 5 cm de concreto de 250 kg/cm ² , agregado de 20 mm revenimiento hasta 14 +- 3.5 cm, hecho en obra y vertidos con medios manuales. Reforzada con malla electrosoldada 66-1010. Incluye: cimbra, armados, descimbrados, mano de obra y equipo.	1 m ²	\$ 1,285.54
LMZ		Losa maciza de concreto 250 Kg/cm ² agregado de 20 mm, revenimiento 8 a 10 cm., espesor de 12 cm, hecho en obra y vertidos con medios manuales. Armado a ambos sentidos con vsr #3 a cada 20 cm, colado a un nivel. Incluye: cimbra, armados, descimbrados, mano de obra y equipo.	1 m ²	\$ 1,627.85
LVB		Losa de vigueta y bovedilla de 25 cm de espesor con vigueta presforzada de alma llena con 15 cm de altura y 20 cm de base, bovedilla de concreto de altura de 20 cm, largo de 50 cm y ancho de 20 cm; distancia entre ejes de 70 cm. Capa de compresión de espesor 5 cm de concreto de 250 kg/cm ² , agregado de 20 mm revenimiento hasta 14 +- 3.5 cm, hecho en obra y vertidos con medios manuales. Incluye: cimbra, armados, descimbrados, mano de obra y equipo.	1 m ²	\$ 1,584.31

La Tabla 5.9 ilustra el precio unitario de los sistemas de losa más empleados en el país para la construcción de casas habitación. La Tabla 5.10 muestra la explosión de insumos para el sistema LTM; la Tabla 5.11 muestra la explosión de insumos para el sistema de losa maciza y La Tabla 5.12 muestra la explosión de insumos del sistema de vigueta y bovedilla.

Tabla 5.10 Explosión de insumos del sistema LTM a la fecha de octubre 2021, (fuente propia 2021).

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo		Total	%
				Unitario			
Materiales							
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
Mano de Obra							
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
				TOTAL POR M2:	\$	1,285.54	

Tabla 5.11 Explosión de insumos del sistema de losa maciza a la fecha de octubre 2021, (fuente propia 2021).

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo		Total	%
				Unitario			
Materiales							
CN2500B	Concreto 250 kg/cm2, agregado de 20mm	m3	0.12	\$ 2,222.15	\$	266.66	16.38
ACEL-001	Alambre recocido calibre 18	kg	0.4	\$ 38.90	\$	15.56	0.96
ACCH-03	Acero de refuerzo #3, varilla corrugada, fy=4200 kg/cm2	kg	6.8	\$ 29.90	\$	203.32	12.49
CIM-001	Cimbra en losas y trabes, acabado común	m2	1	\$ 615.61	\$	615.61	37.82
ACEL-011	Clavo con cabeza 2 1/2" a 4"	kg	0.572	\$ 63.25	\$	36.18	2.22
Mano de Obra							
MOCU-005	Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil + 1 Peon)	jor	0.06055	\$ 1,651.50	\$	100.00	6.14
MOCU-003	Cuadrilla; Carpintería obra negra (1 Carpintero + 1 Ayudante)	jor	0.12	\$ 1,671.00	\$	200.52	12.32
MOCU-004	Cuadrilla; Acero de refuerzo (1 Fierro + 1 Ayudante)	jor	0.16203	\$ 1,172.63	\$	190.00	11.67
				TOTAL POR M2:	\$	1,627.85	

Tabla 5.12 Explosión de insumos del sistema losa de vigueta y bovedilla a la fecha de octubre 2021, (fuente propia 2021).

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo			%
				Unitario	Total		
Materiales							85.85
AACE-0255	Malla electrosoldada 6x6-10/10	m2	1.15	\$ 18.50	\$ 21.28		1.34
BOV-209	Bovedilla de concreto	pza	8	\$ 46.00	\$ 368.00		23.23
VP-094	Vigeta presforzada	pza	2.43	\$ 175.50	\$ 426.47		26.92
ACEL-001	Alambre recocido calibre 18	kg	0.38	\$ 38.90	\$ 14.78		0.93
CIM-002	Cimbra en losas vigueta y bovedilla, acabado común	m2	1	\$ 305.00	\$ 305.00		19.25
CN250OB	Concreto 250 kg/cm2, agregado de 20mm	m3	0.09	\$ 2,222.15	\$ 199.99		12.62
ACEL-011	Clavo con cabeza 2 1/2" a 4"	kg	0.39	\$ 63.25	\$ 24.67		1.56
Mano de Obra							14.15
MOCU-005	Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.075	\$ 1,651.50	\$ 123.86		7.82
MOCU-003	Cuadrilla; Carpintería obra negra (1 Carpintero + 1 Ayudante)	jor	0.06	\$ 1,671.00	\$ 100.26		6.33
				TOTAL POR M2: \$ 1,584.31			

Como se ilustra en las tablas anteriores el sistema LTM muestra un ahorro considerable de madera para cimbra; al estar basado en módulos de bajo peso este puede ser colocado con facilidad por dos personas, resaltando que no es necesario el volumen de cimbra de los sistemas análogos para confinar el concreto. Esto la convierte en un sistema más económico, ecológico y eficiente.

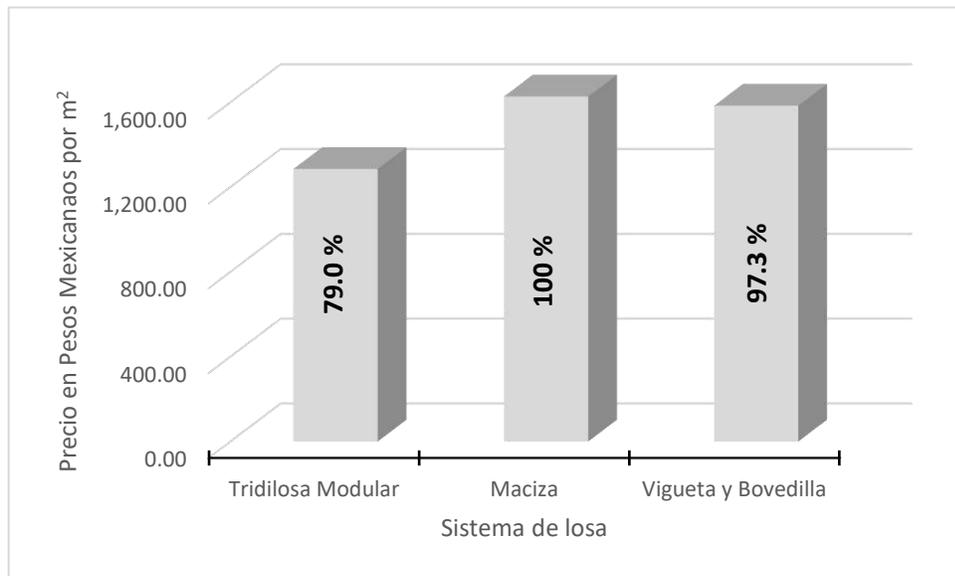


Figura 5.25 Gráfica comparativa de precios de los 3 tipos de losas, (fuente propia 2021).

La Figura 5.25 ilustra la comparación de costo directo entre estos tres tipos de losas de una manera gráfica, donde con respecto a la losa maciza el sistema LTM es un 21.03% más económica y, a su vez el sistema LTM es más económica con respecto al sistema de vigueta y bovedilla en un 18.35%. Su gran diferencia de precio se centra en una menor cantidad de madera para cimbra, mano de obra y volumen de concreto como lo muestra la Figura 5.26.

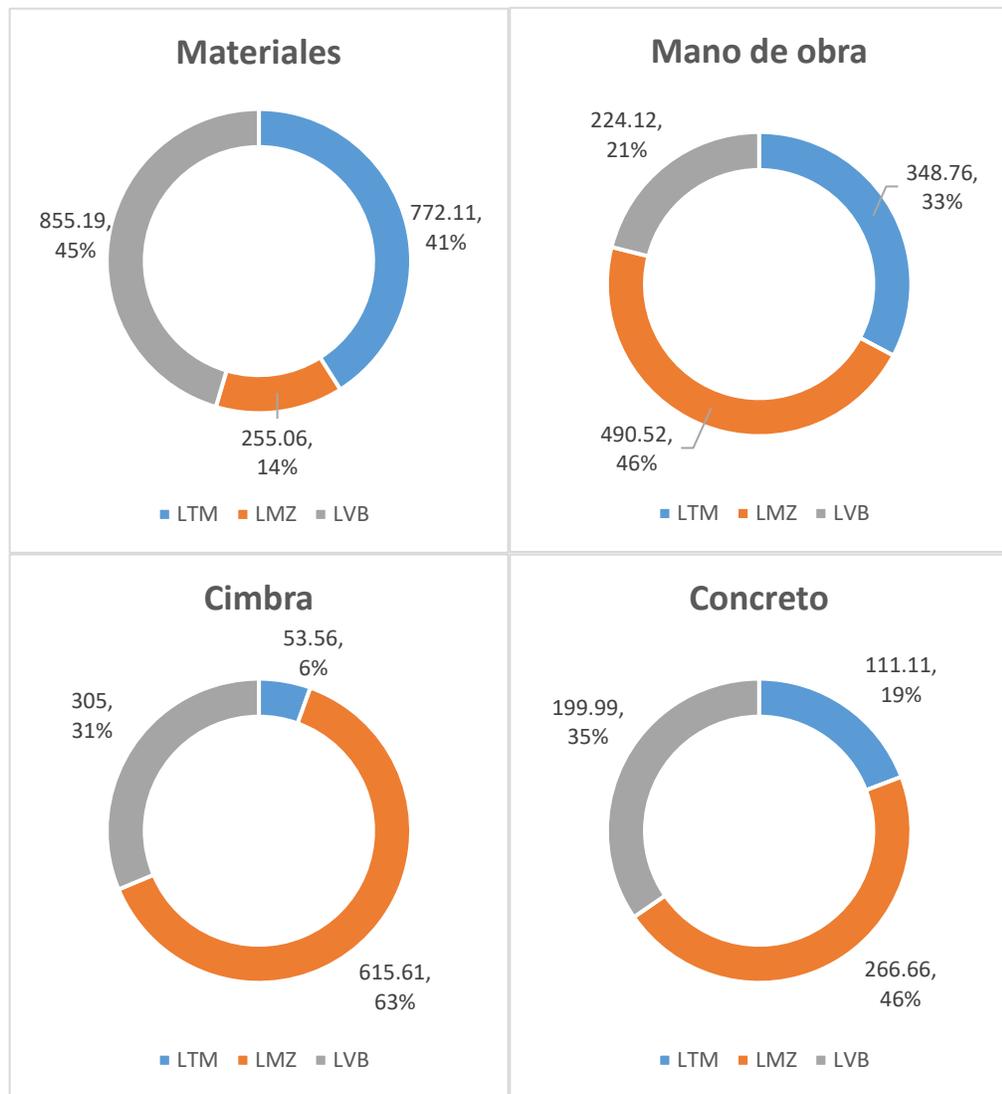


Figura 5.26 Gráfica comparativa del análisis del precio unitario de los 3 tipos de losas, (Fuente propia, 2021).

6. CONCLUSIÓN

El Sistema LTM propuesto mostró un buen comportamiento estructural según normatividad vigente NMX-C-406-ONNCCE-2019, donde:

1) Resistencia a flexión bajo una carga puntual:

La deflexión permitida para esta prueba es de 1.24 cm, pero el sistema solo presentó una deflexión de 0.247 cm; es decir solo un 20% de la deflexión permitida; lo que hace que cumpla norma NMX-C-406-ONNCCE-2019.

2) Deformación y carga máxima debido a:

2.1 Carga de servicio mínima:

La deflexión permitida para esta prueba es de 1.036 cm, pero el sistema solo presentó una deflexión de 0.298 cm; es decir un 29% de la deflexión permitida.

2.2 Carga última:

Esta prueba permite una deflexión mayor a 1.036 cm, pero no se acepta el modelo experimental que colapse ante la carga establecida. El sistema no solo no colapso si no que presentó una deflexión de 0.737 cm; es decir, un 71% de la deflexión admisible.

Además, de acuerdo con NTC-CDMX-2017 la deflexión permisible es de $L/240$, es decir 1.138 cm; para que el sistema tridilosa modular presente esa deflexión es necesario aplicarle 4,140 kg de carga, donde podemos concluir que:

1) Factor de seguridad, se deduce como:

$$Factor\ Seguridad = \frac{4,140\ kg}{[(cm + cv) * m^2]} = \frac{4,140}{2,188.32} = 1.89 \quad (6.1)$$

El resumen de los resultados obtenidos de los tres ensayos normativos y de su comportamiento a la falla se ilustran en la Tabla 6.1

Tabla 6.1 Resumen de resultados de las pruebas ONNCCE y NTC 2017 al sistema LTM, (fuente propia, 2021).

Concepto	Deflexión Permitida	Deflexión Presentada	Conclusión	Deflexión m. analítico SAP2000
a) NMX-C-406-ONNCCE-2019				
1. Resistencia a flexión bajo una carga puntual	1.24 cm	0.247 cm	CUMPLE	0.188 cm
2. Deformación y carga máxima debido a:				
2.1 Carga de Servicio mínima	1.036 cm	0.298 cm	CUMPLE	0.2083 cm
2.2 Carga última	1.036 cm	0.737 cm	CUMPLE	0.3379 cm
	No colapse	No colapsó	CUMPLE	
Concepto	Factor de Seguridad		Conclusión	
b) NTC -2017				
1. Factor de Seguridad	1.89		CUMPLE	

En conclusión, los resultados confirman que lo que rige el diseño del sistema LTM contra normatividad es la condición de servicio con base en la deflexión permisible de 1.036cm contra la deflexión presentada de 0.977cm dentro del ensaye de carga última, dejando de lado la capacidad resistiva del sistema LTM, la cual está bien respaldada la seguridad estructural con un factor de 1.89. Sin embargo, la condición de deflexión en este ensaye no es una restricción como lo es en el ensaye de carga de servicio mínima (deflexión permisible de 1.036cm vs deflexión presentada de 0.298), lo que nos permite en lo futuro refinar el sistema estructural.

Por otro lado, recordando que, dentro de los ensayos, se hizo un cuarto ensayo “Carga al Colapso”, con el objetivo de conocer cuánto realmente soporta el sistema LTM al colapso. Los resultados se ilustran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Resumen de resultados del ensayo al colapso del sistema LTM, (fuente propia, 2021).

Concepto	Carga Uniformemente Distribuida	Deflexión Presentada
a) Comportamiento del sistema, ensayo al colapso:		
1. Comportamiento de sistema en el rango lineal durante el ensayo deformación y carga máxima debido a: Carga última (deflexión permisible por norma).	649.5 kg/m ²	0.737 cm
2. Comportamiento de sistema deja de ser lineal, se presentan los primeros elementos con falla a compresión.	1,530.9 kg/m ²	1.6208 cm
3. Deformaciones perceptibles a simple vista.	1,809.3 kg/m ²	3.6105 cm
4. Segundo elemento en fallar: colapso de la capa de terminado.	2,134.0 kg/m ²	7.3583 cm
5. Tercer elemento en fallar: grietas en la capa de compresión.	2,319.6 kg/m ²	11.6096 cm
6. Cuarto elemento en fallar: pernos de sujeción visibles en la capa de compresión.	2,319.6 kg/m ²	13.8095 cm
7. Quinto elemento en fallar: falla por fluencia.	2,319.6 kg/m ²	14.1328 cm
8. Sexto elemento en fallar: falla por fluencia.	2,412.4 kg/m ²	16.778 cm
9. Colapso del sistema LTM.	2,412.4 kg/m ²	16.778 cm

Finalmente, se destaca que el sistema LTM propuesto mostró varias ventajas que los sistemas de losas tradicionales no tienen como:

- 1) Sistema principal de acero estructural prefabricado (rápido de emplear),
- 2) Costo competitivo económicamente,
- 3) Ligero,
- 4) Fácil montaje,
- 5) Gran durabilidad,
- 6) Gran ductilidad, y
- 7) Resistencia óptima.

El primer punto apoya un ahorro considerable de tiempo en el proceso constructivo en obra; en el segundo punto, el acero empleado es del orden de un sistema tradicional de losa de concreto, pero éste es prefabricado y por tanto hay ahorro en mano de obra.

En el tercer y cuarto punto, el sistema de losa, por módulo, pesa 37.5 kg, lo cual puede ser montado por una sola persona en obra. Esto presenta un ahorro considerable de mano de obra y ahorro de tiempo en la edificación. El quinto punto, el sistema presenta gran durabilidad ante la corrosión con tiempo mínimo de durabilidad de 50 años expuesto a la intemperie (el sistema no estará del todo en la intemperie sino protegido por los acabados, lo cual alarga aún más su vida). El sexto punto refiere a lo comprobado durante la cuarta etapa de carga en el ensaye al colapso; el sistema LTM demostró ser capaz de resistir deformaciones excesivas antes de colapsar, esto nos habla de un alto nivel de seguridad para el usuario a diferencia de otros sistemas de losa donde la falla frágil se produce después de 5 cm de deflexión, como lo ilustra la Figura 6.1.

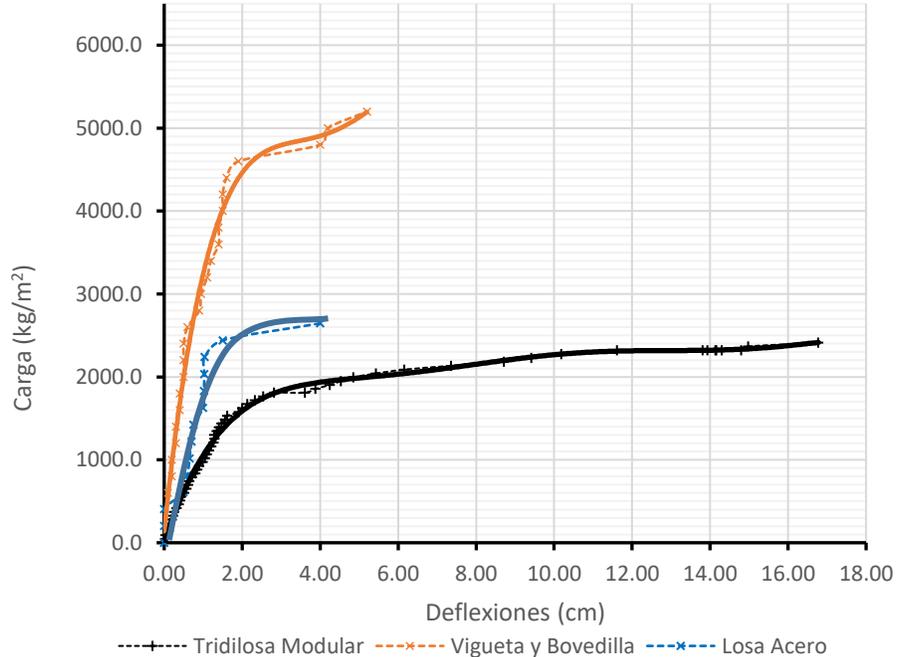


Figura 6.1 Gráfica Carga vs deflexión comparativa del STM vs sistemas análogos, (Fuente propia, 2021).

Y, finalmente el séptimo punto hace referencia a que el sistema LTM tiene la resistencia óptima para soportar las cargas requeridas por la normativa mexicana, algo que sus sistemas análogos no presentan; debido a que estos duplican o triplican su capacidad resistiva en algunos casos este punto, lo que hace que el usuario pague costos excesivos en estas losas tradicionales.

Referente al diseño sísmico, dado a que el sistema esta pensado para casas habitación de interés social, que son edificaciones de poca altura las fuerzas inerciales por combinaciones accidentales se desprecian, debido a su rigidez estructural y sus pequeños periodos de vibración; en cambio, el factor que rige en su diseño es la combinación gravitacional el cual se expone en este trabajo de investigación.

Alusivo a las fuentes de incertidumbre del sistema LTM, se recomienda tener un cuidado exhaustivo al momento de soldar las barras de refuerzo de 3/8" al perfil tubular rectangular de 1x1" debido a que puede presentarse una deflexión producida por el calor que emana el aporte del proceso de soldadura; también se recomienda el uso de alambre galvanizado de calibre 20 para amarrar de manera adecuada la malla de arnero galvanizada que da soporte a la capa de acabado. Además, apeándonos a los criterios de dimensionamiento establecidos por el Ing. Heberto Castillo para el sistema tridilosa en grandes claros se obtuvo resultados favorables, como se demostró en el punto b) de la tabla 6.1, el sistema cumple con todos los requerimientos solicitados por la normativa mexicana ofreciendo un factor de seguridad de 1.89, pero es factible proponer una distancia mayor entre pilas del modulo para ofrecer un ahorro considerable del material; así como la implementación de manufactura automatizada para ofrecer este sistema ya prefabricado en cualquier casa de materiales del país.

Con lo anterior, podemos tener una visión en la fabricación en serie del sistema LTM, que, con ello, aún más se pueden reducir costos y comenzar un uso común dentro del rubro de la vivienda mexicana y en otros países.

7. BIBLIOGRAFÍA

Lesur Esquivel, L. (2008). *Manual De Recubrimientos Metálicos*. Ciudad de México: Trillas.

Amaya Astudillo, T. E., & Galindo Bacuilima, B. J. (2015). *Análisis del comportamiento y aplicación de las losas Bubbledeck*. Cuenca, Morelos, México: Universidad de Cuenca.

Babafemi, A. J., Akinola, O. T., Kolawole, J. T., Paul, S. C., & Miah, M. J. (2020). Resistance to temperature and humidity changes of CTS slab system. *Magazine of Civil Engineering*, 155-171.

Benítez Páez, L. (2016). *Manual de diseño y calculo estructural de losa prefabricada Bubbledeck*. Atizapan de Zaragoza, México: DANSTEK.

Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2014). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. *EAFIT*, 50-64.

Castillo Juárez, A. H. (1964). Estructura tridilosa para grandes claros. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14-23.

Castillo Martínez , H. (2016). Estructura tridilosa. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 6-10.

Clemente Chavez, A., Chávez Alegría, O., Figueroa Soto, Á., Sotero Mendoza, C., Zúñiga Dávila Madrid, F. R., & García Rico, E. (2016). Ensayo de un sistema de losa: vigueta y bovedilla; revision para un diseño optimizado en contribución a reducir déficit de vivienda en México. *Sociedad Mexicana de Ingenieria Estructural*, 13-19.

CONACYT. (14 de Marzo de 2020). *Gobierno de México*. Obtenido de Programas Nacionales Estratégicos:
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/aproot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D4_CYT/D4_CYT00/D4_R_CYT00_04.htm

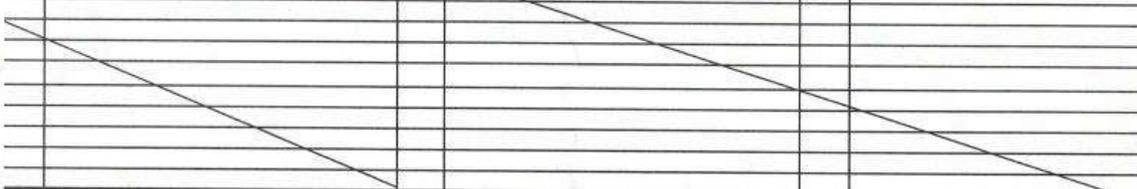
- Coordinadora SFS México SA de CV. (2018). Descripción de resultados y proceso de constructivo para prueba de carga en tamaño real, para losa de sistema de entrespiso SFS. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 7-14.
- Cruz Medina, D. (2014). Paneles prefabricados ecológicos. *ITESM Engineering*, 27-35.
- Frei, O., & Solís Ávila, L. F. (1985). Tridilosa application in Mexico. *HANNOVER*, 234-241.
- García Fonseca, S. (1999). Propuesta de Infraestructura Básica para la Investigación en Vivienda. *ITESM Engineering*, 21-26.
- González Cuevas, Ó. M., & Fernández Villegas, F. R. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México: Limusa.
- González Meza, E., & Anaya Díaz, J. (2016). *Estructuras de retícula triangular. Transformaciones constructivas de las edificaciones*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Gutiérrez Yoza, D. F., & Vergara Tobar, E. X. (2018). *Optimización de Recursos en la Construcción de una Losa mediante el Sistema Cobiax*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Hernandez Chamalé, G. E. (2017). *Diseño de losas de vigueta y bovedilla no preesforzadas*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- INEGI. (2018). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0200>
- Loosemore, M. (2015). *Construction Innovation: Fifth Generation Perspective*. San Diego, California, United States: American Society of Civil Engineers.
- Luttrell, L. D. (2013). Deeper Steel Deck and Cellular Diaphragms. *Steel Deck Institute*, 40-59.
- Marín Ávila, J. J., & Reynoso Miranda, R. (1998). Sistemas de Vivienda de Rápida Construcción Termodomo. *ITESM Engineering*, 30 -36.

- Mc Cormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero*. Ciudad de México: Alfaomega.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2016). *Desing of reinforced concrete*. Pasadena, California, United States: Wiley.
- Meli Piralla, R. (2000). *Diseño Estructural*. Ciudad de México: Limusa.
- Mrinank, P., & Manjesh, S. (2016). Analysis of Bubble Deck Salb Desing by Finite Element Method. *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering*, 599-606.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Novidesa. (02 de Septiembre de 2012). *Novidesa sistemas avanzados para la construccion*. Obtenido de <http://www.novidesa.com.mx/?pag=productos&vlr=Makros>
- NTC. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. Ciudad de México: NTC.
- Ochoa Ramirez, J. A., Lamy, B., & Serrano Sánchez , A. (2019). Migración interna y sus efectos de crecimiento urbano en América Latina. *Revista de Estudios Territoriales*, 9-14.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2019). *NMX-C-406-ONNCCE-2019*. Ciudad de México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- Politodo. (2013). *Manual de instalación de losas tipo semivigueta o vigueta de alma abierta*. Silao, Guanajuato, México: Politodo.
- PREMEX. (2017). *Aplicación de prefabricados de concreto en arquitectura*. Tizayuca, Hidalgo, México: Presforzados Mexicanos de Tizayuca, S.A. de C.V.
- Sanabria Ceja, H., & Castillo Martínez, J. (2010). El sistema tridilosa a través del tiempo . *Academia XXII*, 37-47.

- Solís Ávila, L. F. (1985). Principios estructurales de la arquitectura Mexicana . *2G - Revista Internacional de Arquitectura*, 65-71.
- Souza Aredon, E., Salet, T., & Kanuff, P. (2019). Milestone House. *Magazine of Civil Engineering*, 78-90.
- VigaAcero. (2018). *Manual de instalación, sistema de losa aligera con vigetas de acero*. Lima, Perú: VigaAcero.
- Walker, J. B. (2001). Landscape Architecture and Sustainable Development. *Virginia Tech*, 72-78.
- Yeomans, F. S., Reynoso Miranda, R., & Marín Ávila, J. J. (2000). Sistemas de Vivienda de Rápida Construcción. *ITESM Engineering*, 19-27.

8. ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calidad baño inmersión en caliente.

	Circuito Balvanera No. 5, Correg., Qro., C.P. 76920, RFC GAL0510117Y4, Parque Indust. Balvanera Tels: 2950450 y FAX:2950451	<h2 style="margin: 0;">CERTIFICADO DE CALIDAD</h2> <p style="margin: 5px 0 0 0;">CONSTANCIA DE CALIFICACION DE PROVEEDOR LAPEM(CFE) NO. 202/14</p> <p style="text-align: right; font-size: small;"> Hoja: 1 de 1 Fecha: 10-abr-21 </p> <p style="font-size: x-small;"> GALVAQRO DEL GRUPO SISTTEMEX S.A. DE C.V. CERTIFICA QUE LOS MATERIALES INDICADOS EN LA DESCRIPCIÓN DE ESTE DOCUMENTO, CUMPLEN CON LOS REQUISITOS ENUNCIADOS EN LAS NORMA NACIONAL NMX-H-004-SCFI-2008, Y EXTRANJERAS ASTM A-123 PARA MATERIAL ESTRUCTURAL Y ASTM A 153 PARA MATERIAL CENTRIFUGADO; E SO 1461, DICHSO MATERIALES FUERON TRABAJADOS Y GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE POR NUESTRO PERSONAL EN NUESTRAS INSTALACIONES. </p>				
Cliente: TRANSFORMA ACERO						
CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	
2	ESTRUCTURA DE PTR Y VARILLA A GALVANIZAR					
<div style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); opacity: 0.5; pointer-events: none;">  </div>						
Alcance: Este certificado ampara las Orden(es) y/o remisión(es)						
O.T. Interna No. : 15327						
Orden Cliente No. : 1455						
Muestreo		Espesor (micras)			Características	
No. De Parte	Probeta	No. de lecturas	Promedio	Requerido	Apariencia	Acabado
ESTRUCTURAS	1	5	81	65	CONFORME	CONFORME
	2	5	83	65	CONFORME	CONFORME
	3	5	99	65	CONFORME	CONFORME
Equipos Utilizados: Medidor magnético de espesores, POSITECTOR 6000 No. 357803						
Reportes de análisis:	076/21					
Detalle-Muestra del producto (no obligatorio)						


 ING. VICTOR R. JORDAN MONTAÑO
 Nombre y firma
 Aseguramiento de Calidad

POGAL-05-08 Rev. 02

Anexo 2. Registro de prueba de carga: Resistencia a flexión bajo una carga puntual.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 13/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: RESISTENCIA A FLEXIÓN BAJO UNA CARGA PUNTUAL HORA: 12:40 p.m.
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI HOJA : 1 DE 1

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento mm	Acumulada mm	
13/AGO/2021	12:40 p.m.	0	0	0	0	La lectura referenciada con el hilo al centro del claro es de 5.5 cm
13/AGO/2021	12:45 p.m.	1	74	0	0	
13/AGO/2021	12:48 p.m.	2	119	0.09	0.09	
13/AGO/2021	12:50 p.m.	3	164	0.17	0.08	
13/AGO/2021	12:55 p.m.	4	209	0.195	0.025	
13/AGO/2021	12:57 p.m.	5	254	0.273	0.078	
13/AGO/2021	01:02 p.m.	6	299	0.465	0.192	
13/AGO/2021	01:03 p.m.	7	344	0.551	0.086	
13/AGO/2021	01:05 p.m.	8	389	0.79	0.239	
13/AGO/2021	01:07 p.m.	9	434	1.058	0.268	
13/AGO/2021	01:08 p.m.	10	479	1.24	0.182	
13/AGO/2021	01:09 p.m.	11	524	1.32	0.08	
13/AGO/2021	01:10 p.m.	12	569	1.5	0.18	
13/AGO/2021	01:11 p.m.	13	614	1.613	0.113	
13/AGO/2021	01:12 p.m.	14	659	1.851	0.238	
13/AGO/2021	01:13 p.m.	15	704	2.15	0.299	
13/AGO/2021	01:14 p.m.	16	749	2.32	0.17	
13/AGO/2021	01:15 p.m.	17	800	2.35	0.03	Despues de 10 mn la lectura fue de 2.33 mm
						La lectura referenciada con el hilo al centro del claro al terminar la prueba es de 5.2 cm

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento.

Anexo 3. Registro de prueba de carga: Resistencia a flexión bajo una carga puntual.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 13/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: RESISTENCIA A FLEXIÓN BAJO UNA CARGA PUNTUAL HORA: 12:40 p.m.
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS HOJA : 1 DE 1

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
13/AGO/2021	12:40 p.m.	0	0	0	0	La lectura referenciada con el hilo al centro del claro es de 3.9 cm
13/AGO/2021	12:45 p.m.	1	74	0	0	
13/AGO/2021	12:48 p.m.	2	119	0.09	0.09	
13/AGO/2021	12:50 p.m.	3	164	0.23	0.14	
13/AGO/2021	12:55 p.m.	4	209	0.3	0.07	
13/AGO/2021	12:57 p.m.	5	254	0.46	0.16	
13/AGO/2021	01:02 p.m.	6	299	0.65	0.19	
13/AGO/2021	01:03 p.m.	7	344	0.84	0.19	
13/AGO/2021	01:05 p.m.	8	389	0.96	0.12	
13/AGO/2021	01:07 p.m.	9	434	1.21	0.25	
13/AGO/2021	01:08 p.m.	10	479	1.31	0.1	
13/AGO/2021	01:09 p.m.	11	524	1.54	0.23	
13/AGO/2021	01:10 p.m.	12	569	1.69	0.15	
13/AGO/2021	01:11 p.m.	13	614	1.89	0.2	
13/AGO/2021	01:12 p.m.	14	659	2.05	0.16	
13/AGO/2021	01:13 p.m.	15	704	2.28	0.23	
13/AGO/2021	01:14 p.m.	16	749	2.43	0.15	
13/AGO/2021	01:15 p.m.	17	800	2.48	0.05	Despues de 10 mn la lectura fue de 2.45mm
						La lectura referenciada con el hilo al centro del claro al terminar la prueba es de 3.6 cm

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento

Anexo 4. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIM/
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

FECHA: 20/AGO/21
 HORA: 10:37 hrs

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
20/AGO/2021	10:37	0	0	0	0	La lectura referenciada con el hilo al centro del claro es de 5.4 cm
20/AGO/2021	10:37	6	270	0.545	0	
20/AGO/2021	10:42	12	540	1.064	0.519	
20/AGO/2021	10:49	14	630	1.185	0.121	
20/AGO/2021	10:50	16	720	1.267	0.082	
20/AGO/2021	10:52	18	810	1.517	0.25	
20/AGO/2021	10:55	20	900	1.806	0.289	
20/AGO/2021	10:56	22	990	2.016	0.21	
20/AGO/2021	10:59	24	1080	2.209	0.193	
20/AGO/2021	11:01	26	1170	2.348	0.139	
20/AGO/2021	11:03	28	1260	2.496	0.148	
20/AGO/2021	11:07	30	1350	2.573	0.077	
20/AGO/2021	13:07	30	1350	3.031	0.535	Lectura máxima en el rango de 24 hrs
21/AGO/2021	11:07	30	1350	2.818	0.322	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento.

Anexo 5. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 20/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIM/ HORA: 11:07 hrs
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
20/AGO/2021	11:07	30	1350	2.573		
20/AGO/2021	12:07	30	1350	2.925	0	
20/AGO/2021	13:07	30	1350	3.031	0	
20/AGO/2021	14:07	30	1350	2.878	-0.15	
20/AGO/2021	15:07	30	1350	2.868	-0.01	
20/AGO/2021	16:07	30	1350	2.86	-0.008	
20/AGO/2021	17:07	30	1350	2.821	-0.04	
20/AGO/2021	18:07	30	1350	2.82	-0.001	
20/AGO/2021	19:07	30	1350	2.82	0	
20/AGO/2021	20:07	30	1350	2.82	0	
20/AGO/2021	21:07	30	1350	2.8	-0.02	
20/AGO/2021	22:07	30	1350	2.79	-0.01	
21/AGO/2021	08:07	30	1350	2.726	-0.06	
21/AGO/2022	09:07	30	1350	2.726	0	Empezo a llover
21/AGO/2023	10:07	30	1350	2.742	0.02	
21/AGO/2024	11:07	30	1350	2.818	0.08	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye presenta grietas tenues solo en la capa de acabado.

Anexo 6. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 21/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIM/ HORA: 12:19
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						OBSERVACIONES
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
21/AGO/2020	12:19	30	1350	2.818	0	
21/AGO/2021	12:19	28	1260	2.656	0	
13/AGO/2021	12:21	26	1170	2.53	0.126	
13/AGO/2021	12:26	24	1080	2.419	0.111	
13/AGO/2021	12:27	22	990	2.233	0.186	
13/AGO/2021	12:29	20	900	2.041	0.192	
13/AGO/2021	12:32	18	810	1.854	0.187	
13/AGO/2021	12:34	16	720	1.549	0.305	
13/AGO/2021	12:37	14	630	1.459	0.09	
13/AGO/2021	12:39	12	540	1.394	0.065	
13/AGO/2021	12:41	10	450	1.259	0.135	
13/AGO/2021	12:43	8	360	1.143	0.116	
13/AGO/2021	12:44	6	270	1.13	0.013	
13/AGO/2021	12:47	4	180	0.83	0.3	
13/AGO/2021	12:57	2	90	0.49	0.34	
13/AGO/2021	13:00	0	0	0.23	0.26	
13/AGO/2021	14:00	0	0	0	-0.23	

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento.

Anexo 7. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 20/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIMU HORA: 10:37
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
20/AGO/2021	10:37	0	0	0	0	La lectura referenciada con el hilo al centro del claro es de 3.7 cm
20/AGO/2021	10:37	6	270	0.62	0	
20/AGO/2021	10:42	12	540	1.13	0.51	
20/AGO/2021	10:49	14	630	1.3	0.17	
20/AGO/2021	10:50	16	720	1.38	0.08	
20/AGO/2021	10:52	18	810	1.62	0.24	
20/AGO/2021	10:55	20	900	1.92	0.3	
20/AGO/2021	10:56	22	990	2.15	0.23	
20/AGO/2021	10:59	24	1080	2.37	0.22	
20/AGO/2021	11:01	26	1170	2.52	0.15	
20/AGO/2021	11:03	28	1260	2.68	0.16	
20/AGO/2021	11:07	30	1350	2.77	0.09	
20/AGO/2021	13:07	30	1350	3.11	0.43	Lectura máxima en el rango de 24 hrs
21/AGO/2021	11:07	30	1350	2.98	0.3	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento

Anexo 8. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 20/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIM/ HORA: 11:07
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
20/AGO/2021	11:07	30	1350	2.77		
20/AGO/2021	12:07	30	1350	2.99	0.22	
20/AGO/2021	13:07	30	1350	3.11	0.12	
20/AGO/2021	14:07	30	1350	3.07	-0.04	
20/AGO/2021	15:07	30	1350	3.1	0.03	
20/AGO/2021	16:07	30	1350	3.02	-0.08	
20/AGO/2021	17:07	30	1350	3.01	-0.01	
20/AGO/2021	18:07	30	1350	3.01	0	
20/AGO/2021	19:07	30	1350	3.01	0	
20/AGO/2021	20:07	30	1350	3.01	0	
20/AGO/2021	21:07	30	1350	2.97	-0.04	
20/AGO/2021	22:07	30	1350	2.97	0	
21/AGO/2021	08:07	30	1350	2.89	-0.08	
21/AGO/2022	09:07	30	1350	2.89	0	Empezo a llover
21/AGO/2023	10:07	30	1350	2.92	0.03	
21/AGO/2024	11:07	30	1350	2.98	0.06	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS
Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye presenta grietas tenues solo en la capa de acabado.

Anexo 9. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga de servicio mínima.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 21/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACION Y CARGA MAXIMA DEBIDO A CARGA DE SERVICIO MINIM/ HORA: 12:19
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
21/AGO/2020	12:19	30	1350	2.98	0	
21/AGO/2021	12:19	28	1260	2.84	0.14	
13/AGO/2021	12:21	26	1170	2.69	0.15	
13/AGO/2021	12:26	24	1080	2.58	0.11	
13/AGO/2021	12:27	22	990	2.39	0.19	
13/AGO/2021	12:29	20	900	2.19	0.2	
13/AGO/2021	12:32	18	810	1.87	0.32	
13/AGO/2021	12:34	16	720	1.68	0.19	
13/AGO/2021	12:37	14	630	1.6	0.08	
13/AGO/2021	12:39	12	540	1.52	0.08	
13/AGO/2021	12:41	10	450	1.38	0.14	
13/AGO/2021	12:43	8	360	1.23	0.15	
13/AGO/2021	12:44	6	270	1	0.23	
13/AGO/2021	12:47	4	180	0.77	0.23	
13/AGO/2021	12:57	2	90	0.46	0.31	
13/AGO/2021	13:00	0	0	0.18	0.28	
13/AGO/2021	13:21	0	0	0.06	-0.06	
13/AGO/2022	13:30	0	0	0.05	0.01	
13/AGO/2023	13:55	0	0	0	0.05	

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensayo presenta grietas tenues solo en la capa de acabado.

Anexo 10. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 24/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 11:44
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
24/AGO/2021	11:44	0	0	0	0	
24/AGO/2021	11:44	2	90	0.294	0.294	
24/AGO/2021	11:45	4	180	0.639	0.345	
24/AGO/2021	11:46	6	270	0.912	0.273	
24/AGO/2021	11:49	8	360	1.172	0.26	
24/AGO/2021	11:50	10	450	1.337	0.165	
24/AGO/2021	11:52	12	540	1.545	0.208	
24/AGO/2021	11:54	14	630	1.648	0.103	
24/AGO/2021	11:55	16	720	1.763	0.115	
24/AGO/2021	11:58	18	810	2.14	0.377	
24/AGO/2021	12:00	20	900	2.526	0.386	
24/AGO/2021	12:02	22	990	2.764	0.238	
24/AGO/2021	12:04	24	1080	3.053	0.289	
24/AGO/2021	12:06	26	1170	3.262	0.209	
24/AGO/2021	12:09	28	1260	3.453	0.191	
24/AGO/2021	12:11	30	1350	3.576	0.123	
24/AGO/2021	12:12	32	1440	3.682	0.106	
24/AGO/2021	12:14	34	1530	4.05	0.368	
24/AGO/2021	12:17	36	1620	4.447	0.397	
24/AGO/2021	12:19	38	1710	4.691	0.244	
24/AGO/2021	12:21	40	1800	5.028	0.337	
24/AGO/2021	12:23	42	1890	5.219	0.191	
24/AGO/2021	12:24	44	1980	5.447	0.228	
24/AGO/2021	12:27	46	2070	5.575	0.128	
24/AGO/2021	12:29	48	2160	5.716	0.141	
24/AGO/2021	12:31	50	2250	6.077	0.361	
24/AGO/2021	12:33	52	2340	6.43	0.353	
24/AGO/2021	12:35	54	2430	6.717	0.287	
24/AGO/2021	12:37	56	2520	7.041	0.324	Grietas marcadas con el número 1.

COMENTARIOS

Lineas de color azul marcan las grietas de esta etapa.

Anexo 11. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 24/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 12:37
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
24/AGO/2021	12:37	56	2520	7.041		
24/AGO/2021	13:37	56	1350	7.053	0	
24/AGO/2021	14:37	56	2520	7.084	0	Grietas marcadas con el número 2.
24/AGO/2021	15:37	56	2520	7.062	-0.02	
24/AGO/2021	16:37	56	2520	6.992	-0.07	Nublado
24/AGO/2021	17:37	56	2520	6.839	-0.153	Grietas marcadas con el número 3.
24/AGO/2021	18:37	56	2520	6.777	-0.06	
24/AGO/2021	19:37	56	2520	6.706	-0.071	
24/AGO/2021	20:37	56	2520	6.706	0	Anochece
24/AGO/2021	21:37	56	2520	6.689	-0.017	
24/AGO/2021	22:37	56	2520	6.689	0	
24/AGO/2021	23:37	56	2520	6.689	0	
25/AGO/2021	00:37	30	1350	6.671	-0.02	
25/AGO/2021	01:37	30	1350	6.671	0	Grietas marcadas con el número 4.
25/AGO/2021	02:37	30	1350	6.671	0.00	
25/AGO/2021	03:37	30	1350	6.643	-0.03	
25/AGO/2021	04:37	30	1350	6.643	-0.03	
25/AGO/2021	05:37	30	1350	6.643	0	
25/AGO/2021	06:37	30	1350	6.676	0.03	Grietas marcadas con el número 5.
25/AGO/2021	07:37	30	1350	6.849	0.17	Amanece
25/AGO/2021	08:37	30	1350	6.862	0.19	
25/AGO/2021	09:37	30	1350	6.962	0.1	
25/AGO/2021	10:37	30	1350	7.083	0.12	Grietas marcadas con el número 6.
25/AGO/2021	11:37	30	1350	7.192	0.11	
25/AGO/2021	12:37	30	1350	7.554	0.47	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS

Lineas de color azul marcan las grietas de esta etapa.

Anexo 12. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 25/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 13:07
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
25/AGO/2021	13:07	56	2520	7.554	0	
25/AGO/2021	13:07	54	2430	7.432	-0.122	
25/AGO/2021	13:08	52	2340	7.22	-0.212	
25/AGO/2021	13:10	50	2250	6.961	-0.259	
25/AGO/2021	13:13	48	2160	6.678	-0.283	
25/AGO/2021	13:15	46	2070	6.396	-0.282	
25/AGO/2021	13:16	44	1980	6.115	-0.281	
25/AGO/2021	13:17	42	1890	5.878	-0.237	
25/AGO/2021	13:18	40	1800	5.598	-0.28	
25/AGO/2021	13:20	38	1710	5.397	-0.201	
25/AGO/2021	13:21	36	1620	5.198	-0.199	
25/AGO/2021	13:22	34	1530	5.097	-0.101	
25/AGO/2021	13:23	32	1440	5.008	-0.089	
25/AGO/2021	13:25	30	1350	4.685	-0.323	
25/AGO/2021	13:27	28	1260	4.329	-0.356	
25/AGO/2021	13:28	26	1170	4.045	-0.284	
25/AGO/2021	13:29	24	1080	3.73	-0.315	
25/AGO/2021	13:31	22	990	3.527	-0.203	
25/AGO/2021	13:32	20	900	3.355	-0.172	
25/AGO/2021	13:33	18	810	3.245	-0.11	
25/AGO/2021	13:34	16	720	3.115	-0.13	
25/AGO/2021	13:37	14	630	2.75	-0.365	
25/AGO/2021	13:38	12	540	2.411	-0.339	
25/AGO/2021	13:39	10	450	2.107	-0.304	
25/AGO/2021	13:41	8	360	1.861	-0.246	
25/AGO/2021	13:42	6	270	1.645	-0.216	
25/AGO/2021	13:44	4	180	1.465	-0.18	
25/AGO/2021	13:44	2	90	1.338	-0.127	
25/AGO/2021	13:45	0	0	1.224	-0.114	
25/AGO/2021	14:10	0	0	0.8	-0.424	
25/AGO/2021	14:30	0	0	0.593	-0.207	
25/AGO/2021	14:45	0	0	0.021	-0.572	
25/AGO/2021	15:09	0	0	0	-0.021	

COMENTARIOS

Al término de la prueba se hizo una inspección visual en la cual se pudo observar que la probeta de ensaye no presenta ningún tipo de agrietamiento.

Anexo 13. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 24/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 11:44
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
24/AGO/2021	11:44	0	0	0	0	
24/AGO/2021	11:44	2	90	0.27	0.27	
24/AGO/2021	11:45	4	180	0.62	0.35	
24/AGO/2021	11:46	6	270	0.86	0.24	
24/AGO/2021	11:49	8	360	1.1	0.24	
24/AGO/2021	11:50	10	450	1.27	0.17	
24/AGO/2021	11:52	12	540	1.46	0.19	
24/AGO/2021	11:54	14	630	1.57	0.11	
24/AGO/2021	11:55	16	720	1.67	0.1	
24/AGO/2021	11:58	18	810	1.99	0.32	
24/AGO/2021	12:00	20	900	2.32	0.33	
24/AGO/2021	12:02	22	990	2.56	0.24	
24/AGO/2021	12:04	24	1080	2.8	0.24	
24/AGO/2021	12:06	26	1170	3.03	0.23	
24/AGO/2021	12:09	28	1260	3.21	0.18	
24/AGO/2021	12:11	30	1350	3.32	0.11	
24/AGO/2021	12:12	32	1440	3.43	0.11	
24/AGO/2021	12:14	34	1530	3.79	0.36	
24/AGO/2021	12:17	36	1620	4.2	0.41	
24/AGO/2021	12:19	38	1710	4.46	0.26	
24/AGO/2021	12:21	40	1800	4.89	0.43	
24/AGO/2021	12:23	42	1890	5.07	0.18	
24/AGO/2021	12:24	44	1980	5.28	0.21	
24/AGO/2021	12:27	46	2070	5.38	0.1	
24/AGO/2021	12:29	48	2160	5.51	0.13	
24/AGO/2021	12:31	50	2250	5.89	0.38	
24/AGO/2021	12:33	52	2340	6.29	0.4	
24/AGO/2021	12:35	54	2430	6.57	0.28	
24/AGO/2021	12:37	56	2520	6.87	0.3	Grietas marcadas con el número 1.

COMENTARIOS

Lineas de color azul marcan las grietas de esta etapa.

Anexo 14. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 24/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 12:37
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
		Costales	Kilos	Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
24/AGO/2021	12:37	56	2520	6.91		
24/AGO/2021	13:37	56	2520	7.07	0.16	
24/AGO/2021	14:37	56	2520	7.06	-0.01	Grietas marcadas con el número 2.
24/AGO/2021	15:37	56	2520	6.94	-0.12	
24/AGO/2021	16:37	56	2520	6.77	-0.17	Nublado
24/AGO/2021	17:37	56	2520	6.71	-0.06	Grietas marcadas con el número 3.
24/AGO/2021	18:37	56	2520	6.64	-0.07	
24/AGO/2021	19:37	56	2520	6.64	0	
24/AGO/2021	20:37	56	2520	6.64	0	Anochece
24/AGO/2021	21:37	56	2520	6.63	-0.01	
24/AGO/2021	22:37	56	2520	6.63	0	
24/AGO/2021	23:37	56	2520	6.63	0	
25/AGO/2021	00:37	30	1350	6.62	-0.01	
25/AGO/2021	01:37	30	1350	6.62	6.62	Grietas marcadas con el número 4.
25/AGO/2021	02:37	30	1350	6.62	0.00	
25/AGO/2021	03:37	30	1350	6.59	-0.03	
25/AGO/2021	04:37	30	1350	6.59	-0.03	
25/AGO/2021	05:37	30	1350	6.59	0.00	
25/AGO/2021	06:37	30	1350	6.61	0.02	Grietas marcadas con el número 5.
25/AGO/2021	07:37	30	1350	6.76	0.17	Amanece
25/AGO/2021	08:37	30	1350	6.81	0.20	
25/AGO/2021	09:37	30	1350	6.86	0.10	
25/AGO/2021	10:37	30	1350	6.98	0.17	Grietas marcadas con el número 6.
25/AGO/2021	11:37	30	1350	7.1	0.24	
25/AGO/2021	12:37	30	1350	7.37	0.39	Lectura a las 24 hrs.

COMENTARIOS

Lineas de color azul marcan las grietas de esta etapa.

Anexo 15. Registro de prueba de carga: Deformación y carga máxima debido a carga última.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 25/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: DEFORMACIÓN Y CARGA MÁXIMA DEBIDO A: CARGA ÚLTIMA. HORA: 13:07
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CUBÍCULO DE ESTRUCTURAS

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						OBSERVACIONES
FECHA	HORA	CARGA	CARGA	DEFLEXIÓN		
		Costales	Kilos	Por Incremento mm	Acumulada mm	
25/AGO/2021	13:07	56	2520	7.37	0	
25/AGO/2021	13:07	54	2430	7.23	-0.14	
25/AGO/2021	13:08	52	2340	7.01	-0.22	
25/AGO/2021	13:10	50	2250	6.72	-0.29	
25/AGO/2021	13:13	48	2160	6.39	-0.33	
25/AGO/2021	13:15	46	2070	6.12	-0.27	
25/AGO/2021	13:16	44	1980	5.81	-0.31	
25/AGO/2021	13:17	42	1890	5.45	-0.36	
25/AGO/2021	13:18	40	1800	5.26	-0.19	
25/AGO/2021	13:20	38	1710	5.07	-0.19	
25/AGO/2021	13:21	36	1620	4.86	-0.21	
25/AGO/2021	13:22	34	1530	4.76	-0.1	
25/AGO/2021	13:23	32	1440	4.67	-0.09	
25/AGO/2021	13:25	30	1350	4.34	-0.33	
25/AGO/2021	13:27	28	1260	4.03	-0.31	
25/AGO/2021	13:28	26	1170	3.73	-0.3	
25/AGO/2021	13:29	24	1080	3.4	-0.33	
25/AGO/2021	13:31	22	990	3.16	-0.24	
25/AGO/2021	13:32	20	900	2.99	-0.17	
25/AGO/2021	13:33	18	810	2.88	-0.11	
25/AGO/2021	13:34	16	720	2.78	-0.1	
25/AGO/2021	13:37	14	630	2.44	-0.34	
25/AGO/2021	13:38	12	540	2.07	-0.37	
25/AGO/2021	13:39	10	450	1.76	-0.31	
25/AGO/2021	13:41	8	360	1.51	-0.25	
25/AGO/2021	13:42	6	270	1.32	-0.19	
25/AGO/2021	13:44	4	180	1.12	-0.2	
25/AGO/2021	13:44	2	90	0.99	-0.13	
25/AGO/2021	13:45	0	0	0.87	-0.12	
25/AGO/2021	14:10	0	0	0.52	-0.35	
25/AGO/2021	14:30	0	0	0.3	0.22	
25/AGO/2021	14:45	0	0	0.06	0.24	
25/AGO/2021	15:09	0	0	0	0.06	

COMENTARIOS

Anexo 16. Registro de prueba de carga: Ensaye hasta el colapso.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 31/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: ENSAYE HASTA EL COLAPSO "primera etapa de carga" HORA: 10:57
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
31/AGO/2021	10:57	0	0	0	0	
31/AGO/2021	10:57	4	0	0.213	0	
31/AGO/2021	10:59	8	360	0.342	0.342	
31/AGO/2021	11:01	12	540	1.168	0.826	
31/AGO/2021	11:02	16	720	1.184	0.016	
31/AGO/2021	11:05	20	900	1.46	0.276	
31/AGO/2021	11:07	24	1080	1.931	0.471	
31/AGO/2021	11:11	28	1260	2.304	0.373	
31/AGO/2021	11:18	32	1440	2.519	0.215	
31/AGO/2021	11:20	36	1620	3.213	0.694	
31/AGO/2021	11:22	40	1800	3.743	0.53	
31/AGO/2021	11:25	44	1980	4.104	0.361	
31/AGO/2021	11:28	48	2160	4.337	0.233	
31/AGO/2021	11:33	52	2340	5.156	0.819	
31/AGO/2021	11:37	56	2520	5.734	0.578	
31/AGO/2021	11:43	60	2700	6.147	0.413	
31/AGO/2021	11:46	64	2880	6.419	0.272	
31/AGO/2021	11:50	68	3060	7.149	0.73	
31/AGO/2021	11:54	72	3240	8.004	0.855	
31/AGO/2021	12:20	76	3420	8.507	0.503	
31/AGO/2021	12:25	80	3600	9.006	0.499	
31/AGO/2021	12:30	84	3780	9.861	0.855	
31/AGO/2021	12:35	88	3960	10.439	0.578	
31/AGO/2021	12:41	92	4140	10.957	0.518	
31/AGO/2021	12:46	96	4320	11.538	0.581	SEGÚN NTC 17 NO CUMPLE POR DEFLEXIÓN
31/AGO/2021	12:53	100	4500	12.101	0.563	
31/AGO/2021	12:58	104	4680	12.701	0.6	
31/AGO/2021	13:27	108	4860	12.848	0.147	
31/AGO/2021	13:40	112	5040	12.924	0.076	
31/AGO/2021	13:48	116	5220	13.512	0.588	
31/AGO/2021	13:54	120	5400	14.066	0.554	
31/AGO/2021	14:08	124	5580	14.712	0.646	
31/AGO/2022	14:11	128	5760	15.504	0.792	
31/AGO/2021	14:13	132	5940	15.835	0.331	

COMENTARIOS

No se aprecian daños a la probeta o sus apoyos

Anexo 17. Registro de prueba de carga: Ensaye hasta el colapso.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 31/AGO/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: ENSAYE HASTA EL COLAPSO "primera etapa de carga 24 hrs" HORA: 10:57
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
31/AGO/2021	14:13	132	5940	15.835	0	
31/AGO/2021	15:13	132	5940	16.008	0.173	
31/AGO/2021	16:13	132	5940	16.268	0.26	
31/AGO/2021	17:13	132	5940	16.319	0.051	
31/AGO/2021	18:13	132	5940	15.888	-0.431	
31/AGO/2021	19:13	132	5940	15.874	-0.014	EMPEZO A LLOVER
31/AGO/2021	20:13	132	5940	15.868	-0.006	
31/AGO/2021	21:13	132	5940	15.898	0.03	
31/AGO/2021	22:13	132	5940	15.976	0.078	
31/AGO/2021	23:13	132	5940	16.001	0.025	EMPEZARON A FALLAR LAS BARRAS
01/SEP/2021	01:13	132	5940	16.123	16.123	
01/SEP/2021	02:13	132	5940	16.194	0.071	SE AGRIETARON LA ULTIMA HILADA DE BLOCK
01/SEP/2021	03:13	132	5940	16.257	0.063	
01/SEP/2021	04:13	132	5940	16.37	0.113	
01/SEP/2021	05:13	132	5940	16.42	0.05	
01/SEP/2021	06:13	132	5940	16.813	0.393	
01/SEP/2021	07:13	132	5940	17.02	0.207	
01/SEP/2021	08:13	132	5940	17.429	0.409	
01/SEP/2021	09:13	132	5940	17.807	0.378	
01/SEP/2021	10:13	132	5940	17.873	0.066	
01/SEP/2021	11:13	132	5940	17.946	0.073	
01/SEP/2021	12:13	132	5940	17.986	0.04	
01/SEP/2021	13:13	132	5940	18.348	0.362	

COMENTARIOS

Fallaron las primeras barras presentado un dobles, ademas los apoyos presentan grietas

Anexo 19. Registro de prueba de carga: Ensaye hasta el colapso.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA FECHA: 01/SEP/21
 NOMBRE DE LA PRUEBA: ENSAYE HASTA EL COLAPSO "segunda etapa de carga 48 HRS" HORA: 15:06
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						OBSERVACIONES
FECHA	HORA	CARGA		DEFLEXIÓN		
		Costales	Kilos	Por Incremento mm	Acumulada mm	
01/SEP/2021	16:47	156	7020	20.01	0	
01/SEP/2021	17:47	156	7020	29.44	9.43	
01/SEP/2021	18:47	156	7020	30.072	0.632	
01/SEP/2021	19:47	156	7020	30.814	0.742	
01/SEP/2021	20:47	156	7020	31.314	0.5	
01/SEP/2021	21:47	156	7020	31.744	0.43	
01/SEP/2021	22:47	156	7020	32.247	0.503	
01/SEP/2021	23:47	156	7020	32.713	0.466	
02/SEP/2021	00:47	156	7020	33.146	0.433	
02/SEP/2021	01:47	156	7020	33.414	0.268	
02/SEP/2021	02:47	156	7020	33.654	0.24	
02/SEP/2021	03:47	156	7020	33.814	0.16	
02/SEP/2021	04:47	156	7020	33.95	0.136	
02/SEP/2021	05:47	156	7020	34.15	0.2	
02/SEP/2021	06:47	156	7020	34.536	0.386	
02/SEP/2021	07:47	156	7020	34.736	0.2	
02/SEP/2021	08:47	156	7020	35.001	0.265	
02/SEP/2021	09:47	156	7020	35.373	0.372	
02/SEP/2021	10:47	156	7020	35.773	0.4	
02/SEP/2021	11:47	156	7020	36.079	0.306	
02/SEP/2021	12:47	156	7020	36.088	0.009	
02/SEP/2021	13:47	156	7020	36.105	0.017	
02/SEP/2021	14:47	156	7020	36.321	0.216	
02/SEP/2021	15:47	156	7020	36.465	0.144	
02/SEP/2021	16:47	156	7020	36.471	0.006	
02/SEP/2021	17:47	156	7020	36.488	0.017	
02/SEP/2021	18:47	156	7020	36.491	0.003	
02/SEP/2021	19:47	156	7020	36.499	0.008	
02/SEP/2021	20:47	156	7020	36.51	0.011	
02/SEP/2021	21:47	156	7020	36.515	0.005	
02/SEP/2021	22:47	156	7020	36.52	0.005	
02/SEP/2021	23:47	156	7020	36.529	0.009	

COMENTARIOS

No se aprecian más daños a la probeta o sus apoyos

Anexo 22. Registro de prueba de carga: Ensaye hasta el colapso.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPFI - POSGRADO INGENIERÍA



REGISTRO DE PRUEBA DE CARGA

NOMBRE DEL PROYECTO: TESIS MAESTRÍA
 NOMBRE DE LA PRUEBA: ENSAYE HASTA EL COLAPSO "tercera etapa de carga 76 hrs"
 TIPO: CARGA DESCARGA
 REFERENCIA: MICRÓMETRO UBICADO HACIA EL CETEVI

FECHA: 03/SEP/21
 HORA: 13:03

DATOS DEL INSTRUMENTO DE ENSAYO

NOMBRE DEL INSTRUMENTO: MICRÓMETRO 1" MODELO: ELITE PRECISION

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA						
FECHA	HORA	CARGA Costales	CARGA Kilos	DEFLEXIÓN		OBSERVACIONES
				Por Incremento	Acumulada	
				mm	mm	
03/SEP/2021	17:46	200	9000	116.096	0	Se hacen visibles los pernos de sujeción
03/SEP/2021	18:46	200	9000	121.916	5.82	
03/SEP/2021	19:46	200	9000	133.585	11.669	Caen partes de la capa de compresión
03/SEP/2021	20:46	200	9000	134.266	0.681	
03/SEP/2021	21:46	200	9000	134.521	0.255	
03/SEP/2021	22:46	200	9000	134.759	0.238	
03/SEP/2021	23:46	200	9000	134.997	0.238	
04/SEP/2021	00:46	200	9000	135.235	0.238	
04/SEP/2021	01:46	200	9000	135.474	0.239	
04/SEP/2021	02:46	200	9000	135.713	0.239	
04/SEP/2021	03:46	200	9000	135.951	0.238	
04/SEP/2021	04:46	200	9000	136.189	0.238	
04/SEP/2021	05:46	200	9000	136.428	0.239	
04/SEP/2021	06:46	200	9000	136.666	0.238	
04/SEP/2021	07:46	200	9000	136.905	0.239	
04/SEP/2021	08:46	200	9000	137.143	0.238	
04/SEP/2021	09:46	200	9000	137.381	0.238	
04/SEP/2021	10:46	200	9000	137.62	0.239	
04/SEP/2021	11:46	200	9000	137.859	0.239	
04/SEP/2021	12:46	200	9000	138.075	0.216	
04/SEP/2021	13:46	200	9000	138.496	0.421	
04/SEP/2021	14:46	200	9000	139.189	0.693	
04/SEP/2021	15:46	200	9000	139.706	0.517	
05/SEP/2021	11:46	200	9000	141.328	1.622	
05/SEP/2021	12:46	200	9000	141.577	0.249	

COMENTARIOS

Caen trozos de la capa de compresión haciendo visibles los pernos de sujeción.

