



**ITESO**

Universidad Jesuita  
de Guadalajara

Apuesta Estratégica

Vías Alternas para la Autoconstrucción Sustentable.

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**

**Programa de Edificación y Vivienda**

**INTERVENCIÓN DEL EDIFICIO DE ARTE Y CULTURA EN EL  
ITESO (PUENTE)**

1K02 - TECNOLOGÍA APROPIADA PARA LA GENERACIÓN DE SISTEMAS  
CONSTRUCTIVOS

**Presentan los alumnos:**

Lic. en Ingeniería Civil. José Ricardo Menchaca Robles – IC702956

Lic. en Ingeniería Civil. Juan de Dios Morones Tapia – IC703641

Lic. en Ingeniería Civil. Luis Rey Salas Villaseñor – IC703322

Lic. en Ingeniería Civil. Ivan Francisco Toscano Vigil – IC702966

**ASESORES:**

Profesor PAP: Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo

Asesor PAP: Mt. Melissa Selene Carrillo Rubio

Asesor PAP: Mt. Christian Hernández Cárdenas

## ÍNDICE

<b>Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional .....</b>	<b>3</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Antecedentes.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Contexto.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Planeación y Seguimiento del Proyecto .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Desarrollo.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Sustento Teórico y Metodológico.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Resultados de Trabajo Profesional .....</b>	<b>28</b>
<b>4. Conclusiones sobre los aprendizajes, las implicaciones y los aportes sociales del proyecto.....</b>	<b>34</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>37</b>
<b>6. Anexos .....</b>	<b>39</b>

## **Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional**

***Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.***

***A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción de terminar. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.***

## **Resumen**

La intervención realizada tiene como finalidad reivindicar la madera como un material constructivo pertinente para la edificación. Situación que en México se ha visto limitada por diferentes factores como lo son la sobredimensión de los elementos en reglamentos, la casi inexistente regulación del material y el paradigma de su deficiente seguridad y durabilidad comparada con otros materiales como lo son el acero y el concreto. Los beneficios de este material trascienden sus limitantes, siendo un material sustentable, la madera podría reducir en mayor o menor medida el abuso de materiales contaminantes en la construcción, además México cuenta con un gran abasto de maderas de primera calidad y rápido crecimiento.

El acercamiento consistió en diseñar en madera un puente ya propuesto en concreto, para esto se consideró proponer armaduras de madera, se enfocó en darle solución a varios elementos estructurales que además de estéticos, funcionaran adecuadamente como un puente y tenga el potencial de ser un producto fácilmente transportable y auto construible.

## **1. Introducción**

La madera es un material utilizado en la construcción desde hace miles de años; en la cultura japonesa, las edificaciones han sido conservadas en su estado natural hasta nuestros días, sin ningún tipo de tratamiento alternativo ni cuidados patológicos. Este ejemplo de construcción en madera nos abre un panorama acerca del poder utilizarla como material alternativo para construcción. Hoy en día, existe un paradigma alrededor de la construcción con este material; esta es la razón por la cual se realizará una intervención a un edificio por comenzar procesos constructivos en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, sustentada por pruebas de sistemas constructivos en madera.

En este trabajo se pretende diseñar un puente de madera para demostrar que esta, es un material constructivo pertinente para la edificación y reduce el impacto de la huella de carbono que generan los otros materiales. En México, la utilización de la madera se ha visto limitada por la falta de reglamentos adecuados que regulen, clasifiquen y definan parámetros para el ensayo del material. De la misma manera, en el país hace falta un manejo forestal adecuado, ya que, si esto se logra, se obtendría un recurso renovable que ayude a promover la utilización de la madera como material alternativo.

Se busca generar una base de conocimiento técnico de una especie de madera disponible en la ciudad de Guadalajara para poder diseñar una armadura que demuestre que es posible construir estructuras más competentes de lo que se piensa con el material. Presentando una opción para optar por la madera como material alternativo y combinando un poco de sistemas constructivas para lograr el diseño del puente.

El ejercicio es tanto teórico como práctico, ya que el diseño base de la armadura a utilizar y el sistema constructivo híbrido de madera y concreto fueron diseñados y creados en una etapa pasada del PAP. Eso permitirá entender más a fondo las posibilidades del diseño y de que Guadalajara funja como un centro de manufactura y distribución para diferentes frentes.

## **1.1 Objetivos**

El objetivo principal es demostrar que la madera es un material conveniente para la construcción al manufacturar y distribuir logísticamente desde la ciudad Guadalajara.

Los objetivos particulares que permitirán lograr el objetivo principal son:

- Generación de información técnica sobre una especie de madera en específico.
- Diseñar una armadura que soporte un puente con sus respectivos planos y su memoria de cálculo.
- Comparar los resultados del diseño con el resultado que arrojaría una armadura que atiende el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México.
- Valoración de las características de transporte, economía, funcionalidad y seguridad.
- Diseñar un sistema constructivo híbrido en madera que soporte los respectivos diseños hechos en concreto para el edificio de intervención
- Comparar los resultados del sistema híbrido de madera con uno exclusivamente de concreto, sustentando ambos por el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México.
- Valoración de resultados y viabilidad de la intervención de acuerdo a especificaciones del proyecto.

## **1.2. Justificación**

La madera es un material que en México ha tenido pocas posibilidades dentro de la construcción, y, no se diga en las construcciones importantes de edificaciones tanto en zonas urbanas como rurales. Es un material no considerado y casi despreciado estructuralmente por los constructores, siempre desplazado en el mercado por otros materiales convencionales como el acero y el concreto armado. Al mismo tiempo, en nuestro país y más específico, nuestra región, se cuenta con la materia prima suficiente y la suficiente distribución para abrir una oportunidad de comenzar a utilizar la madera como material convencional.

La nula estandarización del material ha generado un acercamiento técnico muy cauteloso, reflejado en los reglamentos de construcción competentes. Con esto en mente se cree muy importante empezar por producir un conocimiento específico de especies disponibles y que cuentan con respaldo de calidad. Con la finalidad de poder explorar las posibilidades constructivas reales de la madera.

El desarrollo de una armadura en madera pretende solucionar los sistemas conformados por armaduras y sistema de losa híbrido para soportar un puente. El uso de la madera funciona para reducir la huella de carbono que se genera al construir con concreto y acero. Desde el 2003, el reglamento de construcción del municipio de Zapopan permite construir estructuras con marcos contra veteados de hasta 13 metros de altura. Como la madera se obtiene de una planta y esta se alimenta de la luz solar y absorbe el CO<sub>2</sub> que hay en el aire durante su crecimiento, generando que se disminuya el calentamiento global que está sucediendo en el planeta.

Considerando que la ciudad de Guadalajara es una metrópoli de donde surgen diferentes frentes de apoyo a la construcción de vivienda social y que a la vez se cuenta con el material y herramientas adecuadas para su manufactura. Es necesario entender a Guadalajara como un centro de producción y distribución de elementos constructivos en madera a diferentes localidades dentro del estado. Donde se puedan tomar los elementos y construir la armadura con considerable sencillez.

Todo esto con la finalidad de mostrar a la madera como un material pertinente a ser utilizado en la construcción. Aprovechando las condiciones de la ciudad para producir y distribuir elementos prefabricados en este material.

Es importante estipular que la utilización de la madera podría dar pie a una mayor promoción del material, todo con la finalidad de reducir los costos y generar un impacto social. La madera es un recurso que, como ya mencionado antes, con un manejo forestal adecuado, se convierte en un recurso renovable y fácil obtención y fácil trabajo. Si el manejo forestal se realiza de manera correcta, entonces también se promueve el trabajo del material por distribuidoras de estos, para de esta manera poder radicar en la disponibilidad del mismo. Es importante mencionar que, en el aspecto de vivienda social, esto mismo ayudaría a que los costos de construcción de la misma se redujeran para producir una solución más adecuada y, por ende, solucionar verdaderamente el problema de vivienda social.

### **1.3 Antecedentes**

El hombre y la tecnología han progresado a lo largo de su existencia de forma paralela. La necesidad de sobrevivencia y dominio le permitió descubrir los materiales que la naturaleza ofrecía. El uso de la madera además de facilitar armas para la guerra y la caza sirvió para construir sus primeras cabañas o como puertas para la entrada de sus cavernas y sobre todo para mantener el fuego. En el año 1773 se escribió el primer tratado dedicado a temas forestales, escrito por Duhamel du Monceau. Dicho tratado habla sobre el cuidado y aprovechamiento de los montes y bosques, corta, talar, beneficio y uso de sus maderas. Existen estudios y experimentos sobre la calidad de madera y su relación con el suelo donde creció, puede considerarse como el primer tratado sobre el conocimiento de las principales maderas en construcción naval y civil, con las consideraciones oportunas sobre la influencia del medio, y los tratamientos silvícolas sobre la calidad de las maderas.

Esta extensa obra versa sus conocimientos sobre una amplia base experimental, en ocasiones de mucho ingenio.

*“Este material, que a su nivel más básico es una colección de células tubulares, es portador de la historia de nuestros inventos, de nuestros edificios, de nuestra cultura y de nuestros alimentos. Ningún otro material ha entrado de tantos modos en nuestras vidas como la madera. Por su exposición de piezas singulares, este instructivo es un compañero ideal para arquitectos, especialistas compradores, estudiantes y cualquiera que se interese por el producto y cómo se emplea en el diseño moderno. Este producto explora e ilustra los usos y pasos a instalar, una armadura prefabricada introduciendo nuevos métodos de procesamiento, haciendo de la madera un producto de futuro.”* Menciona el autor y diseñador Chris Lefteri.

La madera que fue un material tradicionalmente empleado en la construcción con funciones resistentes se ve desplazada en este campo en los comienzos del siglo actual; primero por el acero y posteriormente por el concreto, materiales hechos por el hombre y que además pueden ser intervenidos en su proceso de fabricación para aumentar sus características de resistencia; con el desarrollo tecnológico de estos materiales existe un cierto abandono en el estudio de la madera, y la desaparición de este material en los años treinta. Es con la aparición de las construcciones de madera laminada, de los tableros contrachapados, de partículas y de fibras, etc., -productos

todos ellos, derivados de la madera y sobre los que el hombre media en su fabricación y control; y con el desarrollo de las técnicas de protección contra el riesgo de los "ataques de insectos y hongos, junto con el "descubrimiento" de su buen comportamiento frente al fuego mucho mejor, por ejemplo, que el de las construcciones metálicas-, cuando la madera recupera con paso lento pero seguro un campo de aplicación propio de sus características. Así en Estados Unidos, Canadá, países del norte de Europa, etc. la madera extiende rápidamente su uso en el campo de la vivienda unifamiliar y como material protagonista de proyectos.

El proyecto atiende la problemática que hoy en día se emplean materiales como el concreto o acero y la madera se hace un lado. Se comenzó a analizar cómo resolver un puente ya diseñado en concreto y se llegó a la conclusión que podría ser resuelto con armaduras de madera. Se pensó en un elemento estructural que pudiera resolver la losa del puente y que fuera fácil de construir y además que fuera un producto que se pudiera replicar en diferentes casos y contextos

#### **1.4 Contexto**

El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) se encuentra ubicado en el municipio de Tlaquepaque; uno de los cinco municipios que conforman la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). En Guadalajara, la actividad construcción representa un gran porcentaje de la economía de la ciudad; este dato puede verse reflejado en la economía del país, en la cual la construcción incide con un 25.6% del Producto Interno Bruto (PIB) (Andrade, 2018). Esto quiere decir que, la ciudad de Guadalajara y el municipio de Tlaquepaque son lugares idóneos para desarrollar cualquier proyecto en tema de construcción. El ITESO tiene el proyecto de construir un edificio destinado a las ramas de arte y cultura, es en este en dónde se realizará la intervención del diseño en madera de un puente ya propuesto con material de concreto. La propuesta es diseñar el mismo puente, pero con madera para de esta manera hacer el puente más sustentable y demostrar que con este material se puede construir. Hoy en día la madera está apartada de los materiales para construcción y esta propuesta ayudará a que se considere un poco más la madera.

## **1.5 Planeación y Seguimiento del Proyecto**

### ***FASE I: semana 9 y semana 10***

- Decidir sobre qué área del edificio de Arte y Cultura se va a trabajar.
- Hacer equipos con los que vas a trabajar.
- Revisar el plano arquitectónico para saber las secciones que tenía el puente.

### ***FASE II: semana 11 y semana 12***

- Hacer el diseño del puente de concreto en madera, proponiendo armaduras en vez de traveses de concreto y un sistema de entrepiso de duela con concreto.
- Preguntar a los asesores si las secciones seleccionadas eran coherentes con las que existen comercialmente.

### ***FASE III: semana 13 y 14***

- Diseñar la conexión de la armadura entre el entrepiso y de cada elemento de esta.

### ***FASE IV: semana 15 y 16***

- Producción de la Armadura diseñada.
- Resultados.

## **2. Desarrollo**

Para llevar a cabo el proyecto, fue necesario comprender la problemática con la que se cuenta; se encontró que se necesita una propuesta alterna de un puente ya diseñado (calculado) en concreto, en donde se optó por la utilización de madera, al ser esta un material alternativo y sustentable. Esto con la finalidad de promover más el uso de este material, ya que este nos brinda ventajas en muchos aspectos, algunos de ellos son: la disminución de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), menor peso a la estructura, mayor resistencia a los incendios, con el tratamiento adecuado requiere menos mantenimiento, menor costo, entre otros.

Se analizaron los planos arquitectónicos con la finalidad de tener una mejor concepción sobre el puente a desarrollar, posteriormente se debatió sobre el sistema estructural a utilizar y se definieron dos sistemas; el primero a base de armadura como estructura y duela como sistema de entrepiso, y el segundo a base de CNLT (Compound Nailed Laminated Timber).

El puente cuenta con una distancia de claro de 7.90 m entre apoyos y con un ancho de 2.7m; haciendo el contraste en diseño de concreto, se analizó que es necesario usar trabes muy peraltadas o hacer uso de presfuerzo, lo cual genera un alza en el costo de cada puente.

Para llevar a cabo el diseño estructural, fue necesario contar con los datos de resistencia de los materiales a utilizar, ya se contaba con las pruebas de la madera utilizada para la armadura (realizadas el semestre pasado), por lo que solamente fue necesario realizar las pruebas al CNLT, estos resultados se encuentran a continuación.

## **2.1 Sustento Teórico y Metodológico**

### **Prueba de Laboratorio I**

Introducción:

Se hicieron ensayos a tensión y a compresión de la madera para tener unos datos más cercanos a la realidad porque en las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México tienen resistencias muy castigadas a la madera.

### **Descripción**

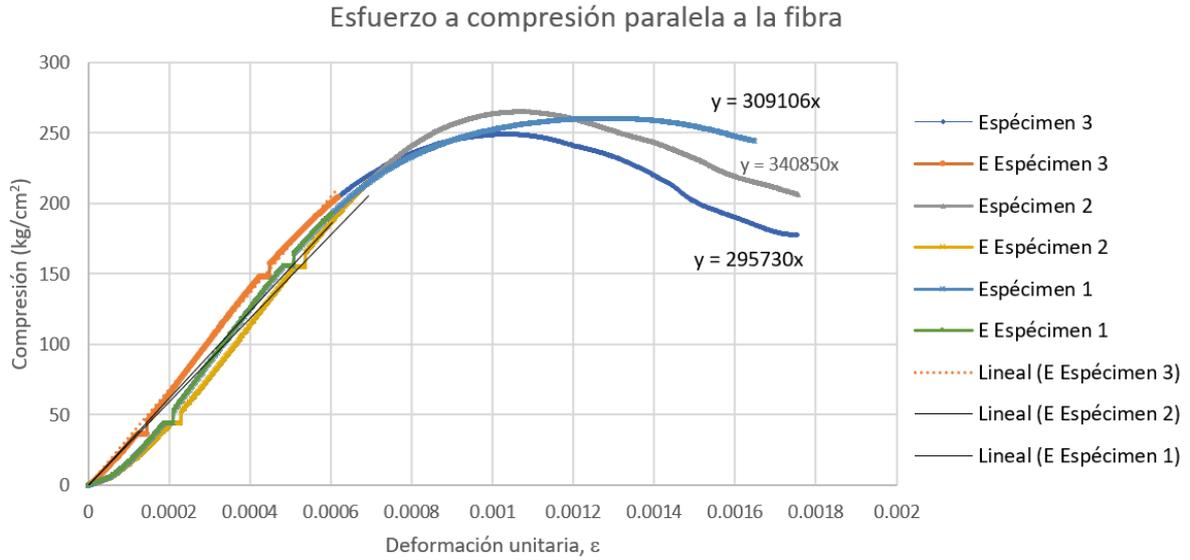
- Compresión paralela a la fibra:
  - Las probetas fueron de 2" x 2" en su sección transversal.
  - Su longitud era de 20 cm.
  - Se ensayaron 3 probetas.
- Tensión paralela a la fibra:
  - Las probetas fueron de 3/4" x 3/4" en su sección transversal.
  - Su longitud era de 25 cm.
  - Se ensayaron 4 probetas, pero 2 de estas tenían un ojo y redujo la resistencia drásticamente; sólo se mostrarán resultado de dos probetas.

### **Alcances y Objetivos**

Conocer el módulo elástico, resistencia a la compresión y tensión paralela a la fibra de la madera de FICAMEX para poder generar un diseño óptimo y menos castigado por las NTC.

### **Resultados**

- Compresión



Gráfica 1: Ensayos a compresión de la madera

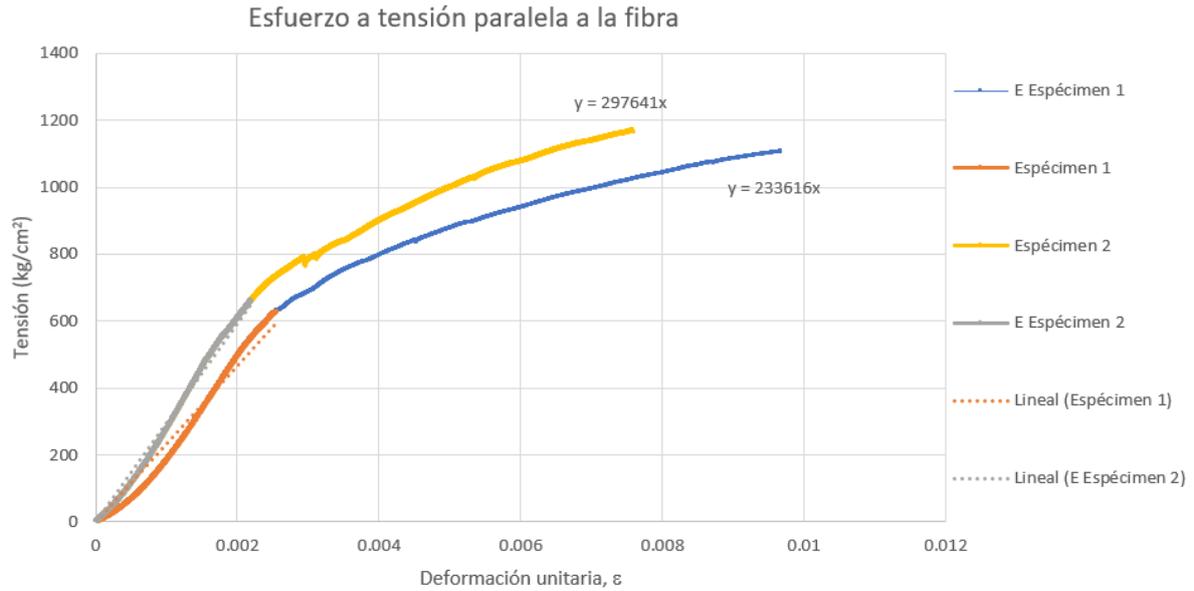
Espécimen 1		Espécimen 2		Espécimen 3	
$\sigma_{prop}$ =	205.175982 kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{prop}$ =	215.93179 kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{prop}$ =	204.675548 kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}$ =	260.560021 kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{max}$ =	265.118665 kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{max}$ =	249.120469 kg/cm <sup>2</sup>
E =	310827 kg/cm <sup>2</sup>	E =	295730 kg/cm <sup>2</sup>	E =	340850 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 1: Resultados de ensayos a compresión.

$\sigma_{prop}$ =	208.59444 kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{max}$ =	258.266385 kg/cm <sup>2</sup>
E =	315802.333 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 2: Promedio de resistencias y módulos elásticos de las 3 probetas a compresión.

- Tensión



Gráfica 2: Ensayos a tensión de la madera

	Espécimen 1		Espécimen 2	
$\sigma_{prop} =$	628.625044	kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{prop} =$	661.079353 kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{max} =$	1105.34069	kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{max} =$	1169.49387 kg/cm <sup>2</sup>
E =	233616	kg/cm <sup>2</sup>	E =	297641 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 3: Resultados de ensayos a tensión.

$\sigma_{prop} =$	644.852199	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{max} =$	1137.41728	kg/cm <sup>2</sup>
E =	265628.5	kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 4: Promedio de resistencias y módulos elásticos de las 3 probetas a tensión.

Para el diseño de la armadura y las conexiones de madera se utilizaron los resultados que obtuvimos del ensayo a tensión y compresión de las probetas.

### Madera Laminada Clavada (NLT)

El principio de NLT fue principalmente utilizado en la construcción bodegas y grandes edificaciones con claros considerables, esto generando, arquitectónicamente

una percepción de madera sólida con una característica visual del seguimiento de las longitudes de las piezas en una sola dirección.

Hoy está considerado como uno de los procesos más eficientes en ámbito de la construcción gracias a gran facilidad de ejecución en obra como en taller de manufactura, eso es a sus considerables cualidades estructurales para ser utilizados en entresijos y en muros.

El NLT tiene diferentes cualidades, una de las más notorias es que podemos generar paneles curvados bastante fácil, asentando la pieza en vigas de acero, generando una perspectiva visual modular, prefabricado que puede ser económico en instalación y beneficiar los tiempos de entrega. Tomando secciones más pequeñas podemos generar curvas más prolongadas y una superficie más lisa, como en muros curvos y domos con mucha facilidad, como se muestra en la figura (2 y 3), podemos generar diferentes texturas cambiando solamente la dimensión longitudinal del tablón y determinado que tan liso se puede generar el muro.



### **Características de la Superficie**

Tan lisos o curvos sean tus elementos en la construcción, los elementos de NLT cuentan con la cualidad de ser flexibles con las propiedades finales de diseño que tenga el contratista o el cliente final. Estos son algunos

*Figura 2 y 3. Propiedades superficiales de NLT (Countesy of Perkins + Will).*

### **Tipos**

Cualquier tipo de madera puede ser utilizado para generar NLT; pero siempre tomando en cuenta que el tipo de madera tiene que estar especificado en las normas de tu región. La disponibilidad de la madera puede variar depende la región y puede cambiar en coloración y puede variar la forma de su apariencia. La única consideración en el tipo de madera es que sea una madera que pueda ser clavada

sin dificultades, y que los tablones de la madera tengan buena rectitud y un ancho de al menos 15 cm.

### **El Grado de la Madera**

Si la madera va a ser utilizada como acabado final es considerable elegir y decidir cómo se desea que sea el terminado de la madera, si es rugoso, liso, o incluso la cantidad de nodos en los tablones.

### **Relieve o Borde Afilado**

Por lo general los tablones de madera vienen con un pequeño borde redondeado, aun así, es necesario una vez apilados aplanar de manera que sean más visibles los surcos de la madera, esto también se podría seguir de un lijado a la superficie.

### **Tamaños en Secciones Cruzadas**

El sistema permite combinar diferentes tamaños de tablones, esto se sabe que puede tener beneficios en la acústica, en USA es común usar y combinar 2x4s y 2x6s y crear secciones constructivas eficientes.

### **Consideraciones Generales**

El NLT es un material combustible lo cual no puede ser utilizado en muros exteriores ni interiores sin ningún tratamiento antiincendios, además de un cálculo por incendio del estructurista.

Estructuralmente NLT es un sistema que solo se extiende en una dirección por lo que tiene sus implicaciones en el diseño de la planeación estructural. El sistema NLT requiere unos soportes lineales y no puede ser soportado en columnas por sí mismo.

Normalmente el NLT se puede extender en diferentes profundidades dada por la tabla 1.1 mostrada a continuación; soportes lineales como muros de carga y vigas tienen que estar espaciadas como los especifica.

Estas máximas extensiones pueden ser gobernadas por las vibraciones en vez de la resistencia.

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

Profundidad NLT	Rango de Extensión Típica
4 in. nominal	hasta 12ft.
6 in. nominal	10 to 17 ft.
8 in. nominal	14 to 21 ft.
10 in. nominal	17 to 24 ft.
12 in. nominal.	20 to 26 ft

*Tabla 5. Rango de extensión de NLT.*

*Las extensiones pueden variar y pueden salir de los rangos dependiendo del uso, cargas y el criterio de vibraciones.*

Donde cambia es en el despiece de la columna o en los muros de carga donde la ubicación de entrepiso a entrepiso es necesaria, la transferencia de carga tiene que ser obtenida por marcos suplementarios y no por colocar grandes segmentos de NLT.

Para la fabricación e instalación del NLT en las losas de entrepiso y muros, lo más importante son los parámetros de clavado con los que se haga el entrepiso. Como los clavos son lo que le dan la adherencia al sistema, hay un control muy detallado de las medidas y separaciones a tomar en cuenta.

TIPO DE NLT	PERALTE DEL NLT	PATRON DE CLAVADO	
		Clavos de 3" de longitud y 0.148" de diámetro	Clavos de 3" de longitud y 0.128" de diámetro
Laminación Continua	Menos de 6"	Una fila, a cada 7"	Una fila, a cada 5"
	Más de 6"	Dos filas, a cada 14"	Dos filas, a cada 10"
Laminación Unida a Hueso	Menos de 6"	Una fila, a cada 7"	Una fila, a cada 5"
	Más de 6"	Dos filas, a cada 14"	Dos filas, a cada 10"

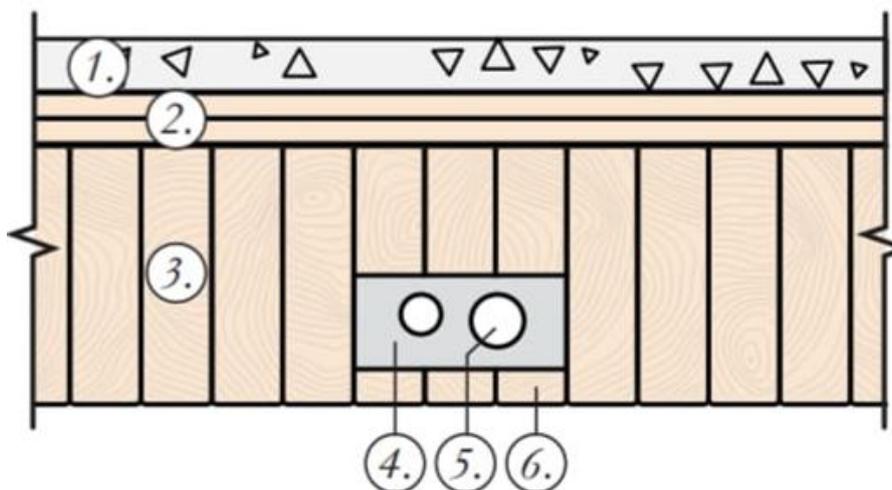
NOTA: La longitud del clavo tiene que ser al menos 2.5 veces el ancho de la tabla

*Figura 4: Separaciones de clavado según tipo de NLT y diámetro de clavo*

(Nail-Laminated Timber U.S. Design and Construction Guide v.1, 2017)

Con la tabla de separaciones de clavado, se puede ver las consideraciones que se tienen que tener en cuenta para el método de clavado en la construcción. Tener la especificación de instalación de NLT antes de comenzar una obra, ayudará a tener tiempos de construcción más cortos.

Para la consideración de instalaciones es muy importante tener en cuenta dos factores; la orientación del NLT y el espesor del NLT. En el caso de la orientación del NTL es porque las cajas de instalaciones incrustadas en el NLT son más fáciles de fabricar para que las instalaciones vayan paralelas al laminado de la losa o los muros. La otra consideración, el espesor del NLT, es debido a que las instalaciones más grandes deben de pasar entre el laminado, pero siempre dejando un espesor efectivo de carga, por eso se recomienda que el espesor mínimo del laminado de NLT sea de 15 cm. A continuación, se muestra un ejemplo del NLT con las instalaciones.



*Figura 5: Corte de NLT con hueco de instalaciones*

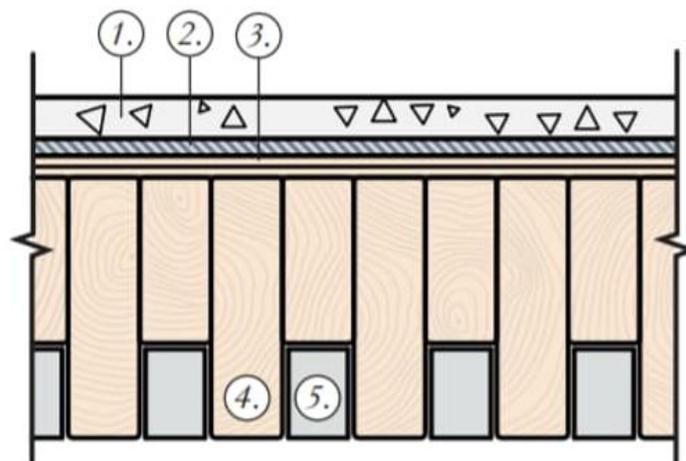
(Nail-Laminated Timber U.S. Design and Construction Guide v.1, 2017)

1. Capa de compresión
2. OSB / Triplay
3. NLT
4. Espacio dejado para el paso de instalaciones
5. Instalaciones

6. Capa de madera para cubrir las instalaciones

La última consideración del NLT después de la resistencia al fuego y las instalaciones, es el aislamiento acústico. Esta consideración depende del proyecto y hay grados diferentes de aislamiento acústico según se requiera.

Hay tres niveles de aislamiento acústico en un entrepiso. El primero y más básico es la capa de compresión. El concreto de la capa en el NLT ayuda al aislamiento acústico en una medida mayor que el NLT solo. Después, el tapete acústico, que se instala entre el NLT y la capa de compresión, ayuda a disminuir la transferencia de sonidos, aunque todavía puede pasar mucha acústica en lugares de alto sonido. Para mitigar en su mayoría el sonido que pasa entre el NLT se ponen otras piezas de aislamiento acústico debajo del NLT para disminuir al máximo la transmisión de sonido a través del NLT. A continuación, se presenta un ejemplo.

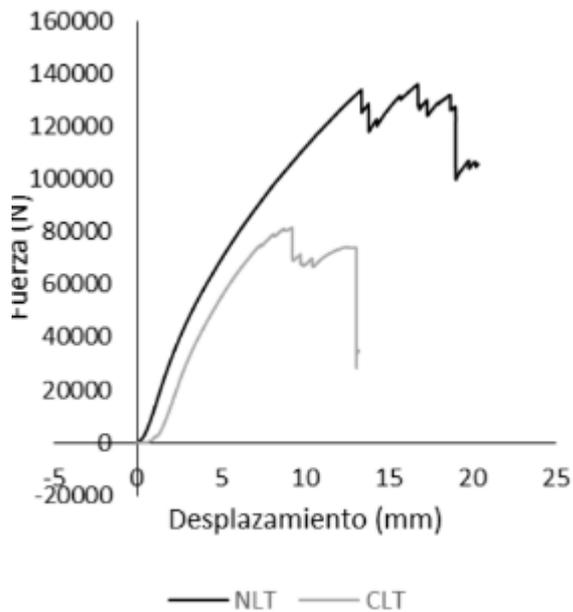


*Figura 6: Corte de NLT con aislamiento acústico*

(Nail-Laminated Timber U.S. Design and Construction Guide v.1, 2017)

1. Capa de compresión de concreto
2. Tapete acústico
3. OSB/ Triplay
4. NLT
5. Materia de absorción de sonido

Un gran ejemplo de la comparación de procesos constructivos en madera, en la investigación del Arq. Christian Hernández Cárdenas que realizó un estudio comparativo de las diferentes pruebas de fuerza vs desplazamiento.



*Figura 7. Gráfico de esfuerzo vs desplazamiento de NLT.*

Hernández-Cárdenas, C. (2018). Construcción con madera masiva. Propuesta para construir vivienda vertical sustentable en Zapopan. Trabajo de obtención de grado, Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.

## **Prueba de Laboratorio II**

### **Metodología**

El CNLT es madera laminada clavada y es el sistema elegido para la intervención a este edificio. En este caso, se decidió construir un modelo de escala real que nos pueda arrojar datos de investigación sobre el comportamiento ante esfuerzos de la madera.



### **Corte y Diseño de Piezas**

El proceso comienza con la selección de elementos, que como ya descritos antes, son maderas que cumplen con una especificación de tamaño y procedencia, que cumple con estándares de densidad y que visualmente están aprobadas para calidad estructural. En este caso, el modelo será construido por 14 tablas en total e la longitud antes descrita. Aquí el material antes de ser cortado.



Las piezas fueron marcadas y llevadas a corte por la máquina de la sierra en rotación. Cada tabla tomó como referencia una primera tabla que estaba cortada a 79cm. La razón del corte más largo que la medida prevista recae en la necesidad de procesar las piezas una vez que están hechos todos los cortes. Las piezas de madera usualmente tienen cierta rectitud y cierta tendencia a disparidad.



Una vez con todas las tablas cortadas, se obtuvieron un total de 18 tablones de 79cm x ancho natural de la tabla. Se escogieron visualmente las mejores tablas que tuvieran menos imperfecciones para así, poder dar una mejor solidez al elemento una vez construido.



Cada tabla pasó por la máquina cepilladora de desbaste para quitar impurezas de la superficie y asegurar una superficie más recta. Las tablas fueron pasadas por esta máquina en ambos sentidos y un total de cuatro veces cada una. Una vez que todas las tablas habían pasado por la máquina de desbaste, entonces se procedió a perfilar la madera de un costado para asegurar su rectitud con el lado paralelo. De esta manera se asegura una rectitud de 90 grados al costado de cada tabla para después, terminar por ajustar en un corte longitudinal.



El último proceso de las piezas antes de comenzar la construcción del modelo recae en su corte longitudinal. En la etapa previa, se aseguró la rectitud de la madera de un costado, pero esta vez se asegura el ancho constante de la tabla, habiendo pasado por todos los procesos anteriores. Se ajusta la anchura determinada, que en este caso fue de 10.5cm y se cortan los excedentes longitudinalmente.

## Construcción de Modelo de CNLT



La construcción del modelo de NLT, una vez teniendo todas las tablas procesadas, comienza con dos tablas. Toda tabla fue marcada a una distancia calculada y diseñada de acuerdo a los clavos a utilizar y las distancias a respetar. En este caso se utilizaron fijadores para asegurar la rectitud de las piezas conforme se fuera formando el sistema completo.



Mediante la utilización de los fijadores laterales y de una pistola neumática de clavos, las piezas fueron colocadas una sobre otra, longitudinalmente y respetando la orientación encontrada de los clavos de las tablas subsecuentes.



Una vez terminada la unión de las 14 tablas, entonces se procedió a realizar el corte del triplay que actúa como separación del sistema de concreto. Esta tabla fue cortada en la sierra de mesa y con mediciones del modelo ya constituido.



Cuando el corte estuvo hecho, entonces se procedió a realizar la unión de ambos sistemas mediante la utilización de la pistola de clavos nuevamente. Todo ello fue hecho a la par de cortar los pedazos sobrantes de madera para utilizarlos de cimbra y, finalmente, colocar las pijas que garantizan la unión de ambos sistemas y fijarlas en su lugar con un taladro.



También se construyó un armado de alambre recocido que asemeja a una malla electrosoldada 10x10, esto para garantizar una resistencia en la capa de compresión del concreto.

**Construcción de Capa de Compresión de Concreto para Sistema Híbrido**

Utilizando una proporcionalidad obtenida previamente en prácticas de concreto, se llevó a cabo una mezcla que tiene como resultado una resistencia de  $f'c$  250kg/cm<sup>2</sup>. Se cuidó y se tuvo en cuenta la humedad de los materiales en estado natural para considerar el agua a agregar de acuerdo con las dotaciones establecidas. A continuación, se muestran las proporciones de cada material utilizadas.



<b>PROPORCIONES DE MATERIALES PARA CONCRETO <math>f'c</math> 250kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>CEMENTO</b>	4.43kg
<b>AGUA</b>	1.92kg
<b>GRAVA</b>	10.02kg
<b>ARENA</b>	6.39kg

*Tabla 6. Tabla de proporciones para mezcla de concreto.*



Una vez habiendo terminado la mezcla, entonces se procedió a realizar la unión entre ambos sistemas, vertiendo el concreto en el modelo preparado con cimbra y aceite desmoldante. En este proceso se aseguró que la malla de compresión tuviera una separación de dos centímetros de la base y de los costados. Así mismo, habiendo completado el llenado del molde, se procedió a vibrar el modelo completo con el propósito de hacer que la mezcla se distribuya homogéneamente y que el aire atrapado por el proceso, se libere.



Resultado final de modelo en su totalidad, cubierto por aislantes de plástico para que el concreto no pierda humedad y colocado en laboratorio para fraguar. En el **anexo X**, se encuentra un manual con las instrucciones de elaboración paso a paso del modelo, apoyado de descripciones gráficas.

## Introducción de Ensayo a Flexión

Se ensaya el modelo construido de CNLT a flexión para comparar los resultados obtenidos por el Mtro. Christian Hernández Cárdenas.

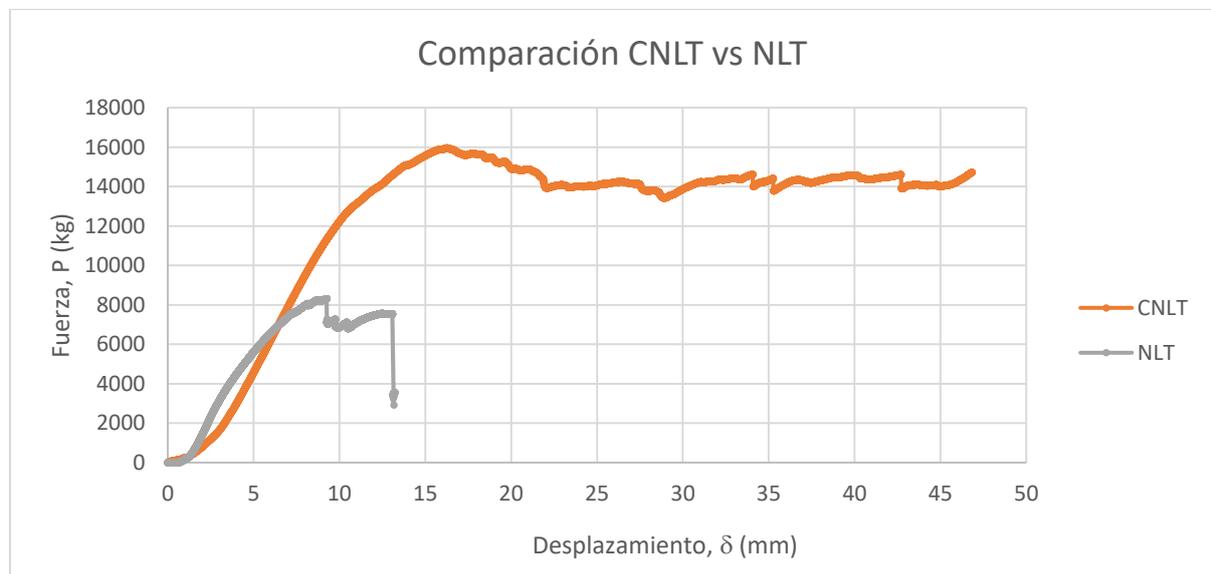
## Descripción

Se realiza el ensayo a flexión en el laboratorio, colocando el elemento de manera simplemente apoyada y con una distancia igual entre apoyos, la carga se centra y se coloca una barra trapezoidal de manera transversal en contacto directo con el elemento y el centro de aplicación de la fuerza para poder generar una carga puntual en todo el ancho de la losa.

## Alcance y Objetivos

- Obtener la resistencia a flexión del CNLT.
- Comparar resultados de NLT contra CNLT para determinar resistencia obtenida por capa de compresión de concreto.
- Analizar resultados de resistencia a la flexión.

## Flexión

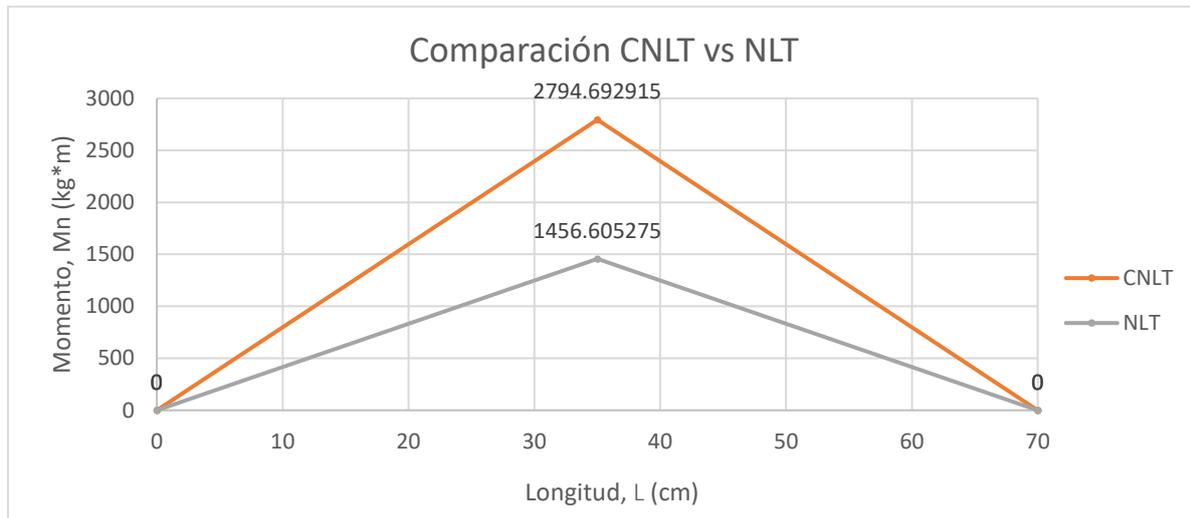


Gráfica 3. Grafica comparativa de NLT con CNLT carga aplicada a flexión.

NLT		CNLT	
$F_{MAX} =$	8323.4587 kg	$F_{MAX} =$	15969.6738 kg
$\delta_{MAX} =$	9.244 mm	$\delta_{MAX} =$	16.268 mm

Tabla 7. Tabla de resultados de NLT y CNLT a flexión.

En la siguiente gráfica se muestra el momento nominal que alcanzó cada sistema que se ensayó, se tomó una longitud de claro de 70 cm (de paño del apoyo al otro paño del apoyo). Como era carga puntual al centro de claro se consigue una distribución de momentos lineal (formando un triángulo).



Gráfica 4. Gráfica comparativa de NLT con CNLT a flexión.

### Conclusiones de Prueba

Como se puede apreciar en los resultados el colocar una capa de compresión de concreto al NLT y hacer que trabaje como sección compuesta (el concreto tome la compresión y la madera la tensión) hace que se consiga casi el doble de resistencia a momento. Una de las cosas que hay de variación es la diferencia de peralte que hay entre el CNLT y el NLT, el CNLT es 5 cm mayor al NLT. También gracias al colocar una capa de compresión de concreto el sistema se tomará como un diafragma rígido.

Lo que hizo falta de diseñar fueron los conectores de cortante, ya que en algún punto de la prueba se pudo observar cómo se deslizó la capa de compresión con el NLT. Revisar el flujo de cortante que tendrá en ese punto el sistema de entrepiso (cambio de concreto a NLT) y garantizar que la distancia entre conectores sea igual o menor que la de diseño.

Creemos que las siguientes pruebas que se deberían de hacer sería una con el mismo peralte de losas para poder comparar sus resistencias porque puede ser que sea mucho más resistente el NLT y barato que fabricar el CNLT.

### 3. Resultados de Trabajo Profesional

#### Modelo Matemático en STAAD

Se tuvo que analizar el contexto en donde se ubica la construcción para poder dar una buena solución a este.

Ya que la construcción se encuentra en San Pedro Tlaquepaque, Jalisco; se utilizó el Reglamento de Construcción de Guadalajara 1997 para obtener las cargas vivas de entrepiso. La carga viva para utilizar fue de aulas: 350 kg/m<sup>2</sup>.

TABLA DE CARGAS VIVAS UNITARIAS, EN kg./m<sup>2</sup>

<i>Destino de piso o cubierta</i>	<i>w<sub>m</sub></i>	<i>Observaciones</i>
a) Habitación (casa/habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	190	(1)
b) Oficinas, despachos y laboratorios	250	(2)
c) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	400	(3) (4)
d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales incluyendo salones de baile y gimnasios	480	(5)
e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, restaurantes, áreas de lectura en bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	350	(5)
f) Comercio, fábricas, talleres, bodegas y áreas de almacenaje	w <sub>m</sub>	(6)
g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%	100	(4) (7)
h) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%	40	(4) (7) (8)
i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	300	
j) Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	250	(9)

Figura 8: Cargas Vivas Unitarias. Fuente: Reglamento de Construcción de Guadalajara 1997

Para el diseño de madera se utilizó el reglamento de NDS, con base al libro de diseño de estructuras de madera LRFD ASD. La filosofía de diseño utilizada fue LRFD (Factores de carga y resistencia). El módulo elástico que se utilizó fue de 265000 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la compresión f<sub>cu</sub> = 220 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la tensión ft<sub>u</sub> = 640 kg/cm<sup>2</sup>. El peso volumétrico que se utilizó fue de ρ = 450 kg/m<sup>3</sup>. Ya que las trabes de concreto se conectaban a columnas se decidió aplicar una carga lateral de 4000 kg en cada orilla de la armadura, para que siguiera trabajando como un marco.

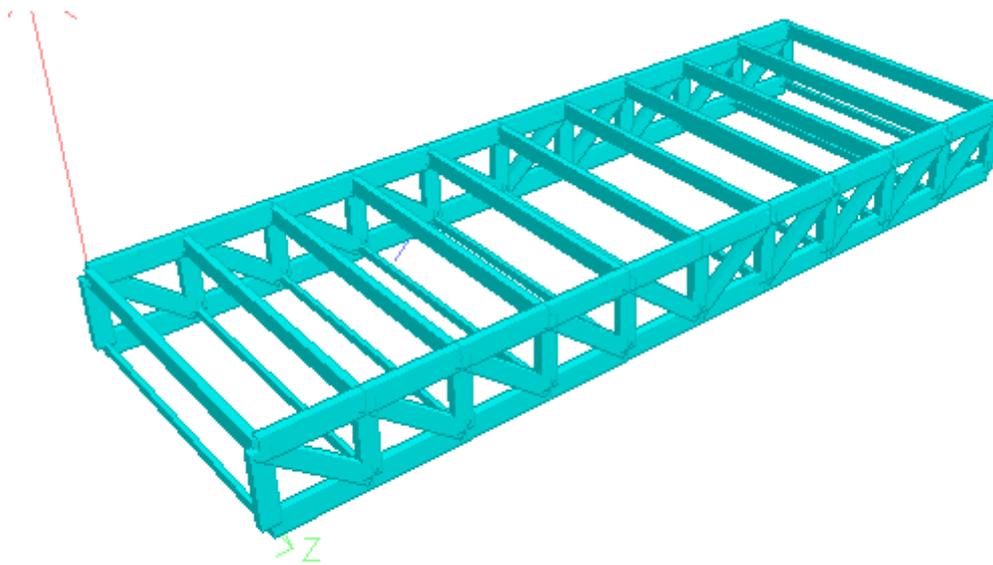
#### Combinaciones de Carga Utilizadas para Diseño

- 1.4 D
- 1.2 D +1.6 L
- 1.2 D +1.0 L + 1.4 SX
- 1.2 D +1.0 L - 1.4 SX

### **Combinaciones de Carga para Servicio**

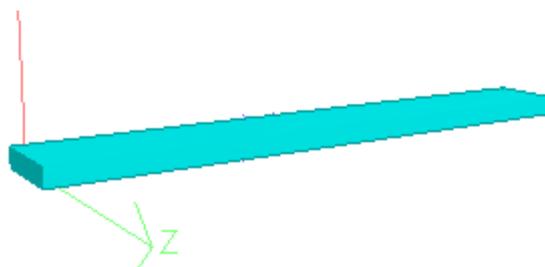
- D
- D + L

El primer diseño fue con dos armaduras a paño del puente y que se conectaban con vigas secundarias de madera, de piso se utilizó una duela de una pulgada de espesor. Se utilizaron arriostramientos en la cuerda inferior de 3 x 1½" ya que si se consideraba el doble de la longitud (156 cm) la resistencia disminuía 3 veces.



*Figura 9: Armadura de madera vista en 3D en el Staad*

El segundo diseño fue un sistema de entrepiso de CNLT solo se utilizaron las primeras dos combinaciones de cargas ya que se estaba pensando como si fuera una losa en una dirección, con una longitud de 786 cm y un ancho de 270 cm. Con las pruebas que hicimos en el laboratorio del CNLT nos percatamos que con eso peralte no era suficiente para resistir el momento entonces se hizo un cambio en la sección.



*Figura 10: CNLT vista en 3D en el Staad (se supone como una trabe tortuga).*

### Análisis de Modelo Matemático

Como todas las barras están trabajando a compresión y tensión dependiendo de las cargas que se le apliquen se necesitaba generar una segunda armadura o restringir la cuerda inferior, es por eso que se optó por arriostrar con unos polines de 3 x 1½"; si no hace esto, se debe de revisar el pandeo de la armadura, ya que es muy esbelta, lo cual generaría un costo más elevado porque necesitas de unas secciones mucho mayores para que no exista un pandeo local de un elemento o de toda la estructura completa.

Para el segundo modelo después de que se realizara el modelo en STAAD y se obtuvieran los momentos de diseño, el momento que la sección estaba pidiendo para el claro era de 6594.97 kg\*m, por lo que se optó por utilizar el mismo método de diseño que concreto reforzado, para que el concreto solo tome la acción de compresión y la madera solo la tensión. Se cambió el esfuerzo de fluencia del acero por el esfuerzo de proporcionalidad de la madera (límite del rango elástico. En la siguiente tabla se muestra los datos y el resultado que se obtuvo de esto.

$h_{\text{madera}} =$	25	cm	$\rho_{\text{madera}} =$	500	kg/m <sup>3</sup>
$b_{\text{madera}} =$	100	cm	$\rho_{\text{concreto}} =$	2400	kg/m <sup>3</sup>
$h_{\text{concreto}} =$	5	cm	L =	7.86	m
$b_{\text{concreto}} =$	100	cm			
$W_{\text{madera}} =$	125	kg/m			
$W_{\text{concreto}} =$	120	kg/m			
$W_{\text{total}} =$	245	kg/m			
$W_{\text{viva}} =$	350	kg/m <sup>2</sup>			
d =	17.5	cm	a =	2.666213843	cm
b =	100	cm	$A_s =$	226.6281766	cm <sup>2</sup>
$f'_c =$	200	kg/cm <sup>2</sup>	$C_{\text{max}} =$	6.5625	cm
$f_y =$	200	kg/cm <sup>2</sup>	$a_{\text{max}} =$	5.578125	cm
$M_u =$	659497.23	kg*cm			

Tabla: Obtención de área de madera por cada metro

Como se aprecia en la tabla anterior nos está pidiendo de 226.62 cm<sup>2</sup>/m lo cual es muy poco ya que si eso lo dividimos entre 100 cm nos dan 2.26 cm de altura lo cual no sería cierto porque en las pruebas no pasó con un peralte mayor. Después de

## **Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

revisar y ver que no tenía sentido, se pensó que también la madera aporta resistencia a compresión y eso cambiaría la manera de calcular el área necesaria de madera para cubrir el momento, lo cual debería ser mayor porque también depende de la parte de madera a compresión.

### **Análisis de Costo**

Se hizo un diseño muy sencillo de la nervadura y la trabe de concreto del puente del edificio arte y cultura para poder sacar una volumetría aproximada de lo que saldría el puente hecho con materiales convencionales (concreto armado) y hecho de madera con conexiones de acero.

Puente																																													
Losa y trabes																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">N-1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Base</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>Altura</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>Espesor</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>Longitud</td><td>2.30</td></tr> <tr><td>No. Elementos</td><td>17</td></tr> </tbody> </table>	N-1		Base	0.10	Altura	0.25	Espesor	0.05	Longitud	2.30	No. Elementos	17	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th>N-1</th> <th>Diámetro #</th> <th>Longitud m</th> <th>Cantidad -</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Refuerzo sup. 1</td><td>3</td><td>0.57</td><td>1</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>Refuerzo sup. 2</td><td>3</td><td>0.57</td><td>1</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>Varilla inferior</td><td>3</td><td>2.64</td><td>1</td><td>1.47</td></tr> </tbody> </table>	N-1	Diámetro #	Longitud m	Cantidad -	Total	Refuerzo sup. 1	3	0.57	1	0.32	Refuerzo sup. 2	3	0.57	1	0.32	Varilla inferior	3	2.64	1	1.47	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">N-1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Acero</td><td>35.82</td></tr> </tbody> </table>	N-1		Acero	35.82							
N-1																																													
Base	0.10																																												
Altura	0.25																																												
Espesor	0.05																																												
Longitud	2.30																																												
No. Elementos	17																																												
N-1	Diámetro #	Longitud m	Cantidad -	Total																																									
Refuerzo sup. 1	3	0.57	1	0.32																																									
Refuerzo sup. 2	3	0.57	1	0.32																																									
Varilla inferior	3	2.64	1	1.47																																									
N-1																																													
Acero	35.82																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">T-1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Base</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>Altura</td><td>0.80</td></tr> <tr><td>Longitud</td><td>7.86</td></tr> <tr><td>No. Elementos</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	T-1		Base	0.40	Altura	0.80	Longitud	7.86	No. Elementos	2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th>T-1</th> <th>Diámetro #</th> <th>Longitud m</th> <th>Cantidad -</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Concreto</td><td></td><td>7.86</td><td>1</td><td>2.52</td></tr> <tr><td>Varilla Sup.</td><td>6</td><td>8.52</td><td>2</td><td>38.12</td></tr> <tr><td>Varilla Inf.</td><td>8</td><td>8.74</td><td>2</td><td>69.57</td></tr> <tr><td>Estribos</td><td>3</td><td>2.36</td><td>28</td><td>36.83</td></tr> </tbody> </table>	T-1	Diámetro #	Longitud m	Cantidad -	Total	Concreto		7.86	1	2.52	Varilla Sup.	6	8.52	2	38.12	Varilla Inf.	8	8.74	2	69.57	Estribos	3	2.36	28	36.83	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">T-1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Concreto</td><td>5.03</td></tr> <tr><td>Acero</td><td>289.04</td></tr> <tr><td>Cimbra</td><td>23.58</td></tr> </tbody> </table>	T-1		Concreto	5.03	Acero	289.04	Cimbra	23.58
T-1																																													
Base	0.40																																												
Altura	0.80																																												
Longitud	7.86																																												
No. Elementos	2																																												
T-1	Diámetro #	Longitud m	Cantidad -	Total																																									
Concreto		7.86	1	2.52																																									
Varilla Sup.	6	8.52	2	38.12																																									
Varilla Inf.	8	8.74	2	69.57																																									
Estribos	3	2.36	28	36.83																																									
T-1																																													
Concreto	5.03																																												
Acero	289.04																																												
Cimbra	23.58																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">Planta baja</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>h = 25</td><td>18.08 m2</td></tr> <tr><td></td><td>18.0780 m2</td></tr> </tbody> </table>		Planta baja		h = 25	18.08 m2		18.0780 m2																																						
Planta baja																																													
h = 25	18.08 m2																																												
	18.0780 m2																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #0056b3; color: white;"> <th colspan="2">Planta baja</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Concreto</td><td>0.9039 m3</td></tr> <tr><td>Cimbra</td><td>22.0080 m2</td></tr> <tr><td>Acero temp</td><td>20.2474 kg</td></tr> </tbody> </table>		Planta baja		Concreto	0.9039 m3	Cimbra	22.0080 m2	Acero temp	20.2474 kg																																				
Planta baja																																													
Concreto	0.9039 m3																																												
Cimbra	22.0080 m2																																												
Acero temp	20.2474 kg																																												

*Tabla: Volumetría de nervaduras, trabes y losa*

Se hizo la suma de todo el acero, concreto y cimbra que se necesitaría para construir este puente y se utilizaron precios unitarios de colado de concreto, habilitado de acero y colocación de cimbra, contando mano de obra y herramienta, estos datos se obtuvieron del proyecto realizado en la materia de Administración de Obra. A pesar de que estos costos no están actualizados, podemos obtener un parámetro muy cercano del costo total.

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

<b>Losa y trabes</b>			
Concreto	5.93 m3	\$ 2430.00 /m3	\$ 15,862.38
Acero	345.11 kg	\$ 22.70 /kg	\$ 8,460.63
Cimbra	45.59 m2	\$ 220.00 /m2	\$ 10,330.24
			\$ 34,653.26

*Tabla: Costo del puente hecho de concreto*

Como se puede apreciar, el costo del puente en concreto está en \$34,653.26 MXN.

<b>Cuerda inferior y superior</b>	
Base	0.08
Altura	0.20
Longitud	7.86
No. Elementos	4

<b>Cuerda inferior y superior</b>	
Longitud (m)	31.44
\$ (m)	\$ 98.43
\$ total	\$ 3,094.64

<b>Diagonales</b>	
Base	0.08
Altura	0.15
Longitud	1.02
No. Elementos	20

<b>Diagonales</b>	
Longitud (m)	20.4
\$ (m)	\$ 98.43
\$ total	\$ 2,007.97

<b>Montantes</b>	
Base	0.08
Altura	0.15
Longitud	0.65
No. Elementos	22

<b>Montantes</b>	
Longitud (m)	14.3
\$ (m)	\$ 98.43
\$ total	\$ 1,407.55

<b>Vigas</b>	
Base	0.06
Altura	0.15
Longitud	2.70
No. Elementos	11

<b>Vigas</b>	
Longitud (m)	29.7
\$ (m)	\$ 98.43
\$ total	\$ 2,923.37

<b>Arriostramientos</b>	
Base	0.04
Altura	0.08
Longitud	2.70
No. Elementos	11

<b>Arriostramientos</b>	
Longitud (m)	29.7
\$ (m)	\$ 98.43
\$ total	\$ 2,923.37

<b>Duela</b>	
Base	2.70
Altura	0.03
Longitud	7.86

<b>Duela</b>	
Área (m <sup>2</sup> )	21,222
\$ (m)	\$ 318.88
\$ total	\$ 6,767.29

<b>Conexiones</b>	
Joist 6x3"	\$ 16.00
Joist 3x1½"	\$ 11.40
Armadura	\$ 22.00
Caja de clavos	\$ 1,180.00

<b>Conexiones</b>	
22	\$ 352.00
22	\$ 250.80
44	\$ 968.00
1	\$ 1,180.00

\$ total	\$ 21,874.99
----------	--------------

*Tabla: Costo del puente hecho de armadura de madera*

Como se puede apreciar, el costo del puente con armaduras de madera está en \$21,874.99 MXN.

**CÁLCULO DE COSTOS PARA CNLT Y NLT DEL SISTEMA PROPUESTO**

**Piezas de Madera (P.T.)**

<b>Trabes</b>	60
<b>Losa</b>	135

**COSTO TRABES**

	\$
<b>Madera</b>	98.43
<b>Mano de Obra</b>	\$ 348.76
	\$ 447.19

**COSTO CNLT**

MATERIALO	COSTO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
	\$		\$
<b>Concreto</b>	1,200.00	1.0611	1,273.32
	\$		\$
<b>Madera</b>	98.43	135	\$ 13,288.05
	\$		\$
<b>Conectores</b>	12.76	52	663.52
	\$		\$
<b>Malla E.S.</b>	70.75	15.72	1,112.19
	\$		\$
<b>Mano de Obra</b>	\$ 348.76	1	348.76
			\$ 16,685.84

**COSTO CONECTORES**

<b>CONECTOR</b>	\$ 240.00
	\$ 7,200.00

<b>COSTO TOTAL</b>	\$ 24,333.03
--------------------	--------------

*Tabla: Costo del puente hecho de CNLT.*

Cualquiera de los diseños tiene un costo debajo de los \$10,000 al de concreto, pero se debe de hacer otra revisión por la interacción de las columnas con la armadura o las trabes de NLT con cada columna.

**Alcances Posteriores**

Para los alcances de este proyecto a futuro, se deben de tener en consideración las siguientes cosas: 1) Interacción de los puentes con la estructura, 2) Sistema híbrido de estructura y 3) Cálculo de acuerdo con reglamentación de toda la estructura.

También se debe de tener en cuenta que el motivo de esta intervención fue el de demostrar las capacidades de un sistema constructivo alternativo, de manera que se pudieran reducir los costos significativamente, proporcionando la misma resistencia que un elemento diseñado a concreto y abonando a la sustentabilidad. De la mano de estos objetivos, es de suma importancia que se tome en cuenta también un diseño de conexiones más profundo que pueda unir dos sistemas, en otras palabras, una conexión híbrida que ayude al comportamiento estructural.

Por último, es necesario decir que el motivo de esta intervención también es incentivar a los propietarios del edificio a construirlo completamente en madera, con su respectivo diseño y cálculo.

#### **4. Conclusiones sobre los aprendizajes, las implicaciones y los aportes sociales del proyecto.**

##### **Conclusiones Generales**

El desarrollo de este proyecto tuvo una colaboración muy importante de Proyectos de Aplicación Profesional pasados, para de esta manera poder contribuir significativamente a la resolución de lo logrado en este proyecto. Es necesario estipular que, para la solución concreta de este tema en particular, hacen falta dos elementos clave que necesitan ser trabajados a lo largo de todo el desarrollo de cualquier tema relacionado a materiales de construcción alternativa, estos son 1) la contribución de información para el desarrollo de reglamentos y códigos que ayuden a promover las características del material para ser utilizado correctamente y 2) la continua evaluación del trabajo y descubrimientos para poder seguir aumentando el impacto de los proyectos.

La solución final de la intervención del nuevo edificio de arte y cultura en el ITESO fue el de proponer un sistema constructivo híbrido y experimental, para poder demostrar la efectividad de los materiales y así, justificar la utilización de estos para aportar a la sustentabilidad. En este esfuerzo combinado de unir dos sistemas para que trabajen como uno, nos vimos a la tarea de realizar el modelo matemático para entender el comportamiento y así poder definir la viabilidad del proyecto.

Es cierto que, de los resultados obtenidos de este trabajo, podemos concluir que el sistema híbrido en efecto si es una solución viable para poder llevar a cabo como intervención en el edificio. Con sus debidos cálculos y con su análisis de costo, podemos también establecer que la metodología es viable para que cumpla con un funcionamiento estructural adecuado.

Una cosa importante que se debe de considerar es el campo de aplicación que puede tener la madera en las edificaciones contemporáneas. La intención debida de este proyecto es abonar a la teoría y experiencia empírica para que este tipo de sistemas

constructivos terminen convirtiéndose en sistemas constructivos convencionales, para así poder aportar a diferente teoría estructural y metodologías actuales. En este caso en particular, logramos lo particular localmente; el próximo paso será realizarlo en grande, apoyado por normas y sustentado con un equipo de trabajo sólido.

**José Ricardo Menchaca Robles**

Como se ha visto en todo el semestre es que no tenemos una cultura sobre utilizar materiales diferentes a los convencionales, es por esto por lo que la madera que se consigue aquí es muy variable en sus especificaciones a diferencia de EEUU y Canadá. Aparte de disminuir la huella de carbono por utilizar materiales en pro al ambiente se puede fomentar la creación de espacios (bosques) que fomenten la fabricación de cierto tipo de madera o bambú.

Pienso que necesitamos tener una cultura a favor de una construcción sustentable, esto creo que se logrará construyendo un edificio alto en el Área Metropolitana de Guadalajara, para que las personas vean que si se puede construir y es algo muy seguro como cualquier material convencional.

**Juan de Dios Morones Tapia**

Lamentablemente hoy en día en nuestro país cuando se habla de materiales de construcción los únicos materiales que se mencionan son; concreto y acero, dejando por fuera la madera simplemente usando dicho material para cimbra. Se han realizado pruebas de la madera a lo largo de la historia y tiene beneficios por encima de los principales materiales utilizados, por ejemplo; mayor resistencia a incendios.

En lo personal, yo solo he visto que se construye con madera en lugares montañosos, y no me ha tocado ver estructuras importantes con madera. Tenía la idea que para construir con madera era necesario tener un lugar ya sea; fresco, montañoso. Me doy cuenta de que no es así, que sólo es necesario tener los datos de los materiales y seguir las normas que existen para diseñar elementos conociendo el comportamiento y as condiciones a las que están sometidos.

**Luis Rey Salas Villaseñor**

Con la realización de este proyecto y de las diferentes actividades realizadas, así como con el transcurso de este PAP, reitero que existen otros materiales y técnicas alternativos a los “convencionales” que se nos son enseñados en la

licenciatura, sería muy interesante que se impartiera algunas materias en las cuales se te enseñe a diseñar para los materiales y técnicas alternativos, debido a que no siempre vas a tener las posibilidades de trabajar con materiales como el concreto o acero.

Considero que la construcción con madera en México es muy poca, por lo que necesitamos fomentar más este sistema constructivo; yo he tenido cercanía con esto, porque en Mascota, Jalisco (pueblo en donde vivía), existen algunas construcciones que están hechas con madera. Para implementar más el uso de este material, primeramente, necesitamos concientizar a las personas que estas construcciones no se van a caer, incluso que pueden ser más resistentes que una convencional. Realizar este proyecto en madera para el puente analizado, es una muy buena opción, ya que así estaríamos fomentando el uso de este material; debemos de comenzar en nuestro círculo y a partir de este extenderlo poco a poco.

### **Ivan Francisco Toscano Vigil**

En México, sabemos que la construcción con madera no está regulada, además de que no existen normas estructurales suficientes para diseñar con este tipo de material, sin embargo, en el desarrollo de este proyecto, quisimos abonar a esta situación para romper poco a poco el paradigma de la construcción con madera. Es cierto que la inversión inicial podría ser mayor a cualquier construcción con materiales constructivos convencionales, pero este costo se vería amortiguado por la sustentabilidad y los largos años de servicio de los edificios siguientes, dado que estos bajarían su costo.

El objetivo es lograr que los materiales alternativos, como en este caso tenemos la madera, se conviertan en materiales convencionales. Existe aún mucho camino por recorrer para lograr el sustento teórico suficiente en el entendimiento del comportamiento de la madera para poder caracterizarla efectivamente, pero este proyecto busca esa causa y además aportar a la sustentabilidad. Con este movimiento, se espera poder incentivar a más personas, sembrarles la curiosidad de retar aquello que no entendemos, todo sustentado por pruebas, reglamentos, teoría y normas.

## **5. Bibliografía**

- Administración Pública de la Ciudad de México (2017). Normas Técnicas Complementarias para la Revisión De Seguridad Estructural en Edificaciones. Ciudad de México. Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Aghayere, Abi (2017). Structural Wood Design, Second Edition. United States of America: CRC Press.
- Anónimo. (-). ¿Qué requisitos debe cumplir la madera para su uso estructural? 04 de junio de 2019, de Madera 21 Sitio web: <https://www.madera21.cl/que-requisitos-debe-cumplir-la-madera-para-uso-estructural/>
- Anónimo. (-). Construcción en Madera: Técnicas, Ventajas y Desventajas. 28 de mayo de 2019, de Maderama Sitio web: <https://maderame.com/construcciones-madera/>
- Anónimo. (2016). Los Cinco Sistemas Constructivos en Madera más Utilizados. 29 de mayo de 2019, de Madera 21 Sitio web: <https://www.madera21.cl/los-cinco-sistemas-constructivos-en-madera-mas-utilizados/>
- Anónimo. (2019). Sistemas constructivos pocos conocidos para construir casas de madera – 3ª parte. 29 de mayo de 2019, de Madera Estructural Sitio web: <https://maderaestructural.wordpress.com/category/sistemas-constructivos/>
- Bernhard E, Bürdek. (2007). DISEÑO (Historia, teoría y práctica del diseño industrial). Barcelona: Gustavo Gili.
- Binational Softwood Lumber Council. (2017c). Nail laminated timber (Ed. rev.). [https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2018/02/NLT\\_Canadian\\_Design\\_Construction\\_Guide.pdf](https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2018/02/NLT_Canadian_Design_Construction_Guide.pdf)
- Chris Lefteri. (2006). MADERA: Materiales para el Diseño. Barcelona: BLUME.
- Diario Oficial de la Federación. (2017). Normas Técnicas Complementarias para la Construcción en el Distrito Federal. México: DOF.
- Directorio Forestal Maderero. (2017). Arquitectura en madera: ¿Qué es CLT?. 04 de junio de 2019, de Forestal Maderero Sitio web: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/arquitectura-en-madera-que-es-clt.html>
- EcoHabitar. (2018). La madera en construcción: un material único. 28 de mayo de 2019, de EcoHabitar Sitio web: <http://www.ecohabitar.org/madera-en-construccion-material-unico/>

***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

Erol Karacabeyli, Brad Douglas. (2013). CLT Handbook Cross Laminated Timber. Estados Unidos: FPIInnovations.

Hernández-Cárdenas, C. (2018). Construcción con madera masiva. Propuesta para construir vivienda vertical sustentable en Zapopan. Trabajo de obtención de grado, Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO  
<https://mx.fsc.org/es-mx/certificacion/certificarse>

Instituto Nacional de Normalización. (2005). Norma Chilena Oficial NCH 1207. Of2005. Chile: Anónima.

International Building Code |2018 ICC premiumACCESS

Nail Laminated Timber U.S Design & Construction Guide v1.0 , 2017 Binational Softwood Lumber Council, Perkins+Will.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. (2014). NMX-C-239-ONNCCE-2014. México: DOF.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. (2006). NMX-C-446-ONNCCE-2006. México: DOF

Ovacen. (2016). La madera en arquitectura y construcción. Más de 50 manuales. 28 de mayo de 2019, de Ovacen Sitio web: <https://ovacen.com/la-madera-en-arquitectura/>

Parker, Harry. (1992). Diseño Simplificado de Estructuras de Madera. México: Limusa.

Roberto Andrade. (2018). La industria de la construcción. Julio 15, 2019, de El Economista Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-industria-de-la-construccion-20180130-0110.html>

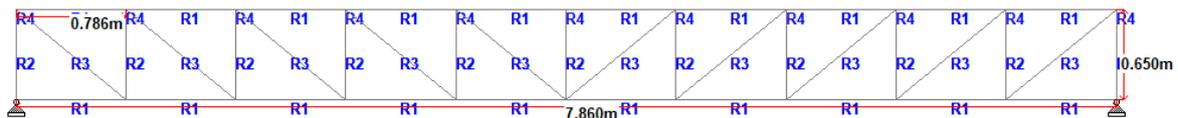
Robles Fernandez, Francisco. (1989). Estructuras de Madera. México: Limusa.

## 6. Anexos

### ANEXO NO. 1: Memoria de Cálculo para Armadura

#### Características de la Estructura

La armadura cuenta con un claro libre de 7.86 metros, con un peralte entre el centroide de la cuerda superior y la inferior de 65 centímetros; se dividió 10 módulos, cada uno de 78.6 centímetros. Las secciones de los montantes y diagonales fueron de 15.24 x 7.62 cm y las cuerdas tuvieron una sección de 20.32 x 7.62 cm. Cada armadura tiene un ancho tributario de 1.35 metros ya que se encuentran en el paño del puente. Esta armadura debe estar apoyada en columnas de concreto y se debe de asentar en una placa de acero.



El sistema de entrepiso de madera se utilizó una duela de 1" de espesor que se apoya en unos montantes con separación de 78.6 cm entre cada uno. Los montantes son de 8" de peralte y 3" de base y tienen una longitud de 2.7 metros cada uno. Se consideró plafón para cubrir por debajo de la armadura (este se puede no utilizar) y se consideró un peso de 8.1 kg/m<sup>2</sup> y las instalaciones sanitarias, hidráulicas y eléctricas de 20 kg/m<sup>2</sup>.

Se utilizó el Reglamento de Construcción de Guadalajara para obtener las cargas vivas de entrepiso. La carga viva para utilizar fue de aulas: 350 kg/m<sup>2</sup>.

TABLA DE CARGAS VIVAS UNITARIAS, EN kg./m<sup>2</sup>

Destino de piso o cubierta	w <sub>m</sub>	Observaciones
a) Habitación (casa/habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	190	(1)
b) Oficinas, despachos y laboratorios	250	(2)
c) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	400	(3) (4)
d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales incluyendo salones de baile y gimnasios	480	(5)
e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, restaurantes, áreas de lectura en bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	350	(5)
f) Comercio, fábricas, talleres, bodegas y áreas de almacenaje	w <sub>m</sub>	(6)
g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%	100	(4) (7)
h) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%	40	(4) (7) (8)
i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	300	
j) Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	250	(9)

Figura 1. Cargas Vivas Unitarias. Fuente: Reglamento de Construcción de Guadalajara 1997

Teniendo estos datos se procedió al análisis de cargas del entrepiso de madera para poder diseñar los montantes que se apoyarán en la armadura.

Análisis de cargas - Entrepiso madera

---

Entrepiso

---

Entrepiso de madera con duela de 2.54 cm, separación de vigas a 78.6 cm			
Material	Cantidad	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>2</sup> )
Duela h=2.54cm	2.54 cm	500	12.7
Plafón	-	-	8.1
Instalaciones	-	-	20
<b>CM Total</b>			<b>40.80</b> kg/m <sup>2</sup>
<b>CM Redondeado</b>			<b>41.00</b> kg/m <sup>2</sup>

Cargas vivas CV	W (kg/m <sup>2</sup> )	W <sub>acc</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	W <sub>max</sub> (kg/m <sup>2</sup> )
Aulas	100	250	350

Tabla 1. Análisis de cargas de entrepiso de madera sin montantes.

Para el diseño de los montantes se utilizó el reglamento de NDS, con base al libro de diseño de estructuras de madera LRFD ASD. La filosofía de diseño utilizada fue LRFD (Factores de carga y resistencia). El módulo elástico que se utilizó fue de E<sub>min</sub> = 172250 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la flexión f<sub>flex</sub> = 310 kg/cm<sup>2</sup>. El peso volumétrico que se utilizó fue de ρ = 500 kg/m<sup>3</sup>.

Combinaciones de carga utilizadas para diseño del montante:

- 1.4 D.
- 1.2 D +1.6 L.

Combinaciones de carga para servicio:

- D.
- D + L.

$l_u =$	270	cm
$d =$	15.24	cm
$b =$	6.35	cm

$l_u/d$	17.7165354
---------	------------

$l_e =$	485.82	cm
---------	--------	----

$R_B =$	13.5505353
$\phi_b =$	0.85
$\phi_s =$	0.85
$C_t =$	0.9
$C_i =$	0.8
$C_M =$	0.8
$C_c =$	1
$C_F =$	1
$C_r =$	1
$C_T =$	1
$\lambda =$	0.8
$K_F =$	2.16

$E_{min} =$	172250	kg/cm <sup>2</sup>
$E'_{min n} =$	84333.6	kg/cm <sup>2</sup>

$F_b =$	310
$F'_{bxn} =$	262.268928
$F_{bEn} =$	551.148944
$C_L =$	0.95967021

$F_{bxn} =$	251.691676	kg/cm <sup>2</sup>
$M_n =$	618.67314	kg*m

Longitud =	2.7	m
Ancho =	0.8	m
$\rho_{madera} =$	500	kg/m <sup>3</sup>

$W =$	493.16644	kg/m
-------	-----------	------

$M_u =$	449.397918	kg*m
---------	------------	------

73%

Tabla 2. Diseño de montantes a flexión

Para el diseño de armadura se utilizó el reglamento de NDS, con base al libro de diseño de estructuras de madera LRFD ASD. La filosofía de diseño utilizada fue LRFD (Factores de carga y resistencia). El módulo elástico que se utilizó fue de  $E = 265000$  kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la compresión  $f_{cu} = 210$  kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la tensión  $f_{tu} = 600$  kg/cm<sup>2</sup>. El peso volumétrico que se utilizó fue de  $\rho = 500$  kg/m<sup>3</sup>.

## ***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

Para diseño de la armadura se utilizó las siguientes combinaciones de carga, ya que estas trabajan como marco con las columnas.

Combinaciones de carga utilizadas para diseño

- 1.4 D.
- 1.2 D +1.6 L.
- 1.2 D +1.6 L + 1.4 Sx.
- 1.2 D +1.6 L - 1.4 Sx.

Combinaciones de carga para servicio:

- D.
- D + L.

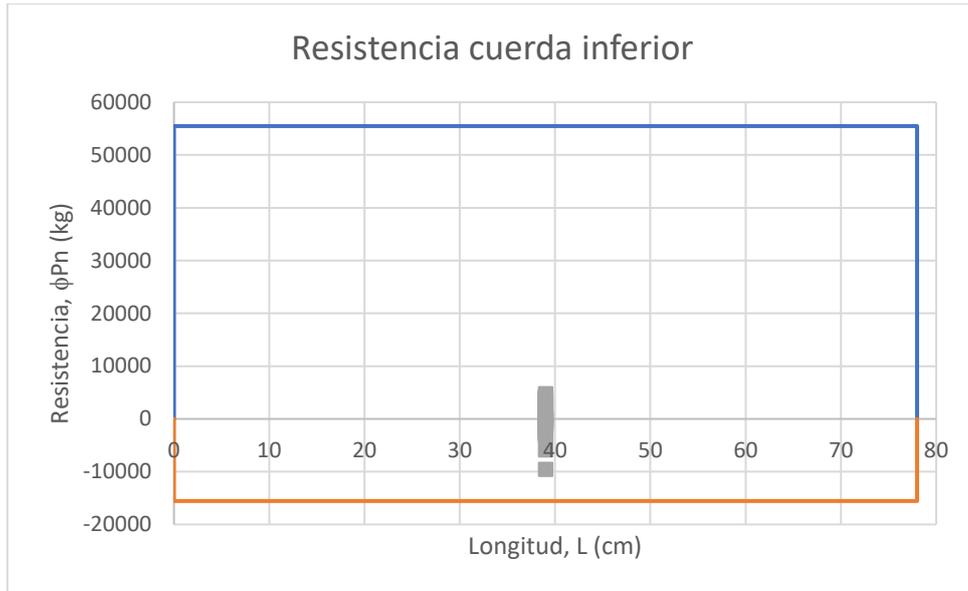
Resistencia de las cuerdas

Las cuerdas tienen una sección de 20.32 x 7.62 cm y las diagonales y montantes son secciones de 15.24 x 7.62 cm.

Tensión cuerda inferior y superior									
	Clase								
	Datos								
$F_R =$	0.8								
$f_{cu}' (kg/cm^2) =$	600								
$K_e =$	2.16								
$\lambda =$	0.6								
$C_m =$	0.8								
$C_t =$	0.9								
$C_f =$	1								
$C_i =$	0.8								
$C_T =$	1								
$f_{tu} (kg/cm^2) =$	447.8976								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>T_R (kg)</math></th> </tr> <tr> <th>Clase</th> </tr> <tr> <th>Datos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_R (kg) =</math></td> </tr> <tr> <td>55481.4</td> </tr> </tbody> </table>		$T_R (kg)$	Clase	Datos	$T_R (kg) =$	55481.4
$T_R (kg)$									
Clase									
Datos									
$T_R (kg) =$									
55481.4									
Cuerda inferior			$T_R (kg) =$	55481.4					
$b (cm) =$	7.62	cm							
$h (cm) =$	20.32	cm							
$A =$	154.8384	$cm^2$							

Compresión cuerda inferior y superior									
	Clase								
	Datos								
$F_R =$	0.9								
$F_{RE} =$	0.85								
$f_{cu}' (kg/cm^2) =$	210								
$K_e =$	2.16								
$\lambda =$	0.6								
$C_m =$	0.8								
$C_t =$	0.9								
$C_f =$	1								
$C_i =$	0.8								
$C_T =$	1								
$K_{cE} =$	0.822								
$E_{0.05} (kg/cm^2) =$	172250								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Compresión</th> </tr> <tr> <th>Clase</th> </tr> <tr> <th>Datos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>C_R (kg) =</math></td> </tr> <tr> <td>-15549.3</td> </tr> </tbody> </table>		Compresión	Clase	Datos	$C_R (kg) =$	-15549.3
Compresión									
Clase									
Datos									
$C_R (kg) =$									
-15549.3									
Barra 1			$C_R (kg) =$	-15549.3					
$E_{min} (kg/cm^2) =$	84333.6								
$c =$	0.8								
$f_{cEn} (kg/cm^2) =$	150.0219								
$b (cm) =$	7.62								
$h (cm) =$	20.32								
$L_u (cm) =$	78								
$f_{cn} (kg/cm^2) =$	141.0877								
$C_p =$	0.711775								
$K_s =$	2.1								
$A (cm^2) =$	154.8384								

Tabla 3. Resistencia de cuerda superior e inferior con los resultados de las pruebas realizadas



Gráfica: Resistencia de cuerda inferior y fuerzas actuante en esta.



Gráfica 1. Resistencia de cuerda superior y fuerzas actuante en esta.

Resistencia de montantes y diagonales

Los montantes y las diagonales tienen una sección de 15.24 x 7.62 cm.

Tensión diagonales			
	Clase		
	Datos		
$F_R =$	0.8		
$f_{cu}'$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	600		
$K_e =$	2.16		
$\lambda =$	0.6		
$C_m =$	0.8		
$C_t =$	0.9		
$C_f =$	1		
$C_i =$	0.8		
$C_T =$	1		
$f_{tu}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	447.8976		
			$T_R$ (kg)
			Clase
			Datos
Diagonales			$T_R$ (kg) = 41611.05
$b$ (cm) =	7.62	cm	
$h$ (cm) =	15.24	cm	
$A =$	116.1288	cm <sup>2</sup>	

Compresión diagonales			
	Clase		
	Datos		
$F_R =$	0.9		
$F_{RE} =$	0.85		
$f_{cu}'$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	210		
$K_e =$	2.16		
$\lambda =$	0.6		
$C_m =$	0.8		
$C_t =$	0.9		
$C_f =$	1		
$C_i =$	0.8		
$C_T =$	1		
$K_{cE} =$	0.822		
$E_{0.05}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	172250		
			Compresión
			Clase
			Datos
Barra 1			$C_R$ (kg) = -8412.42029
$E_{min}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	84333.6		
$c =$	0.8		
$f_{cEn}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	87.72906		
$b$ (cm) =	7.62		
$h$ (cm) =	15.24		
$L_u$ (cm) =	102		
$f_{cn}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =	141.0877		
$C_p =$	0.513442		
$K_o =$	2.1		
$A$ (cm <sup>2</sup> ) =	116.1288		

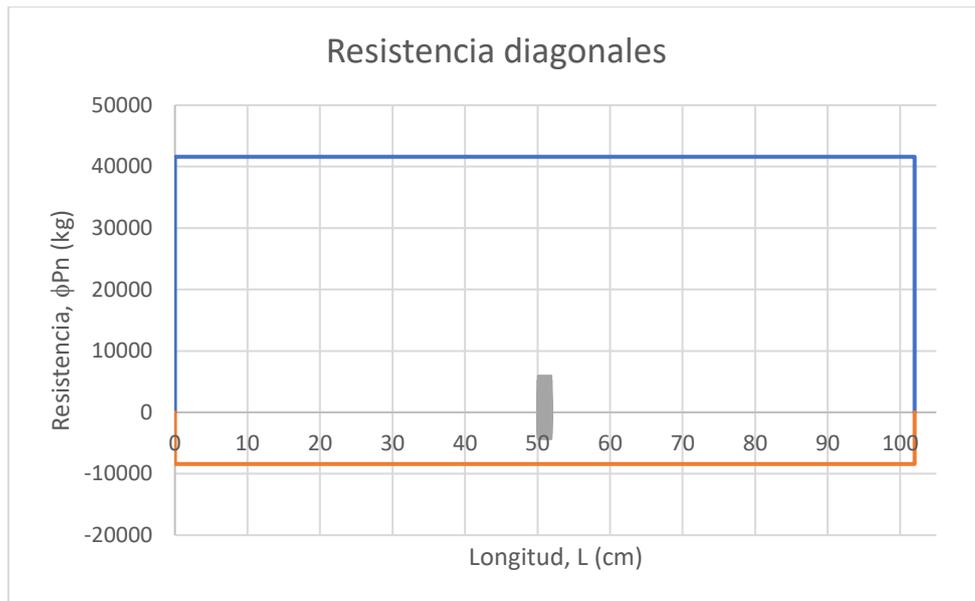
Tabla 4. Resistencia de diagonales con los resultados de las pruebas

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

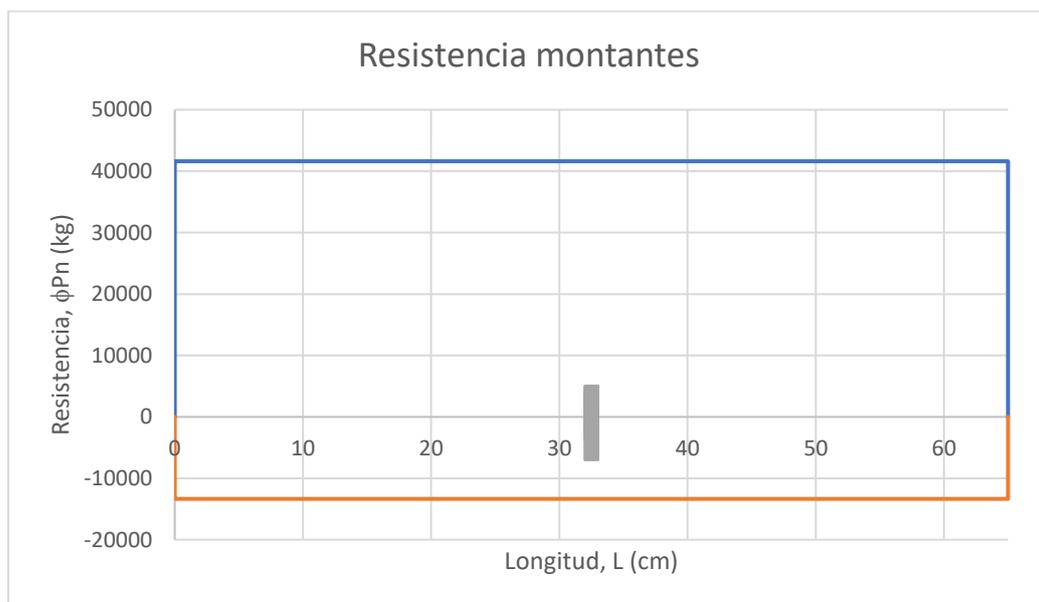
Tensión montantes				
	Clase			
	Datos			
$F_R =$	0.8			
$f_{cv}' (kg/cm^2) =$	600			
$K_e =$	2.16			
$\lambda =$	0.6			
$C_m =$	0.8			
$C_t =$	0.9			
$C_f =$	1			
$C_i =$	0.8			
$C_T =$	1			
$f_{vu} (kg/cm^2) =$	447.8976			
			T <sub>R</sub> (kg)	
			Clase	
			Datos	
Montantes			T <sub>R</sub> (kg) =	
b (cm) =	7.62	cm		
h (cm) =	15.24	cm		
A =	116.1288	cm <sup>2</sup>	41611.05	

Compresión montantes				
	Clase			
	Datos			
$F_R =$	0.9			
$F_{RE} =$	0.85			
$f_{cv}' (kg/cm^2) =$	210			
$K_e =$	2.16			
$\lambda =$	0.6			
$C_m =$	0.8			
$C_t =$	0.9			
$C_f =$	1			
$C_i =$	0.8			
$C_T =$	1			
$K_{cE} =$	0.822			
$E_{0.05} (kg/cm^2) =$	172250			
			Compresión	
			Clase	
			Datos	
Barra 1			C <sub>R</sub> (kg) =	
$E_{min} (kg/cm^2) =$	84333.6			
$c =$	0.8			
$f_{cEn} (kg/cm^2) =$	216.0315			
b (cm) =	7.62			
h (cm) =	15.24			
Lu (cm) =	65			
$f_{cn} (kg/cm^2) =$	141.0877			
$C_p =$	0.814714			
$K_c =$	2.1			
A (cm <sup>2</sup> ) =	116.1288		-13348.56444	

Tabla 5. Resistencia de los montantes con los resultados de las pruebas



Gráfica 2. Resistencia de diagonales y fuerzas actuante en esta.



Gráfica 3. Resistencia de montantes y fuerzas actuante en esta.

El peso de la armadura sin contar la conexión es de 222.442 kg, si contamos el entrepiso completo es de 1649.7 sin contar los arriostramientos de abajo.

Los polines que se deberán de utilizar para arriostrar a cada 78.6 centímetros la cuerda inferior son de 3 x 1 1/2".

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

Diseño de Conexión Atornillada							
Datos Generales de la Viga y de la Conexión							
Designación	MADERA			Fy Viga	Fy viga	200.00	kg/cm <sup>2</sup>
Peralte	d	20.32	cm	Fy Placas de Conexión	Fy placa	2530.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ancho de Patin	bf		cm	Cortante Actuante	V	10000	kg
Espesor del Alma	tw	7.62	cm	Momento Actuante	M	0	kg·m
Espesor de Patin	tf		cm				
Distancia	k	2.00	cm	Esf. de Fluencia de la Soldadura	Fw	4215.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Conexión a Cortante (Cortante Simple)							
Conexión por Fricción ó por Aplastamiento	tipo de conexión	2	1: Fricción 2: Aplastamiento	Numero de Tornillos Requerido	# tor nec	4.00	tornillos
				Numero de Tornillos Real	# tor real	2	tornillos
Esfuerzo Permitido de Cortante en el Area Neta	Fv (A neta)	1480	kg/cm <sup>2</sup>	No Pasa			
Esfuerzo Permitido de Cortante en el Area Total	Fv (A total)	2110	kg/cm <sup>2</sup>	Numero de Ejes de Tornillos	No. de Ejes	2	eje
				Numero de Tornillos por eje	# tor / eje	2	tornillos
Ubicación de las Roscas	Ubicación de la Rosca	1	1: Dentro del Corte 2: Fuera del Corte	Ok!			
Esfuerzo Permitido de Cortante	Fv	1480	kg/cm <sup>2</sup>	Separación Mínima entre Tornillos	S tor	3.81	cm
				Distancia mínima al Borde	S min	1.67	cm
Diametro del Tornillo Propuesto	Ø tor	13	mm	Longitud Mínima de Placa	L mínima	11.42	cm
Diametro del Tornillo Propuesto	Ø tor	3/8"	in	Longitud Máxima	L máxima	16.32	cm
Diametro del Tornillo Propuesto	Ø tor	0.95	cm	Longitud Calculada	L calculada	7.15	cm
Diametro del Barreno	Ø barreno	1.27	cm	Longitud mínima Requerida	L requerida	11.424	cm
Area Neta	A neta	0.45	cm <sup>2</sup>	Longitud Real	L real	40.00	cm
Area Total	A total	0.71	cm <sup>2</sup>	Ok!			
Fuerza Resistente por Tornillo	F resist	666.00	kg	Distancia Mínima al Borde Real	S min real	5.00	cm
Fuerza Actuante Total	V	10000	kg	Separación Real entre Tornillos	S tor real	30.00	cm
Longitud Neta de Placa	L neta	37.46	cm	Base mínima de Placa	b mínima	7.15	cm
Espesor de placa necesario	es nec	2.64	mm	Base Real de Placa	b real	20.00	cm
Espesor de Placa Real	es real	6.35	mm	Ok!			
				Fuerza de Aplastamiento Almas	P aplas. Alma	1961	kg
				Ok!			
Espesor de Soldadura Calculado	tc cal	1.40	mm	Fuerza de Aplastamiento Placa	P aplas. Placa	2067	kg
Espesor de Soldadura Real	tc real	6.35	mm	Ok!			
				Fuerza de Desgarre Alma	P desg Alma	6096	kg
				Ok!			
Tamaño Real de la Placa	Espesor	Ancho	Largo	Fuerza de Desgarre Placa	P desg Placa	6426	kg
	6	200	400	Ok!			

*Tabla 3. Diseño de conexión de armadura.*

El diseño de conexión se hizo considerando que el fy de las piezas de madera es igual a 200 kg/cm<sup>2</sup>. Se consideraron tornillos A-325 de 1/2" de diámetro. En todas las conexiones se consideró un tornillo para cada elemento que llega al nodo. La placa propuesta es de acero estructural Grado 50 con un espesor de 1/4".

Diseño NLT

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

Momento Resistente NLT, Trabe		
lu =	786	cm
d =	60	cm
b =	20	cm
lu/d	13.1	
le =	1461.18	cm
R <sub>B</sub> =	14.8046277	
φ <sub>b</sub> =	0.85	
φ <sub>s</sub> =	0.85	
C <sub>t</sub> =	0.9	
C <sub>i</sub> =	0.8	
C <sub>M</sub> =	0.8	
C <sub>c</sub> =	1	
C <sub>F</sub> =	1	
C <sub>r</sub> =	1	
C <sub>T</sub> =	1	
λ =	0.8	
K <sub>F</sub> =	2.16	
E <sub>min</sub> =	172250	kg/cm <sup>2</sup>
E' <sub>min n</sub> =	84333.6	kg/cm <sup>2</sup>
F <sub>b</sub> =	200	
F' <sub>bxn</sub> =	169.20576	
F <sub>bEn</sub> =	461.72874	
C <sub>L</sub> =	0.97303732	
F <sub>bxn</sub> =	164.643519	kg/cm <sup>2</sup>
Mn =	19757.2223	kg*m
Longitud =	7.86	m
Ancho =	1.35	m
ρ <sub>madera</sub> =	500	kg/m <sup>3</sup>
W =	1143.9	kg/m
Mu =	8833.71056	kg*m

*Tabla 4. Momento resistente y actuante en la trabe de NLT.*

Compresión NLT Trabe			
	Clase		
	Datos		
$F_R =$	0.9		
$F_{RE} =$	0.85		
$f_{cu}' (kg/cm^2) =$	210		
$K_e =$	2.16		
$\lambda =$	0.6		
$C_m =$	0.8		
$C_t =$	0.9		
$C_f =$	1		
$C_i =$	0.8		
$C_T =$	1		
$K_{CE} =$	0.822		
$E_{0.05} (kg/cm^2) =$	172250		
		Compresión	
		Clase	
		Datos	Pu (kg)
Barra 1			
$E_{min} (kg/cm^2) =$	84333.6		
$c =$	0.8		
$f_{cEn} (kg/cm^2) =$	628.77296		
$b (cm) =$	20		
$h (cm) =$	60		
$Lu (cm) =$	100		
$f_{cn} (kg/cm^2) =$	141.08774		
$C_p =$	0.9486872		
$K_e =$	2.1		
$A (cm^2) =$	1200		
	$C_R (kg) =$	-160617.76	-20000
			51%

Tabla 5. Compresión resistente y actuante en la trabe de NLT.

La trabe está trabajando al 51%, pero hace falta la revisión del momento en eje débil por lo cual es un buen porcentaje porque puede alcanzar el 70 u 80% de trabajo.

Se utilizará el CNLT como losa apoyado a las traves de NLT, con dimensiones de 60 x 20 centímetros y la losa de CNLT tiene unas dimensiones de 15 centímetros de madera y 5 centímetros de concreto; esta no lleva armado porque está trabajando a compresión, solo lleva una malla electrosoldada y las conexiones de concreto a madera para asegurar que trabaje monolíticamente.

## **ANEXO NO. 2: Manual de Elaboración de CNLT (*Compound Nailed Laminated Timber*)**

### **Antecedentes**

El NLT es una tecnología de construcción que consiste en utilizar elementos de madera tipo tablón y son unidos por clavos, para generar elementos más grandes. Estos elementos son usados para formar losas de entrepiso.

En este proyecto se hizo un híbrido de madera con concreto, donde utilizamos el NLT y le colocamos una capa de compresión de concreto. A continuación, se presenta un manual de la construcción de este NLT, que fue el modelo elaborado. Este modelo se dejará 28 días a que el concreto de la capa de compresión se endurezca al cien por ciento de su resistencia, para ser probado posteriormente.

### **Objetivo**

Realizar un modelo de NLT con capa de compresión para ver la funcionalidad del concreto en conjunto con el NLT. Además, comparar el modelo con uno hecho con solo NLT y ver la diferencia de resultados y comportamiento.

### **Materiales**

- 5 tablas de 2cm de espesor, 11.3cm de ancho y 245cm de largo
- Una lámina de triplay de 3mm de espesor, que pueda cubrir un área de 77cm x 29cm
- 105 clavos de 1 ½" y 0.128" de diámetro
- 12 tornillos para madera de 1 ½"
- Flexómetro
- Grava de ¾"
- Arena de río
- Cemento portland gris
- Agua
- Alambre de calibre 18
- Alambre de cobre
- Madera para cimbra

## ***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

- Desmoldante

### **Equipo**

- Cortadora de madera
- Pistola de clavos
- Taladro
- Pinzas de corte
- Martillo
- Cucharón
- Cuchara
- Probeta graduada
- Pala

### **Proceso**

La construcción del modelo de NLT se elabora en dos fases, la primera es de cortado y clavado de la madera y el triplay, y la segunda es de la capa de compresión. A continuación, se explicará el proceso detallado por pasos de las dos fases de elaboración.

#### **Primera Fase: Corte y Clavado**

Para la primera fase, es necesario preparar, las tablas, el triplay, los clavos y los tornillos para madera. Además de estar en el taller donde se encuentre la cortadora de madera, la pistola de clavos, y el taladro.

1. Con el flexómetro se marcan las tablas a cada 77cm para hacer los cortes. Se marcan, para que quede en total 14 tablas cortadas de 77cm de largo.
2. Con la cortadora de madera se cortan las 14 tablas
3. Las tablas ya cortadas, se marca el lugar donde quedarán los clavos. Se toman 7 de las 14 tablas y se marcan de la forma explicada a continuación.

Para la colocación de los clavos, se pone la primera marca en una de las esquinas de la tabla. Esta marca tiene que estar a media pulgada de distancia de cada una de las orillas.

## ***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

La segunda marca irá a 5 pulgadas de distancia longitudinal de la tabla, pero en el lado opuesto del primer clavo, cuidando que esté a una distancia de media pulgada de la orilla.

Para las siguientes marcas se repite el espaciado de 5 pulgadas y en la orilla opuesta de la marca anterior, dejando la misma separación de la orilla de media pulgada. En el caso de la última marca, que quedará de nuevo en la esquina, es probable que no quede a la distancia de 5 pulgadas de la anterior, pero de todos modos cuidar la media pulgada de separación de ambas orillas.

4. Ahora para las siguientes posiciones de los clavos, se toman 6 de las 14 tablas (las tablas que no están marcadas) y se marcan de la forma explicada a continuación.

Se marca de la misma manera que las 7 tablas anteriores, pero ahora se empieza por la orilla opuesta (en la esquina), de misma manera, se deja una distancia de media pulgada de separación de cada orilla. Se dejan 5 pulgadas de separación de la marca anterior y se coloca del lado opuesto de la anterior y cuidando la media pulgada de separación de la orilla. Así se continúa hasta llegar a la marca que corresponde al clavo de la esquina y se deja la misma separación de media pulgada de las 2 orillas.

5. Inicia el clavado de las tablas. Primero se coloca la tabla que no fue marcada sobre la superficie que se usará para clavar, se coloca el espesor de la tabla sobre la superficie, de manera que se vea el ancho a los lados de la tabla. Una de las 7 tablas marcadas como especifica el paso "3", se coloca pegada a la primera tabla de forma que sus anchos se junten y las marcas hechas sean visibles de un lado. Una vez colocadas esas dos tablas, se ponen los clavos en las marcas con la pistola de clavos, dejando unidas estas dos tablas.

6. Una vez unidas las primeras dos tablas con los clavos, se coloca una de las tablas marcadas como el paso "4", unida a la tabla clavada, de manera que se vean las marcas. Se colocan los clavos con la pistola en las marcas y se dejan unidas estas 3 tablas.

7. Se repite el proceso de clavado alternando las tablas marcadas del paso "3" y del paso "4", dejando todas las tablas unidas por clavos.

8. Ahora se corta el triplay de las medidas que quedó el conjunto de tablas. (Llamado NLT).

9. Se coloca el triplay sobre el conjunto de tablas clavadas alineando los bordes del triplay con los del NLT.

10. Se marca el triplay en las esquinas a 3 cm de distancia de cada orilla. En el lado más corto del triplay se pone otra marca justo en medio de las otras dos puestas en la esquina, y en los lados

## ***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

largos se colocan dos filas de marcas, con la distancia distribuida entre las tres marcas de los lados cortos, de manera que se hace una retícula de 12 marcas donde irían los clavos. Estos clavos servirán para fijar el triplay en el NLT.

11. Se colocan los clavos con la pistola en las marcas puestas en el triplay.

12. Con el taladro se colocarán los tornillos metálicos de la siguiente manera:

Se colocaron los tornillos en 4 filas a lo largo del triplay, en el sentido largo la primera fila de tornillos será con una separación de 3cm de la orilla larga del triplay. En esta fila irán 3 tornillos los de las orillas estarán a 20.5cm de distancia de la orilla del lado corto, y el tercer tornillo se pondrá a 18cm de distancia entre los otros dos

La segunda fila irá a 11cm de la orilla del lado largo, y tendrá 4 tornillos esta fila. Los tornillos de los extremos estarán a 11.5cm y los otros dos tornillos centrales estarán a una distancia de 18cm de los de los extremos.

Para la tercera fila y cuarta serán equidistantes a las primeras dos, de forma que la fila 1 será igual que la fila 4 y la fila 2 a la fila 3.

Es muy importante que se deje una distancia sin atornillar en la madera de al menos media pulgada. Hay un total de 18 tornillos en el NLT.

### **Segunda Fase: Capa de Compresión**

En esta fase se realiza la capa de compresión del NLT que irá unida a los tornillos dejados en la fase anterior. La mezcla se hará para un concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

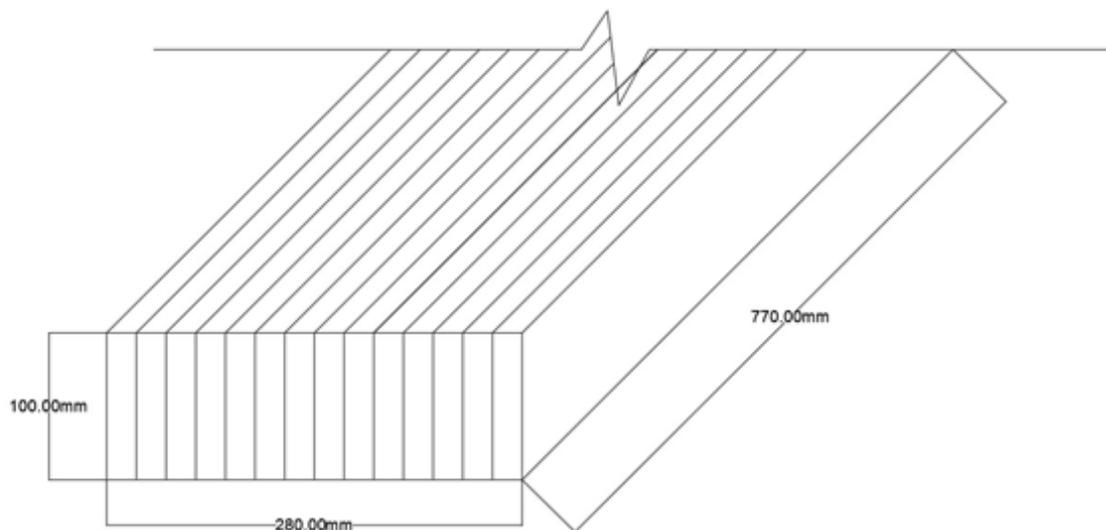
1. Con un taladro y las pinzas, se detiene el alambre de las puntas y se estira para tensar el alambre y dejarlo estirado
2. Con las pinzas de corte se hacen tramos de 30cm y de 80cm (2 de 80cm y 7 de 30cm)
3. Se realiza una retícula con los tramos de 30cm en una dirección y los de 80cm en una dirección perpendicular (la malla puede ser de las medidas y separaciones deseadas)
4. Con el alambre de cobre se hacen amarres en los cruces para dejar la malla unida
5. En las puntas de todos los extremos se hace un dobléz de 2cm aproximadamente hace una dirección perpendicular al plano de la malla. Con eso se termina la malla de acero.

## ***Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente***

6. Con la madera sobrante u otra madera no utilizada, se realizará la cimbra, que tiene que medir 5cm de altura y que cubra todo el perímetro del NLT.
7. Con clavos y el martillo se fabrica y se fija la cimbra
8. En el NLT se sienta la malla de alambre calzándola para que no toque la madera.
9. Con el cucharón se colocan las proporciones de grava, arena y cemento, y con la probeta graduada se adiciona el agua (Las proporciones tienen que ser adecuadas a un concreto de  $f'c$  de 250kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días) Y con la pala se hace la mezcla.
10. Se realiza también un cilindro de concreto para validar la resistencia de concreto usado para el modelo
11. Se cuela el concreto sobre la cimbra y el NLT y se enrasa para dejar una altura de 5cm
12. Un día después se desmolda la cimbra y se trata durante 28 días para el proceso de fraguado del concreto

Una vez pasados los 28 días, el modelo estaría terminado y listo para probarse.

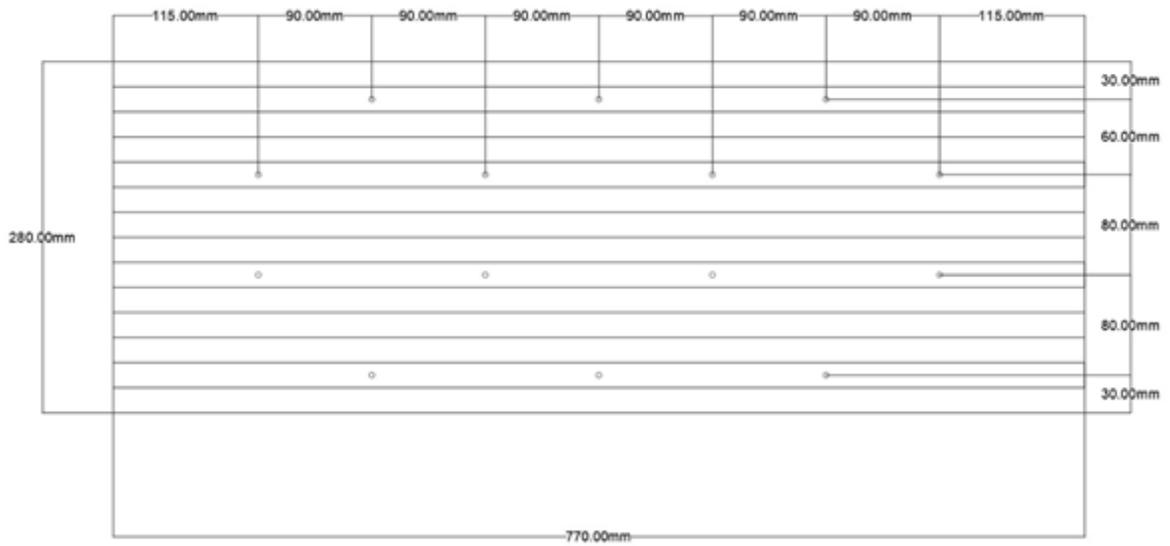
A continuación, se presentan anexos fotográficos que pueden ayudar a la elaboración de este modelo de losa de entrapiso de NLT con capa de compresión.



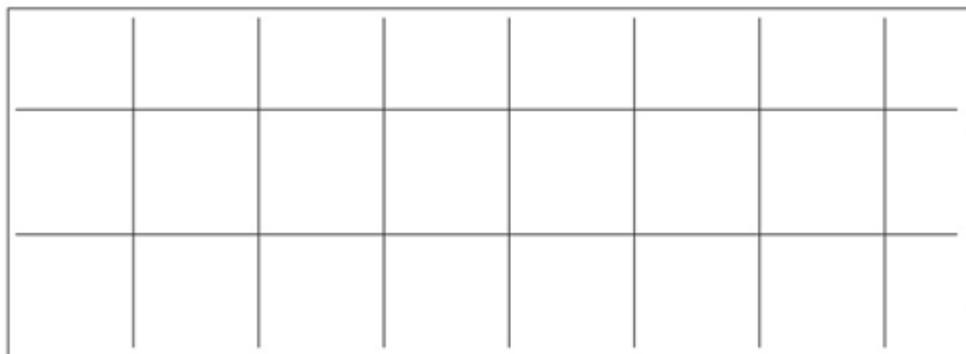
(Figura 1: Acomodo de las tablas para hacer el NLT)



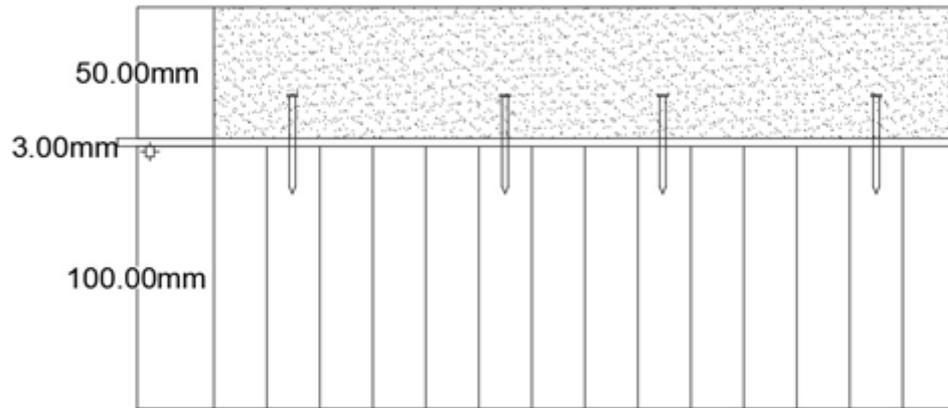
(Figura 2: Distribución de los clavos en las tablas)



(Figura 3: Acomodo de los tornillos de acero para conexión NLT – Concreto)



(Figura 4: Malla de acero sobre el NLT)



(Figura 5: Corte de NLT con capa de compresión terminado)