

UNIVERSIDAD DEL BÍO- BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ms. Juan Marcus Schwenk

**“ANÁLISIS DE CONECTORES DE CORTE EN
LOSAS DE MADERA CONTRALAMINADA CON
SOBRELOSA DE HORMIGÓN”**

**PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

ÁLVARO CRISTÓBAL LUNA RAMÍREZ

Concepción, 13 Abril de 2017

Dedicatoria

*Para mi familia en general, por su apoyo incondicional
en cada etapa de mi vida,*

*“Aunque el final del mundo sea mañana,
hoy plantaré manzanos en mi huerto “*

Martín Lutero

Agradecimientos

- En primer lugar y por sobre todas las cosas agradecer a Dios por permitirme vivir una vida plena.
- A mi familia, mis padres M^a Eugeina y Salustiano, por inculcarme siempre la felicidad, por su apoyo y amor incondicional. Mis hermanos, por cada segundo vivido a su lado.
- Profesor guía, don Juan Marcus Schwenk, por la oportunidad de desarrollar el proyecto de título en su colaboración, por la confianza y dedicación de su tiempo.
- A don Víctor Rosales y su equipo de trabajo de LADITEMA, por su confianza, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de este proceso.
- A JMS Ingenieros consultores Ltda., por su disposición en facilidades y gestiones de recursos necesarios para esta investigación.
- A Gestión y Diseño PlayGood, especialmente a don Fernando García-Huidobro por su colaboración continua y constante con recursos necesarios para esta investigación.
- A esos amigos que se hicieron familia en el desarrollo de mi vida universitaria.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	IDENTIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	3
1.2	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4	METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
1.4.1	<i>Búsqueda de material bibliográfico</i>	6
1.4.2	<i>Planificación y diseño de los ensayos</i>	6
1.4.3	<i>Construcción y ensayo de las probetas</i>	6
1.4.4	<i>Análisis de resultados</i>	6
2	MARCO TEÓRICO	7
2.1	TEORÍA DE ACCIÓN COMPUESTA	7
2.2	INTERACCIÓN CLT-HORMIGÓN	9
2.3	CONECTORES MADERA-HORMIGÓN.....	10
2.3.1	<i>Conectores puntuales:</i>	12
2.3.2	<i>Conectores de placas metálicas:</i>	12
2.3.3	<i>Viga de madera dentada en la interfaz y conectores discretos:</i>	12
2.3.4	<i>Mallas o enrejados dispuestos a lo largo:</i>	13
2.4	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE DESLIZAMIENTO	13
3	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1	CONECTORES.....	14
3.1.1.	<i>Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB (Rothoblaas)</i>	14
3.1.2.	<i>Placas metálicas (sistema hbv, playwood)</i>	14
3.1.3.	<i>Tirafondos</i>	15

3.2	PROPIEDADES GENERALES DE LA MADERA CONTRALAMINADA	15
3.3	HORMIGÓN	15
3.3.1.	<i>Ensayos obligatorios para el diseño de dosificación.</i>	16
3.3.2.	<i>Cantidad de material Cantidad</i>	17
3.4	ADHESIVO SIKAFORCE 7010.....	18
3.5	CONECTORES.....	19
3.5.1	<i>Valores teóricos capacidad y módulo de corrimiento</i>	19
3.6	ENSAYOS EXPERIMENTALES	25
3.6.1.	<i>Instrumentos de medición.</i>	26
3.6.2.	<i>Madera sólida contralaminada (CLT)</i>	26
3.7	CONFIGURACIÓN DE ENSAYOS	27
3.7.1.	<i>Ensayos a corte</i>	27
3.7.2.	<i>Ensayo a flexión</i>	30
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
4.1	RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE	33
4.1.1.	<i>Tipo de falla observada</i>	33
4.1.2.	<i>Gráficas de fuerza-deslizamiento</i>	35
4.1.3.	<i>Determinación de la capacidad última del conector</i>	37
4.1.4.	<i>Determinación del módulo de deslizamiento</i>	38
4.1.5.	<i>Análisis estadístico</i>	39
4.1.6.	<i>Determinación de una región de predicción</i>	40
4.2	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN	42
4.2.1	<i>Tipo de falla observada</i>	42
4.2.2.	<i>Curvas de fuerza-deformación</i>	42
4.2.2.	<i>Rigidez teórica para una conexión total y nula</i>	43

4.2.3.	<i>Determinación de la eficiencia del sistema mixto</i>	43
4.2.4.	<i>Rigidez con conexión total</i>	43
4.2.5.	<i>Rigidez con conexión nula</i>	44
4.2.6.	<i>Representación grafica de la eficiencia en la conexión</i>	45
5	CONCLUSIONES	47
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensayos obligatorios para el diseño de dosificación establecidos por la Nch 163.Of 79.....	19
Tabla 2: Características de la dosificación.....	19
Tabla 3: Dosificación para una botonera con capacidad de 90 litros.....	20
Tabla 4: Dimensiones para tirafondo $4 \frac{1}{2} \times \frac{5}{16}$ pulgadas.....	23
Tabla 5: Información requerida para el cálculo de la rigidez.....	40
Tabla 6. Parámetros estadísticos de capacidad y rigidez.....	41
Tabla 7. Parámetros estadísticos, media muestral, desviación estándar y cuasi desviación estándar.....	42
Tabla 8. Intervalo de predicción.....	43
Tabla 9. Valores característicos límites con 5% de exclusión.....	43
Tabla 10. Eficiencia de la conexión.	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conexión nula y completa de dos materiales.....	9
Figura 2. Representación gráfica de la eficiencia de un sistema mixto.....	10
Figura 3. Tipologías de conexión.....	12
Figura 4. Comportamiento típico de diferentes morfologías.....	13
Figura 5. Dimensiones de los tirafondos para madera y especificaciones para perforaciones guía.....	23
Figura 6. Modos de falla, extracción lateral.....	24
Figura 7. (a) Probeta para ensayos a corte; (b) losa híbrida CLT-hormigón.....	27
Figura 8. Proceso de fabricación de probetas CLT.....	28
Figura 9. Dimensiones probetas a corte, y respectiva disposición de los conectores.....	29
Figura 10. Configuración de ensayo a corte.....	30
Figura 11. Ejecución de ensayos a corte.....	31
Figura 12. Espaciamiento y disposición de tirafondos para la losa en flexión. (Vista en planta).....	32
Figura 13. Configuración del ensayo a flexión con sus respectivos diagramas de esfuerzos.....	33
Figura 14. Disposición y ejecución de ensayo losa híbrida.....	34
Figura 15. Falla observada en los conectores de tipo SFS.....	35
Figura 16. Falla observada en los conectores de tipo HBV.....	36
Figura 17. Falla observada en los conectores de tipo Tirafondo.....	37
Figura 18. Gráficas Fuerza vs Desplazamiento, resultado de los ensayos experimentales....	38
Figura 19: Tipo de falla observada ensayo a flexión.....	44
Figura 20: Gráficas cargas deflexión; desplazamiento relativo.....	44
Figura 21. Gráfico de fuerza-deformación de las vigas de flexión y de los casos teóricos con acción compuesta total y nula.....	47

NOMENCLATURA

F:	:	Carga aplicada, N.
F_{est}:	:	Carga máxima estimada, N.
$F_{m\acute{a}x}$:	:	Carga máxima, N.
F_u:	:	Carga última, N.
F_y:	:	Carga plástica, N.
$\delta_{i,mod}$:	:	Deslizamiento inicial modificado, mm.
$\delta_{0.4}$:	:	Deslizamiento asociado al 40% carga máxima estimada, mm.
$\delta_{0.1}$:	:	Deslizamiento asociado al 10% carga máxima estimada, mm.
k_{ser}:	:	Módulo de deslizamiento, $\frac{N}{Mm}$.
P_{el}:	:	Capacidad de carga admisible, N.
L_c:	:	Longitud de apoyo del medio de unión en la pieza principal, mm
L_l:	:	Longitud de apoyo del medio de unión en la pieza secundaria, mm
$R_{ap,c}$:	:	Resistencia de aplastamiento del vástago en la pieza principal., MPa.
$R_{ap,l}$:	:	Resistencia de aplastamiento del vástago en la pieza secundaria, MPa.
F_{ff}:	:	Tensión de fluencia en flexión del acero, MPa.
D:	:	Diámetro del vástago, mm.
ρ_0:	:	Densidad anhidra media, $\frac{kgf}{m^3}$.
$R_{ax,z,k}$:	:	Capacidad de extracción característica con desangulación, N.
$\rho_{0,k}$:	:	Densidad anhidra característica, $\frac{kgf}{m^3}$.
$F_{v,Rk}$:	:	Capacidad característica de carga, N.
$f_{h,k}$:	:	Resistencia característica de aplastamiento o incrustación en la madera, N/mm ² .
d:	:	Diámetro de conector, mm.
$M_{y,Rk}$:	:	Momento plástico característico, N-mm.
$F_{ax,Rk}$:	:	Capacidad característica a extracción del conector, N.
ΔN:	:	Deflexión teórica, caso sin conexión, mm.
ΔC:	:	Deflexión teórica, caso con conexión, mm.
ΔP:	:	Deflexión del sistema a evaluar, mm.
l_{ef}:	:	Penetración del conector SFS, mm.

ANÁLISIS DE CONECTORES DE CORTE EN LOSAS DE MADERA CONTRALAMINADA CON SOBRELOSA DE HORMIGÓN.

Autor: Álvaro Luna Ramírez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: alvluna@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Juan Marcus Schwenk

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: jmarcus@jms.cl

Resumen:

En una losa mixta de CLT-hormigón, diseñada de modo que las mejores características de cada material sean aprovechadas, se obtiene una mayor eficiencia estructural si se incorpora una conexión que permita transmitir el corte entre ambos materiales. El desempeño de una estructura compuesta está directamente influenciado por el comportamiento del conector que se utilice para transmitir el cizalle. Es por esto que es de gran importancia conocer las características del conector para así poder establecer los esfuerzos y realizar el diseño de la estructura.

El enfoque principal de esta tesis es el estudio del comportamiento mecánico de un sistema de conexión para estructuras mixtas de madera-hormigón y la determinación de parámetros propios del sistema de conexión, tales como la rigidez y capacidad, para el diseño de losas de sección mixta CLT-hormigón. La determinación de estos parámetros se realizó experimentalmente, mediante ensayos estáticos de deformación y ruptura de 6 probetas de corte, por cada tipología de conexión escogida, conjuntamente se realizó un ensayo a flexión de una losa híbrida con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema mixto, el conector de corte que se utilizó como ideal fue el tirafondo para madera, de $4 \frac{1}{2} \times \frac{5}{16}$ pulgadas, insertos parcialmente en la madera, quedando con el tramo libre del tirafondo embebido en el hormigón cuando éste es vaciado.

A partir de los ensayos a corte realizados se validaron conexiones desarrolladas en el extranjero y se determinaron valores característicos de los conectores. A su vez del ensayo a flexión se determinó la eficiencia de la conexión basándose en el cálculo de la deflexión de la losa híbrida.

Palabras claves: eficiencia estructural, cizalle, losa híbrida, deflexión, rigidez y capacidad.

9440 Palabras Texto + 31Figuras/Tablas*250 + 0Figuras*500= 17.190.

ANALYSIS OF SHEAR CONNECTORS IN CROSS LAMINATED TIMBER WITH CONCRETE SURFACE

Author: Álvaro Luna Ramírez

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: alvluna@alumnos.ubiobio.cl

Advisor: Juan Marcus Schwenk

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: jmarcus@jms.cl

Abstract

In a mixed slab of CLT-concrete, designed in such a way that the best characteristics of each material are taken advantage, a great structural efficiency is obtained if a connection is incorporated that allows to transmit the cut between both materials. The performance of a composite structure is directly influenced by the behavior of the connector used to transmit the shear. This is why it is of great importance to know the characteristics of the connector in order to establish the design values of structure.

The main focus of this thesis is the study of the mechanical behavior of a connection system for mixed concrete-wood structures and the determination of connection system parameters, such as rigidity and capacity, for the design of mixed section slabs CLT-concrete. The determination of these parameters was performed experimentally, by means of static tests of deformation and rupture of 6 specimens, for each type of connection, a flexural test of a hybrid slab was carried out with the objective of evaluating the performance of the mixed system, The shear connector used as optimal was the 4 1/2 x 5 / (16) inch wood lag bolt, partially inserted into the wood, leaving the free section of the lag bolt embedded in the concrete when it is poured.

From the tests there has been validated connections developed abroad and determined the characteristic values of the connectors. The bending efficiency was determined from the calculation of the deflection of the hybrid slab.

Keywords: structural efficiency, shear, hybrid slab, deflection, rigidity and capacity.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación y Justificación del tema

La construcción de madera y hormigón, como material compuesto, a pesar de no ser tan reconocida, posee una larga tradición con buenos antecedentes, especialmente en Europa donde existe una creciente tendencia en el uso de este método de construcción para edificaciones nuevas. El material híbrido, en este caso la madera, se presenta como una alternativa sustentable dentro de la construcción eco responsable, ya que, en nuestro país, especialmente en las regiones VII, VIII, IX y X, la madera (pino radiata) se presenta con gran abundancia. Es por esto que resulta interesante estudiar el sistema de losas mixtas madera contralaminada (CLT)-hormigón y poder aplicar su uso en las normas nacionales. En Chile esta tecnología se encuentra aún en fase de desarrollo y no existe experiencia en la construcción de este tipo de losas, lo que hace necesario generar datos confiables para poder realizar un diseño seguro bajo condiciones y materiales nacionales.

La construcción en madera, especialmente la madera contra laminada, posee características mecánicas idóneas para la construcción, con capacidad de soportar altas sobrecargas de corta duración sin presentar efectos residuales cuantitativos. Sin embargo, uno de los principales problemas en las estructuras en madera, son las normativas vigentes, que al no tener información actualizada, presentan limitaciones muy conservadoras al momento de diseñar o verificar estructuras en base a madera.

Con el fin de afrontar dicha problemática, esta tesis estudiará el comportamiento mecánico de un sistema de conexión para estructuras mixtas de CLT-hormigón, el cual tenga la capacidad de crear una conexión en el plano de la interfaz entre la madera y el hormigón, que logre limitar el deslizamiento entre ambos materiales. Lo más importante en el comportamiento estructural compuesto es la conexión efectiva de la madera con el hormigón para garantizar la colaboración estructural, aprovechando así el aumento en la eficiencia de un material mixto, además de ser estructuralmente más eficiente, se aumenta la resistencia al fuego, aislación acústica y como ventaja añadida se encuentra la industrialización de la construcción.

Para lograr esto, se revisarán una amplia gama de conectores mecánicos o pegados, los cuales pueden ser conectores madera-madera que hayan sido adaptados o dispositivos especialmente desarrollados para la interacción CLT-hormigón. Tomando como referencia los conectores

propuestos por Ceccotti (2002), además de los estudios realizados en la interacción madera-hormigón (Lukaszewska 2009). En esta literatura se encuentran diversos conectores especialmente elaborados para su uso, pero que resultan difíciles de fabricar u obtener. De estos conectores se puede realizar una clasificación según su morfología en cuatro grandes grupos: conectores puntuales, placas, madera dentada y mallas de forma de realizar una conexión continua.

Como el objetivo del presente estudio es el de evaluar, calibrar y analizar los conectores de corte utilizados en la construcción de estructuras mixtas madera-hormigón, se realizará una evaluación comparativa del comportamiento de conectores simples, del tipo tirafondos con conexiones ya validadas en otras latitudes. Para esto, se realizarán ensayos especialmente diseñados para cuantificar sus características mecánicas más relevantes y ratificar la teoría de la acción compuesta. Los resultados de este estudio nos permitirán la fácil introducción de la construcción mixta CLT-hormigón con los materiales usados comúnmente en el país.

1.2 Objetivo general

- Analizar conectores de corte en losas de madera contralaminada con sobrelosa de hormigón.

1.3 Objetivos específicos

- Revisar bibliografía de sistemas de conexión para el interfaz madera-hormigón.
- Determinar la configuración de los ensayos a utilizar en la investigación.
- Realizar ensayos de corte a los diferentes conectores.
- Analizar los resultados obtenidos en los ensayos, de modo de poder definir el conector más apropiado para realizar conexión.

1.4 Metodología de trabajo

Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo se realizará la siguiente estructura metodológica:

1.4.1 *Búsqueda de material bibliográfico*

Se recopilará información acerca de los sistemas de conexión para la interacción CLT-hormigón y el tipo de impacto que estos pudiesen tener en su comportamiento estructural. También se estudiarán antecedentes acerca de la aplicación de este sistema estructural en diversas estructuras.

1.4.2 *Planificación y diseño de los ensayos*

Se deberá determinar las tipologías de conexión a utilizar para la interfaz CLT-hormigón, basándose en la bibliografía recopilada, los recursos disponibles y la dificultad de ejecución. Será necesario definir dos tipos de ensayo: uno para determinar la rigidez y resistencia de los conectores, y otro, para evaluar el comportamiento conjunto en flexión utilizando el conector más idóneo.

El diseño y dimensionamiento de las probetas contemplará tanto el nivel de recursos, como las herramientas que se tengan a disposición para confeccionarlas y ensayarlas.

1.4.3 *Construcción y ensayo de las probetas*

Las probetas serán construidas y ensayadas en el laboratorio de diseño y tecnología de la madera (LADITEMA), ubicado en el campus Concepción de la Universidad del Bío-Bío.

1.4.4 *Análisis de resultados*

Una vez obtenidos los resultados y realizadas las observaciones necesarias en los ensayos, se realizará un análisis a las características como son rigidez, capacidad última, eficiencia y tipo de falla, con el fin de obtener una base de datos completa. A partir de este análisis y el estudio bibliográfico recopilado, se espera llegar a conclusiones que puedan ser aplicadas para validar un sistema que garantice la acción compuesta.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Teoría de acción compuesta

Según Dias (2005), una sección mixta posee un comportamiento de acción compuesta si existe una conexión en el plano de la interfaz entre la madera y el hormigón que logre limitar el deslizamiento entre ambos materiales. Ya que, si suponemos un caso en que una sección compuesta sin ningún tipo de conexión es sometida a flexión, cada uno de los materiales actuará de forma completamente independiente y ambos estarán sometidos a flexión pura. Si en cambio, se implementa un sistema de conexión que sea capaz de tomar corte e impida el deslizamiento entre ambos materiales en la zona de interfaz, estos se verían sometidos a flexión y además esfuerzos axiales. Esto se puede observar en la Figura 1.

Esta distribución de esfuerzos tiene como resultado, tensiones y deformaciones más bajas que en el caso sin conexión, y por este motivo el comportamiento mecánico del conector tiene un efecto importante sobre el comportamiento de la estructura mixta.

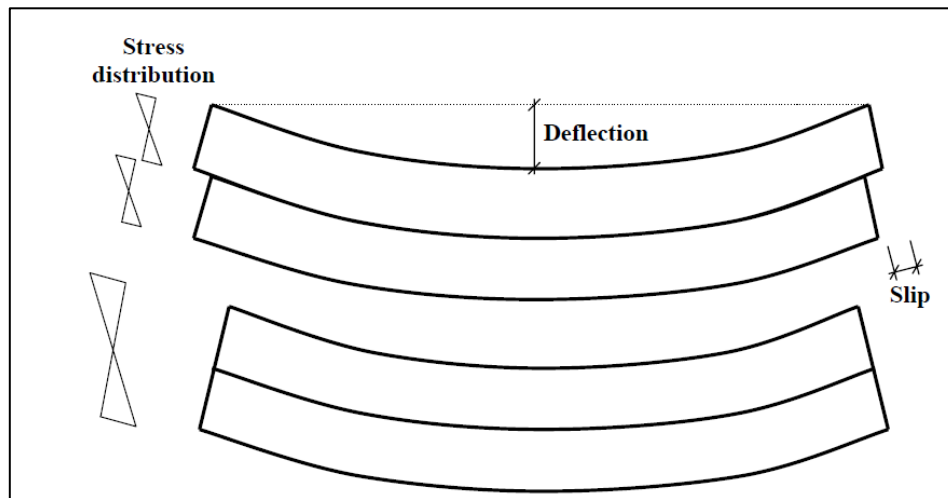


Figura 1. Conexión nula y completa de dos materiales

(Fuente: Dias, 2005)

Soriano et al. (2009) indica que la sección debe ser diseñada de modo que las mejores características de los materiales sean aprovechadas, esto es, el hormigón sometido a compresión y la madera a tracción. Este principio básico de optimización conduce a una estructura más ligera y un elevado desempeño estructural.

Leborgne et al. (2008) menciona que la cantidad de esfuerzo de corte transferido entre la madera y el hormigón determina la eficiencia de la acción compuesta en el sistema mixto, y su valor queda expresado por la siguiente razón:

$$Eficiencia = \frac{\Delta N - \Delta P}{\Delta N - \Delta C} \quad (Ec. 1)$$

Dónde, ΔN y ΔC son las deflexiones teóricas para el caso sin conexión y para el caso con conexión rígida en la interfaz madera-hormigón respectivamente, y ΔP corresponde a la deflexión del sistema el cual será evaluado en un ensayo a escala real. Esto se representa de forma gráfica en la Figura 2, donde el gráfico de carga v/s deformación representa un comportamiento lineal de secciones con acción compuesta total, parcial y nula.

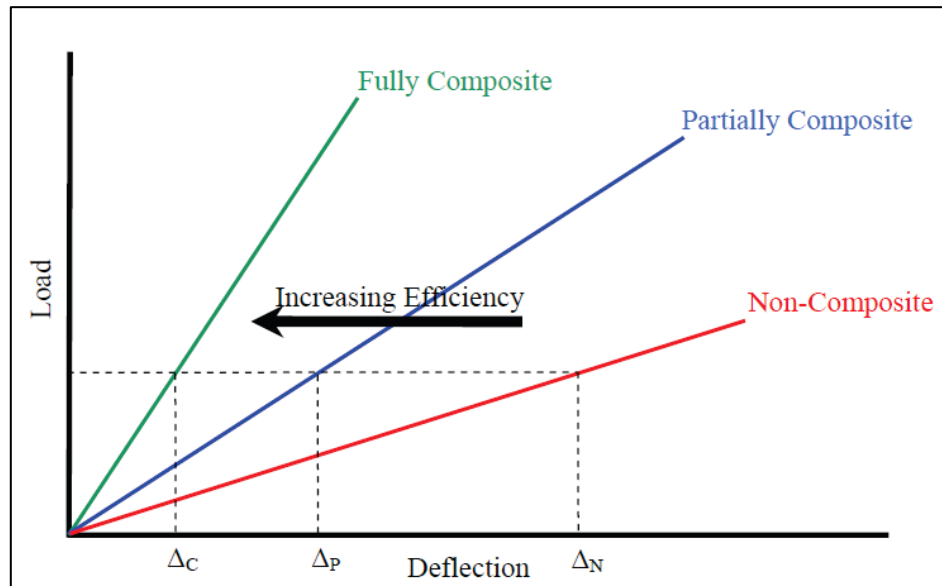


Figura 2. Representación gráfica de la eficiencia de un sistema mixto.

(Fuente: Leborgne et al. 2008)

2.2 Interacción CLT-hormigón

En Europa occidental y América del norte, es donde a través de diversas investigaciones, se ha innovado y perfeccionado la técnica de construcción mixta de CLT- hormigón, donde los estudios están enfocados especialmente en el sistema de conexión de ambos materiales. Todos estos estudios son realizados con el fin de verificar que el funcionamiento de ambos materiales sea como un trabajo en conjunto, por lo tanto, es necesario que exista una vinculación que tenga la capacidad de transmitir los esfuerzos de cizallamiento longitudinales a lo largo de ellos, ya que la sola fricción de los materiales no es suficiente para lograrlo, adhesión madera-hormigón tiende a cero si no existe ningún tipo de vinculación.

Existen tres grandes grupos de conectores, ya sean adhesivos estructurales, conectores metálicos cilíndricos (clavos, tornillos, tirafondos) y conectores metálicos de superficie, y pueden clasificarse en rígidos o semirrígidos (elásticos). Esta rigidez en la conexión, es medida a través del Módulo de Deslizamiento (K), el cual puede definirse como la fuerza paralela a la superficie de interacción necesaria para provocar un deslizamiento relativo unitario entre los dos materiales y obtenido principalmente a través de ensayos realizados a probetas que representan el tipo de conexión, o también por medio de ecuaciones preestablecidas en normativas y códigos. Este coeficiente representa todos los parámetros mecánicos y elásticos en la interacción de los materiales, tales como: dimensiones y rigidez del conector; rigidez y resistencia a la penetración del CLT; el aplastamiento y fisuración del hormigón, además de todas las imperfecciones que pueda tener la probeta a ensayar.

Para cuantificar el comportamiento de los conectores, generalmente no-lineal, hace que sea más frecuente la determinación del Módulo de Deslizamiento Práctico, que en esta investigación será seguido según NCh 3079. Of 2007 (Uniones realizadas con elementos de unión mecánicos), aunque debido a la ausencia de una unificación de criterios y normativas para la determinación de este módulo, los intervalos varían entre los diferentes autores que han realizado dichas investigaciones.

Las variables que principalmente influyen en el módulo de deslizamiento son: en primer lugar el tipo de conector, tanto en forma, rigidez, resistencia y diferentes formas de ubicación; el espaciado entre el conector y los bordes de la pieza de madera; las variaciones en la rigidez y resistencia de

la pieza de madera; la resistencia al aplastamiento y el módulo de elasticidad del hormigón; las dimensiones del elemento de hormigón usado y la cantidad; y finalmente la ubicación de la armadura empleada (si existe).

2.3 Conectores madera-hormigón

La efectividad de una estructura compuesta depende fuertemente de las características del tipo de conector utilizado en la interfaz.

Es por esto que Ceccotti (2002) realiza una clasificación de los tipos de conectores más comunes y los agrupa en 4 principales conjuntos, los que aparecen representados en la Figura 3.

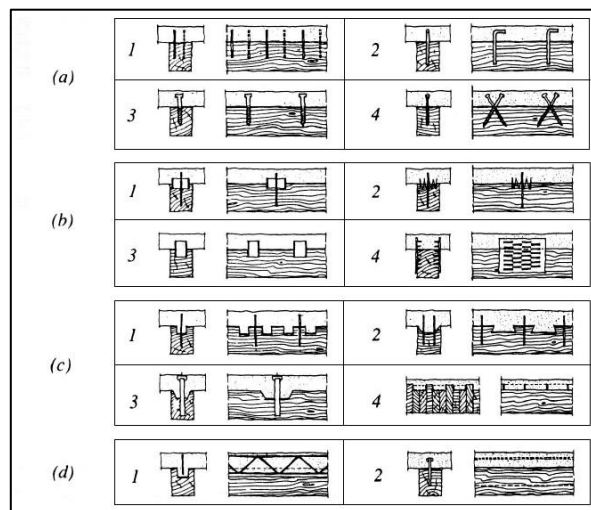


Figura 3. Tipologías de conexión.

(Fuente: Ceccotti, 2002)

En esta clasificación se distinguen 4 grupos de conectores, asociados según sus morfologías:

- (a) Conectores puntuales como clavos, tornillos o pernos.
- (b) Conectores de placas metálicas o mallas colocadas de forma discreta.
- (c) Viga de madera dentada en la interfaz y conectores discretos.
- (d) Mallas o enrejados dispuestos a lo largo, para formar una conexión continua.

Steinberg et al. (2003) manifiesta la importancia de considerar tanto la capacidad de carga como la rigidez del conector. Esto se explica en dos casos característicos, primero para el caso en que se posee una elevada resistencia al deslizamiento, donde se obtiene una mayor rigidez en flexión del sistema compuesto, lo que a su vez conlleva un mayor esfuerzo de corte en la interfaz. Por el

contrario, si se posee un conector de baja resistencia al deslizamiento, la rigidez en flexión de la sección compuesta será menor y el corte en la interfaz será igualmente bajo.

Es necesario realizar un análisis de las características de los conectores, ya que, si se posee un conector con rigidez elevada pero baja capacidad, este deberá llevar un espaciamiento reducido para poder soportar el esfuerzo, lo que producirá un aumento en el costo; contrariamente si se posee un conector de baja rigidez, pero capacidad de carga alta, este estará sometido a un bajo esfuerzo y no podrá ser utilizado de forma eficiente. Es por esto que en la Figura 4 se muestra el comportamiento mecánico de algunos tipos de conectores, haciendo referencia a la clasificación expuesta en la Figura 3, representados por gráficos de fuerza v/s deslizamiento, obtenidos a partir de ensayos experimentales. De aquí se puede extraer información relevante respecto al comportamiento frágil o dúctil de los conectores y realizar una diferencia entre las diferentes morfologías.

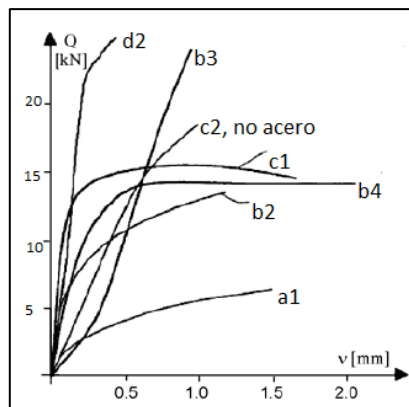


Figura 4. Comportamiento típico de diferentes morfologías.

(Fuente: Ceccotti, 2002)

Es así como Lukaszewska (2009) y Manaridis (2010) realizan una recopilación de algunos autores para presentar distintos elementos que pueden ser utilizados como conectores madera-hormigón, que en este estudio extrapolaremos a CLT, hablando del desempeño y características de cada uno.

2.3.1 Conectores puntuales:

- Clavos: Pueden ser usados como conector CLT-hormigón insertándolos parcialmente en la madera, de modo que la parte superior quede embebida en el hormigón al ser vaciado.
- Conector Insa Hilti: Consiste en un cilantro dentado con sección transversal y espesor variables, que al ser insertado en la madera confina las fibras de la superficie, distribuyendo la fuerza de corte en un área mayor.
- Tirafondos para madera: Pueden ser utilizados como elemento de conexión entre la madera y el hormigón al atornillarlos parcialmente en la madera.
- Barras de refuerzo: Puede cumplir la función de conector madera hormigón, al ser insertada en un agujero en la madera previamente perforado.
- Tornillo SFS: Es un conector desarrollado específicamente para estructuras compuestas de madera-hormigón. El tornillo posee dos cabezas, que le permiten ser insertado a una profundidad fija para que la parte superior pueda anclarse en el hormigón.

2.3.2 Conectores de placas metálicas:

- Malla de acero: consiste en una malla de acero insertada parcialmente en un corte longitudinal en la madera utilizando adhesivo, quedando embebida en el hormigón por su parte superior.

2.3.3 Viga de madera dentada en la interfaz y conectores discretos:

- Perforación/taco de hormigón: El hormigón lo llenará al ser vaciado y se formará un taco con la capacidad de tomar fuerzas de corte entre el hormigón y la madera.
- Perforación reforzada con tirafondo: Para mejorar el comportamiento tanto del tirafondo como del taco de hormigón, se realiza la combinación de ambos.
- Perforación reforzada con tubo de acero: Otra forma de reforzar el taco de hormigón consiste en insertar un perfil circular hueco de diámetro igual al del agujero en la madera.
- Perforación reforzada con tubo de acero y tirafondo (CHS): denominado sección circular hueca (circular hollow section). El conector consiste en la combinación de los dos casos anteriores.

2.3.4 Mallas o enrejados dispuestos a lo largo:

- Placa de acero de anclaje: placas de acero conectadas a la madera por 4 tornillos, esperando una falla que se produzca en la unión atornillada.
- Perfil doble T: puede ser elaborado utilizando tramos vigas de acero de sección doble T. La sección es atornillada a la madera a través de las alas de un extremo.

2.4 Determinación experimental del módulo de deslizamiento

Según NCh 3079. Of 2007 para la determinación del módulo de deslizamiento se requiere efectuar los ensayos de las uniones realizadas con elementos de unión mecánicos, con el objetivo de obtener información sobre sus características de resistencia y deformación. El módulo de deslizamiento se define como la pendiente de la curva fuerza-deslizamiento obtenida por medio de probetas de ensayo que representan el comportamiento de la conexión real. Para determinar el módulo de deslizamiento se realizará la razón entre el 40% de la fuerza máxima estimada y el corrimiento inicial modificado.

$$k_{\text{ser}} = 0,4 * F_{\text{est}}/\delta_{\text{i,mod}} \quad (\text{Ec.2})$$

F_{est} : Carga máxima estimada, en N. Se debe determinar de la base de la experiencia, cálculos o ensayos preliminares.

$\delta_{\text{i,mod}}$: Corrimiento inicial modificado, mm.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Ya conocidos los diferentes elementos que se podrían utilizar para limitar el deslizamiento en la interfaz, se determinarán las conexiones a ensayar en esta investigación, siguiendo los siguientes parámetros de evaluación: disponibilidad, costo, estandarización, industrialización y referencias. Es por esto que se estudiarán: HBV (Holz-Beton-Verbund System) uno de los más eficientes sistemas de conexión, el cual se encuentra patentado y con vastas implementaciones; Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB (Rothoblaas); conectores puntuales desarrollados y con amplias referencias en el mundo con gran capacidad, pero sin grandes referencias en nuestro país; tirafondos 5/16'' x4.1/2'' (Estándar) con una calidad de acero nacional y de amplia disponibilidad.

3.1 Conectores.

3.1.1. Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB (Rothoblaas)

Este sistema es una conexión madera-hormigón encargada de transmitir las fuerzas de corte. Ofrece una conexión y planificación sencilla, eficacia comprobada en innumerables obras (internacionales), sencilla industrialización y asesoramiento continuo de la empresa

3.1.2. Placas metálicas (sistema hbv, playwood)

Se basa en una placa de acero microperforada que se fija con epóxico a la pieza de madera, así, esta placa transmite las fuerzas entre el hormigón y la madera. La experiencia ha mostrado que sus posibilidades son amplias, desde su uso en viviendas unifamiliares hasta en puentes vehiculares. Sus ventajas radican en lograr mayor productividad en la obra, específicamente, el despacho de piezas de maderas con placas de acero insertas desde fábrica, evita la instalación in situ de tornillería y herrajes para vincular el hormigón a la madera.

3.1.3. Tirafondos

Tornillo afilado dotado de una cabeza diseñada para imprimir un giro con ayuda de alguna herramienta mecánica, el cual se puede observar en la Figura 7. Estos se insertarán parcialmente en la madera y soportarán los esfuerzos de corte. Dentro de sus ventajas se encuentran la disponibilidad inmediata, bajos costos monetarios y fácil industrialización, aunque con muy limitada información mecánica.

3.2 Propiedades generales de la madera contralaminada

Según CCMC et al (2002), la madera contralaminada (CLT) es capaz de soportar sobrecargas altas de corta duración con efectos residuales bajos o nulos, además de una gran cantidad de ventajas tanto constructivas como alternativas, desarrollando una nueva era en cuanto a la concepción y construcción en CLT, siguiendo las tendencias de la industria eco responsable.

Ventajas constructivas: El CLT es un elemento de construcción natural teniendo como materia prima la madera, Anexo B, por lo tanto, se puede clasificar como un material natural, durable, amigable con el cambio climático y sustituto de los más contaminantes. Posee altas resistencias a cizalle y una gran capacidad de soportar cargas, además de sus beneficios arquitectónicos, ya sea por las altas eficiencias energéticas o gran versatilidad.

Ventajas alternativas: Ofrece una alternativa durable e innovadora respecto al acero y hormigón, con aspectos que mejoran el ambiente, tales como la calidad del aire y aislación termica.

3.3 Hormigón

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, además de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación y de fraguado.

El hormigón ha alcanzado su importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Además de sus ventajas constructivas y características mecánicas, alta resistencia a la compresión, en este caso nos enfocaremos en su colaboración del material compuesto y sus beneficios alternativos. El hormigón sobre la losa de madera solida entrega beneficios en las viviendas tales como: una baja susceptibilidad a las vibraciones, incrementa la rigidez a flexión, presenta una mejor aislación acústica, aumenta la resistencia al fuego y ostenta la posibilidad de incorporar conductos eléctricos o de todo tipo en el sistema de piso.

La dosificación para hormigón se realizó para alcanzar una calidad H20, que implica una resistencia a la compresión de 20 MPa para una probeta cúbica de 200 mm de arista, luego de 28 días de ser elaborado. Para este estudio se utilizó además un aditivo para acelerar el fraguado (Sika). El diseño de la dosificación de los áridos, se realizó bajo las condiciones obligatorias indicadas en el punto 7.2.2 de la norma NCh163.Of79.

3.3.1. Ensayos obligatorios para el diseño de dosificación.

Para el diseño de la dosificación de los áridos, se realizaron los ensayos obligatorios tabla 1 indicados en el punto 7.2.2 de la norma NCh163.Of79.

Tabla 1: Ensayos obligatorios para el diseño de dosificación establecidos por la NCh 163.Of 79.

Ensayos	Norma
Granulometría	NCh165
Densidad real y aparente	NCh1116
	NCh1117
	NCh1239
Absorción de agua	NCh1117
	NCh1239
Determinación de huecos	NCh1326
Humedad y esponjamiento	-

Fuente: Elaboración propia.

Los requisitos para el diseño, tabla 2, de la dosificación se determinaron de acuerdo a lo especificado en la NCh170.Of85.

Tabla 2: Características de la dosificación.

Razón agua/cemento	0.49
Dosis mínima de cemento	240
Descenso de cono [cm]	6 - 9
Agua de amasado [m3]	0,195
Aire promedio atrapado [m3]	0,020

Fuente: Nch 173. Of85.

3.3.2. Cantidad de material Cantidad

En la Tabla 3 se muestra la dosificación para la fabricación de un volumen de 90 litros de hormigón, equivalente a la capacidad de una betonera:

Tabla 3: Dosificación para una botonera con capacidad de 90 litros.

Material	Cantidad
Gravilla[kg]	115.65
Arena [kg]	58.77
Agua de amasado [Its)	14.4
Cemento [Kg]	27.9
Acelerador de fraguado [cc]	466

Fuente: Elaboración propia

3.4 Adhesivo SIKAFORCE 7010

Un adhesivo bi-componente, SikaForce® -7710 L100 es la parte base de un adhesivo de poliuretano, usado con el endurecedor SikaForce® -7010 . Este producto se fabrica de acuerdo con ISO 9001 e ISO 14001 sistema de aseguramiento de calidad.

Al adhesivo se le realizaron pruebas de cizalle para garantizar un mínimo de 6,7 MPa requeridos por la madera solida según NCh 2148, of 1989. De la cual se obtuvo una magnitud de 11.18 MPa (Anexo C)

3.5 Conectores

3.5.1 Valores teóricos capacidad y módulo de corrimiento

- a) *Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB*: Los conectores del tipo SFS cuentan con certificación ETA, la cual entrega expresiones para el cálculo de valores característicos de la conexión, ecuaciones 3 y 4, dichos valores están calibrados por pareja de conectores, $\pm 45^\circ$.

$$F_{Rh} = K_a * \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,Rk} \\ 13000 \end{array} \right. \quad (\text{Ec. 3})$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 180 * l_{ef} * \left(\frac{\rho_k}{530} \right)^{0.8} \quad (\text{Ec. 4})$$

; *Madera densa (CLT)*

$K_a = 1.414$; para $\alpha = \pm 45^\circ$

l_{ef} : Penetración del conector en el CLT, mm.

ρ_k : Densidad característica, en kgf/m^3

Por lo que para las probetas diseñadas se obtienen los siguientes valores teóricos de las conexiones para cada pareja de conector:

$$F_{Rh}: 18.4 \text{ kN}$$

$$K_{ser}: 24 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

- b) *HBV (Holz-Beton-Verbund System)*: Longitud y altura determinadas según se requiera en cada aplicación; Altura: 90, 105 o 120mm; Longitud hasta 1.000mm; El conector de corte debe estar empotrado en hormigón perpendicular a la superficie de madera; Desviación 10 mm de la disposición del objetivo.

En la documentación técnica del conector, Technisches Dossier HBV Systems, se entregan expresiones para calcular capacidades características e incluso se propone factor de seguridad. Cabe señalar que no hacen referencia al modo de falla, ni diferencia entre madera y CLT.

Las expresiones son respaldadas por documentación de la Universidad Técnica de Munich, basándose en las normas vigentes DIN 1052:2008-12 y el Eurocodigo 5.

$$\left[T_k = 160 - 8 * \left(\frac{d_{zs}}{d_0} \right)^{0.5} \right] \frac{N}{mm} \quad (Ec. 5)$$

$$\left[K_{ser} = 825 - 250 * \left(\frac{d_{zs}}{d_0} \right)^{0.2} \right] \frac{N}{mm} \quad (Ec. 6)$$

$$d_{zs} = 45mm$$

$$d_0 = 1mm$$

Donde:

T_k : Resistencia característica; la resistencia está en función de la longitud utilizada, por lo que se debe multiplicar por dicha longitud.

K_{ser} : Módulo de desplazamiento.

Por lo que para las probetas diseñadas (hay que tener en consideración que la longitud utilizada fue de 330 mm por cada lado de la probeta) se tiene valores teóricos de las conexiones de:

$$T_k: 71kN$$

$$K_{ser}: 95 \frac{kN}{mm}$$

c) Tirafondos

Se utilizaron tirafondos para madera de $4 \frac{1}{2} \times \frac{5}{16}$ pulgadas, los que poseen un acero SAE J429 de Grado 1, calidad nacional. Las dimensiones de diseño, tamaño de perforaciones guía y requisitos de espaciamiento son definidos por la norma NCh 1198-2014, como se muestra en la Figura 5 y las utilizadas en este estudio en la tabla 4.

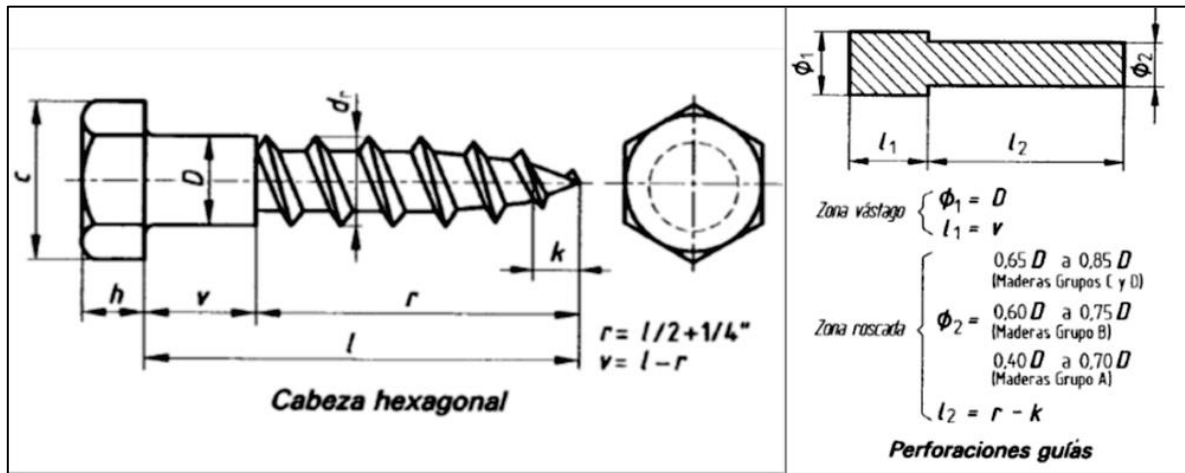


Figura 5. Dimensiones de los tirafondos para madera (izquierda) y especificaciones para perforaciones guía (derecha).

(Fuente:NCh 1198.of 2014, Anexo m)

Tabla 4: Dimensiones para tirafondo $4 \frac{1}{2} \times \frac{5}{16}$ pulgadas.

Dimensión	Valor (mm)
l	114.3
D	7.9
d_r	5.3
k	6.4
h	5.2
c	12.7
r	64
v	51

Fuente: NCh 1198. Of 2014.

En la norma NCh1198. Of 2014 se entregan expresiones para calcular capacidades admisibles para medios de unión con conectores cilíndricos de acuerdo a distintos modos de falla, sin embargo, no considera uniones entre madera-hormigón directamente.

Por otro lado, American Wood Council (2015) nos detalla expresiones empíricas para el cálculo de la capacidad admisible de uniones de madera-hormigón para clavos, pernos, pasadores y tirafondos. La capacidad de característica del conector estará directamente vinculado a dos fenómenos, extracción directa en 45° y resistencia lateral, tal como lo evidencian los modos de falla asociados a extracción lateral, Figura 6. A esto hay que tomar en consideración que se realizarán pruebas en probetas de CLT, por lo que se utilizarán expresiones propuestas por Ubiel y Blass 2006 para el aplastamiento y extracción del CLT. El factor de seguridad utilizado para lograr el complemento de los dos fenómenos será 2.5.

Capacidad extracción característica:

$$R_{ax,z,k} = \frac{0.35*d^{0.8}*l_{ef}^{0.9}*\rho_k^{0.75}}{1.5*\cos^2(\varepsilon)+\sin^2(\varepsilon)} \quad (\text{Ec. 7})$$

$R_{ax,z,k}$: capacidad de extracción característica (N).

Extracción lateral:

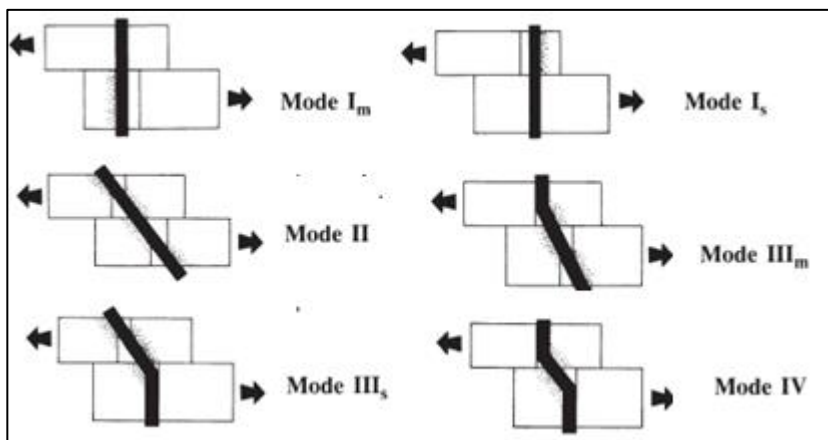


Figura 6. Modos de falla, extracción lateral.

(Fuente:AWS, 2015)

$$Z = \min \begin{cases} Z_{Im} & \frac{D * l_l R_{apl}}{4 * K_{\emptyset}} \\ Z_{Is} & \frac{D * l_c R_{apc}}{4 * K_{\emptyset}} \\ Z_{II} & \frac{K_1 * D * l_c R_{apc}}{3.6 * K_{\emptyset}} \\ Z_{IIIIm} & \frac{K_2 * D * l_l R_{apl}}{(1 + 2 * R_e) * 3.2 * K_{\emptyset}} \\ Z_{IIIs} & \frac{K_3 * D * l_c R_{apl}}{(2 + R_e) * 3.2 * K_{\emptyset}} \\ Z_{IV} & \frac{D^2}{3.2 * K_{\emptyset}} \sqrt{\frac{2 * R_{apl} * F_{ff}}{3 * (1 + R_e)}} \end{cases} \quad (Ec. 8)$$

$$R_{apc} = 0.112 * D^{-0.5} * \rho_0^{1.05} \quad (Ec. 9)$$

$$R_e = \frac{R_{apl}}{R_{apc}} \quad (Ec. 10)$$

$$R_t = \frac{l_l}{l_c} \quad (Ec. 11)$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2 * R_e^2 * (1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 * R_e^3 - R_e * (1 + R_t)}}{(1 + R_e)} \quad (Ec. 12)$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2 * (1 + R_e) + \frac{2 * F_{ff} * (1 + 2 * R_e) * D^2}{3 * R_{apl} * l_l^2}} \quad (Ec. 13)$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2 * (1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 * F_{ff} * (2 + R_e) * D^2}{3 * R_{apl} * l_c^2}} \quad (Ec. 14)$$

$$\emptyset = 90^\circ$$

$$K_{\emptyset} = 1 + 0.25 * \frac{\emptyset}{90} \quad (Ec. 15)$$

F_{ff} : Tensión de fluencia en el medio de union, MPa.

R_{apl} : Resistencia aplastamiento del Hormigón, MPa

D: Diametro del conector, mm.

l_c : Penetración del conector en la pieza de madera, mm.

l_1 : Penetración del conector en la pieza de Hormigón, mm

R_{apc} = Resistencia al aplastamiento en la pieza madera, CLT; MPa.

ρ_0 : Densidad madera, $\frac{kg}{m^3}$.

De este modo se obtiene que el valor mínimo a extracción lateral está asociado al modo de falla IV, es decir, fluencia de conector, aplastamiento de la madera y hormigón. Obteniendo un valor de extracción lateral admisible de 1.147 kN. Como estos valores se contrastaran con valores característicos, se multiplicará por el factor de seguridad para lograr una comparación. Así, llegaremos al efecto combinado, como la suma de los dos fenómenos con el conector a 45°.

$$Resistencia_{extracción} = Z * 2.5 + R_{ax,z,k}$$

$$Resistencia_{total} = 9.187 kN$$

Determinación teórica k_{ser} :

En el Eurocódigo 5, se plantean expresiones empíricas para calcular el valor del módulo de deslizamiento en función de la densidad de la madera, para el caso de no poder determinarlo experimentalmente. Estos valores corresponden a uniones entre madera-madera, por lo que se realiza el alcance de que el valor obtenido sea multiplicado por 2 para el caso de conexiones madera-hormigón. Ecuacion 16.

$$k_{ser} = 2 * \left(\rho_m^{1.5} * \frac{d}{23} \right) \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

ρ_m es la densidad media en kg/m^3 ;

d es el diámetro en mm.

Utilizando la densidad normal ρ_{12} y el diámetro de la zona roscada d_r , se obtiene:

$$k_{ser} = 5.15 kN/mm$$

3.6 Ensayos experimentales

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, se ha establecido que es de suma importancia poseer un sistema de conexión para el interfaz CLT-hormigón y su directa relación en el comportamiento mecánico de este material híbrido. Para poder cuantificar las características del sistema, se realizarán ensayos experimentales, los que consistirán en deformación y ruptura.

Se realizarán 2 tipos de ensayos, ver Figura 7 (a) Ensayos a corte directo, 6 repeticiones, para cada tipología de conexión y 7 (b) posterior a estos, un ensayo final de una losa a escala con el conector más idóneo según los parámetros establecidos en este estudio.

El primer ensayo, corte directo, tiene como fin el análisis del comportamiento mecánico de cada uno de los conectores utilizados, ya sea su capacidad, tipo de falla, y rigidez. Por otra parte, el ensayo de la losa a escala a flexión, será realizado solo con la conexión óptima y tendrá como propósito evaluar la influencia del conector de corte en el sistema: mediante la determinación de la eficiencia en flexión, observar el desplazamiento relativo entre ambos materiales de la sección y su capacidad máxima de ruptura.

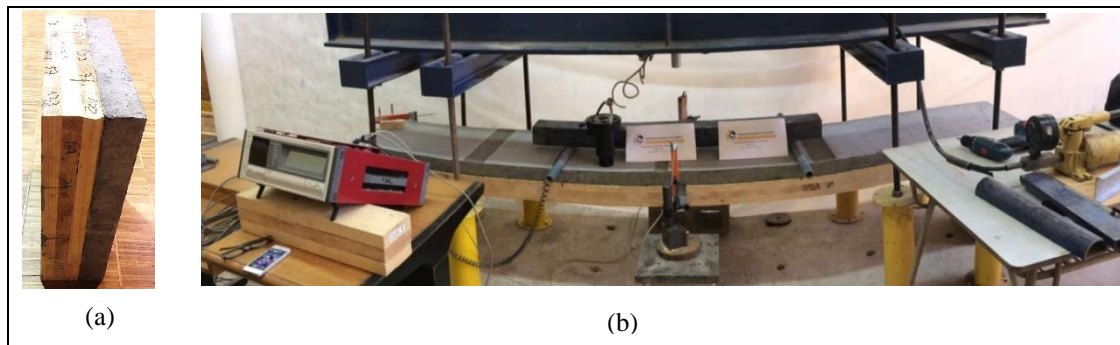


Figura 7. (a) Probeta para ensayos a corte; (b) losa híbrida CLT-hormigón

3.6.1. Instrumentos de medición.

a) *Transductores de desplazamiento*

La medición de los desplazamientos se realizó con dos transductores de desplazamiento, (uno en cada costado). Los cuales registran los desplazamientos, se utilizan dos para evitar variaciones o torsiones accidentales que no se puedan controlar.

b) *Celda de carga*

La medición de la fuerza aplicada se realizó con una celda de carga de capacidad 300 kN, La transmisión de información se realizó con la ayuda de un datta logger.

3.6.2. Madera sólida contralaminada (CLT)

La madera sólida contralaminada se fabricó en las dependencias de la universidad, figura 8, se fabricaron paneles y probetas, a partir de piezas de madera cepillada de 30 x 90 mm de escuadría, con una humedad promedio del 12 %, densidad básica de 364.90 (kgf/m³) y una clase estructural de C 14 (anexo xxx)



Figura 8. Proceso de fabricación de probetas CLT.

El adhesivo utilizado en los paneles fue de poliuretano de dos componentes SIKAFORCE-7710 L100 prensados en el marco de carga del Laboratorio de Diseño y Tecnología de la Madera en la Universidad del Bío-Bío.

La clasificación y posterior determinación de la clase estructural de la madera aserrada se realizó según la norma EN 338, 2010.

3.7 Configuración de ensayos

3.7.1. Ensayos a corte

a) Forma y dimensión de las probetas

Para la ejecución de los ensayos a corte se confeccionaron probetas de CLT de 90x420x450 mm, hormigón H-20 y el conector correspondiente para el interfaz. Las probetas consisten en, madera contralaminada, vinculada a una pieza de hormigón, se aísla la humedad del hormigón con una capa de polietileno de 0.3 mm para evitar que esta deforme el panel, conectadas entre sí por las diferentes distribuciones de conectores. La calidad del hormigón, construcción de probetas de CLT, inserción de los conectores y probetas terminadas, se encuentra en Anexo D.

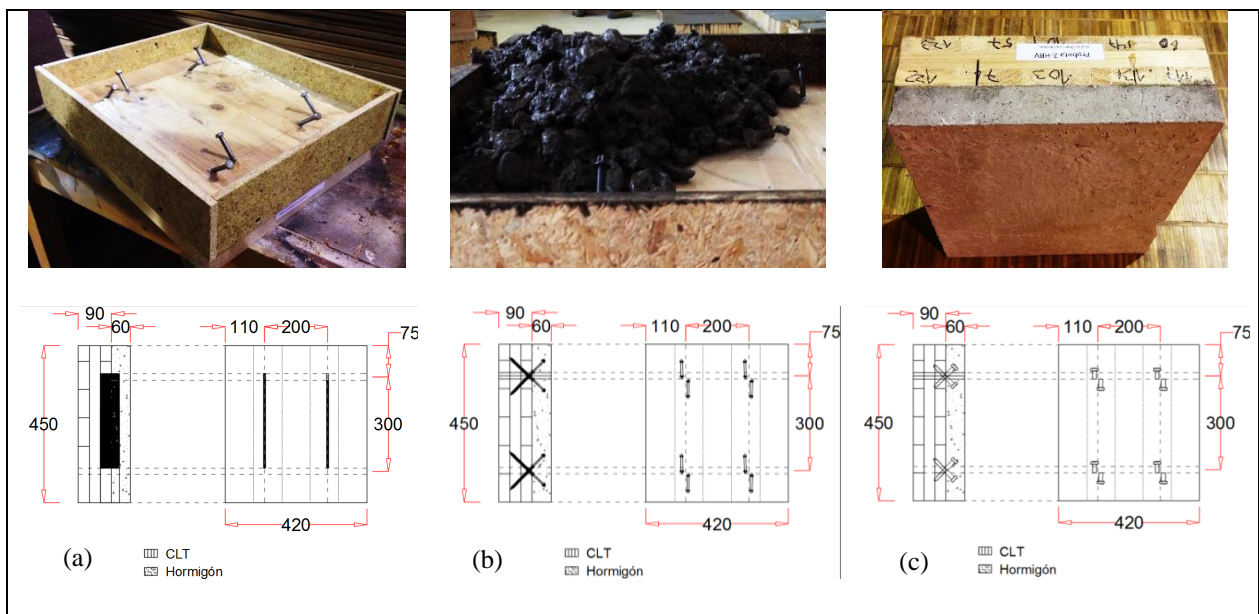


Figura 9. Dimensiones probetas a corte, y respectiva disposición de los conectores

En la figura 9(a) se muestran las dimensiones y disposición del conector HBV, tolerancias respecto al costado e incrustamiento en la probeta de CLT, 9 (b) presenta la disposición del conector SFS, con las dimensiones sugeridas por el proveedor y 9 (c) la disposición del conector de tipo tirafondo replicando las condiciones de (b).

b) Configuración del ensayo

Los ensayos se planificaron considerando la misma configuración propuesta por Ceccotti 2002 esquematizada en la Figura 10. Para este esquema se tiene un apoyo fijo en uno de los materiales (en un extremo de la probeta) y se aplica la fuerza directamente en el otro material en el extremo opuesto, el cual además deberá poseer un apoyo deslizante, para evitar el volcamiento.

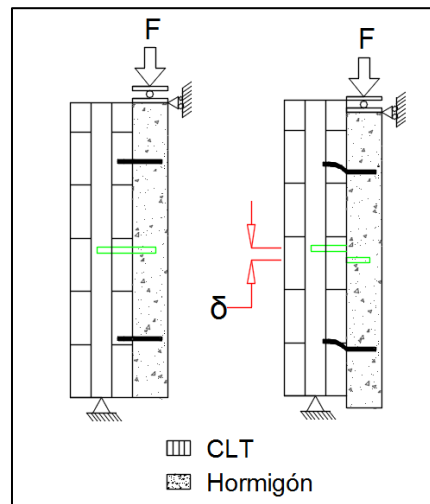


Figura 10. Configuración de ensayo a corte

(Fuente: elaboración propia)

Como la fuerza debe pasar de un material a otro, sección no homogénea, existirá una fuerza normal al plano, generando roce entre el hormigón y la madera, que en este estudio será despreciado. Aunque algunos autores (Lukaszewska 2009) proponen algunos valores para el coeficiente de roce, estos no serán considerados, ya que no influye en el compartimento de los conectores.

Las mediciones se realizarán mediante transductores de desplazamiento ubicados en ambos costados de las probetas, se utilizarán dos para evitar posibles torsiones ocasionadas por alguna irregularidad geométrica o diferencias en las rigideces de los conectores. Se utilizará la deformación promedio para realizar las gráficas fuerza-deformación.

c) Ejecución del ensayo

Una vez alcanzada la resistencia del hormigón, se procede a la ejecución de los ensayos de las secciones híbridas. Los ensayos se realizan en el marco de carga con la ayuda de un pistón hidráulico para aplicar la fuerza a una de las secciones. Con el fin de garantizar soporte lateral necesario para el ensayo, se realiza la construcción de una estructura de acero en “u”, para la cual se realizó la verificación de su resistencia y estabilidad de manera conservadora. El apoyo lateral deslizante se logrará utilizando dos placas de teflón de 10 mm de espesor, Figura 11.

Los transductores de desplazamiento fueron instalados a ambos lados de la probeta utilizando bases magnéticas, las que fueron fijadas a placas de madera previamente adosadas al hormigón.



Figura 11. Ejecución de ensayos a corte

3.7.2. Ensayo a flexión

a) Forma y dimensión de la losa

La losa tiene una longitud de 3000 mm y está conformada por una sección de madera contralaminada de sección 90x 430 mm, según el Centre Canadien de Matériaux de Construction (CCMC), 2002. La sección es suficiente para una losa de 3,5 metros de uso habitacional con 3 capas de madera. La disposición de los conectores, responde al diseño de la losa, Anexo E. Como lo muestra la figura 12.

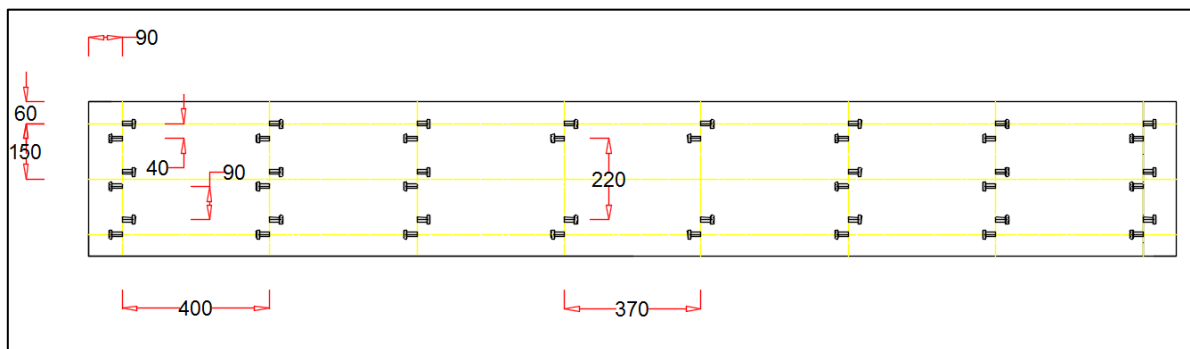


Figura 12. Espaciamento y disposición de tirafondos para la losa en flexión. (vista en planta).

(Fuente: elaboración propia)

b) Configuración del ensayo

El ensayo se realiza según UNE- EN 408, en la cual la losa se encuentra simplemente apoyada y las fuerzas son aplicadas en el tercio central de la losa para alcanzar flexión pura. Siguiendo las distancias ilustradas en la figura 13.

La carga es aplicada en el tercio central mediante una viga metálica que transmite la carga central, siendo monitoreada por la celda de carga.

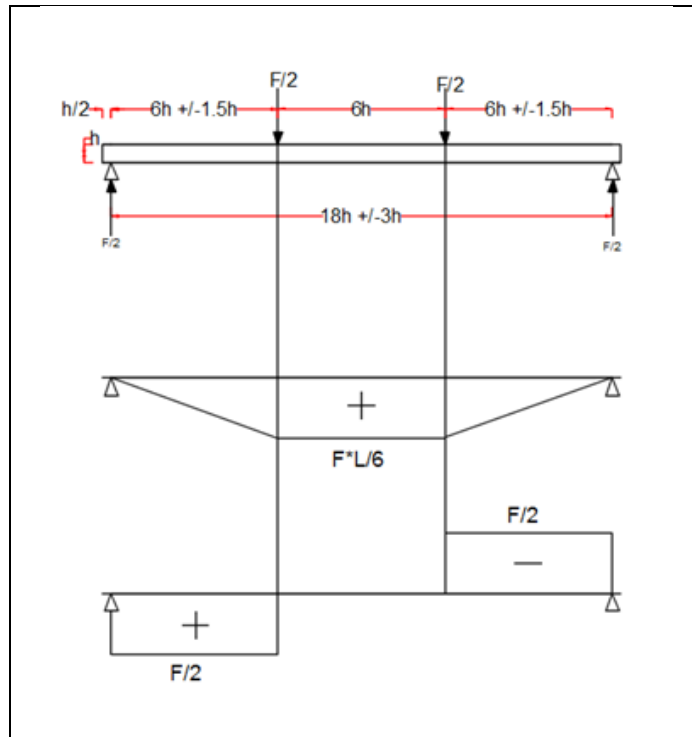


Figura 13. Configuración del ensayo a flexión con sus respectivos diagramas de esfuerzos

(Fuente: elaboración propia)

c) Ejecución del ensayo

Para la realización del ensayo en la losa a flexión se posiciona la losa en pedestales de acero en ambos extremos, figura 14 (a). Para la medición de los desplazamientos se utilizan transductores de desplazamiento de forma de que cuantificar el desplazamiento relativo entre ambos materiales, figura 14 (c). Los transductores centrales son ubicados en el centro de la losa, en ambos lados, para la medición de desplazamiento vertical, estos se instalan fijando las bases magnéticas y regulando la altura, para asegurar el control de la deflexión de la losa, Figura 14 (b). Para la aplicación de la carga en los tercios se utiliza una viga de acero apoyada sobre dos barras cilíndricas que poseen placas de acero adjuntas de 10 mm de espesor para distribuir la carga al hormigón.

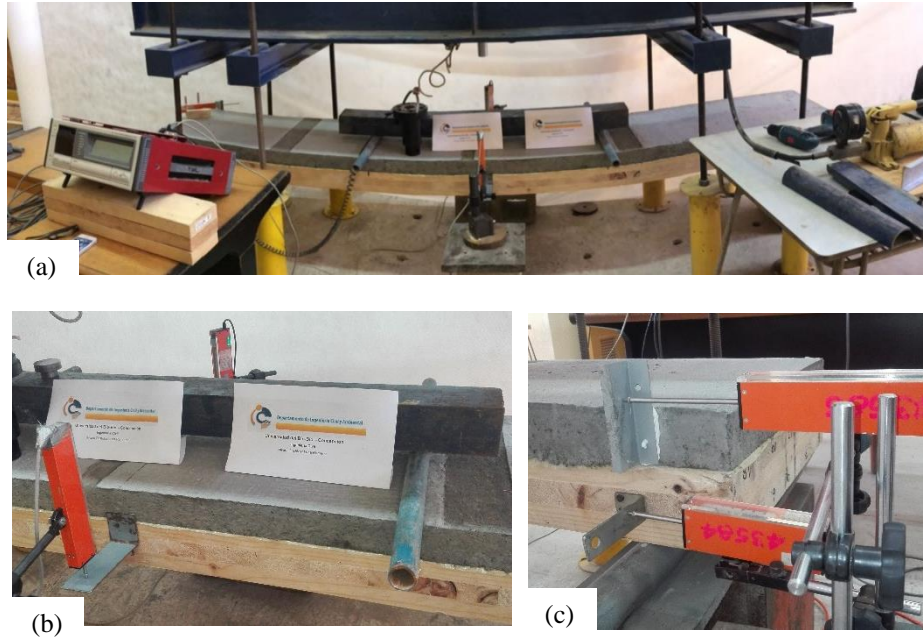


Figura 14. Disposición y ejecución de ensayo losa híbrida.

(Fuente: Elaboración propia)

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de ensayos de corte

4.1.1. Tipo de falla observada

La falla de la conexión para madera-hormigón en los ensayos de corte evidenció diferentes modos de falla para las diferentes tipologías de conexión, como observaremos a continuación. Al tener tres tipos de conexión con diferentes calidades de material y morfología, era de esperar que las conexiones obtuviesen diferentes comportamientos frente a los esfuerzos laterales.

a) Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB

La falla observada para esta tipología, presenta un comportamiento mixto, ya que el conector presentó una falla dúctil a elevados valores de carga, Figura 15 (a), lo que trajo como consecuencia una falla frágil en el hormigón a la primera fluencia del conector, Figura 15 (b). A su vez se puede apreciar un leve aplastamiento de la madera en el conector que trabajaba a compresión, por lo que se puede inferir que el modo de falla para este tipo de unión sería el modo de falla IV. Creando una doble fluencia en el conector, doble rotula, y aplastamiento en las piezas vinculadas.

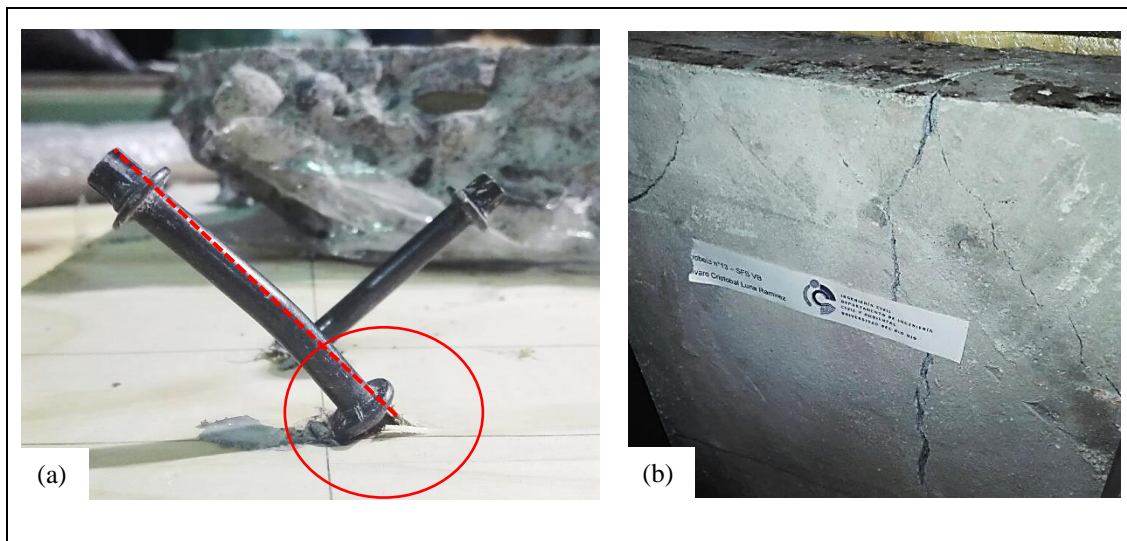


Figura 15. Falla observada en los conectores de tipo SFS.

b) HBV (Holz-Beton-Verbund System)

En el caso de este tipo de conexión se presenta una falla frágil, ya que el conector no presenta ningún tipo de problemas, tanto el conector metálico como el adhesivo se encuentran en las idénticas condiciones que antes de ensayar, Figura 16. Es por esto que cabe recordar que el conector HBV ha sido diseñado para cualquier tipo de sobre carga, incluso mayores a las habitacionales, por lo que sería necesario testarlo con otras calidades de hormigón superiores a H-20. En el análisis puntual de los resultados se aprecia una falla frágil a elevadas sollicitaciones con mínimos desplazamientos, presentando la capacidad característica más elevada de las 3 tipologías estudiadas.

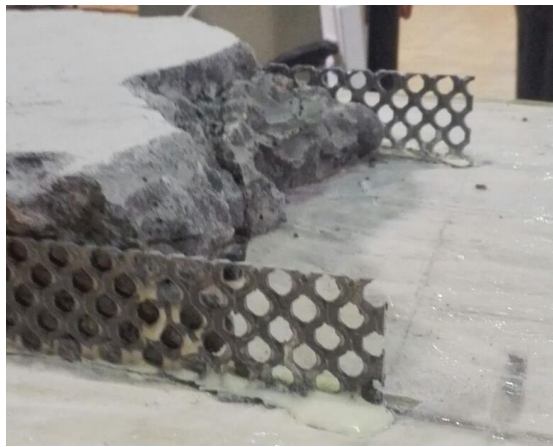


Figura 16. Falla observada en los conectores de tipo HBV

c) Tirafondos

Para este tipo de conexión para madera-hormigón, en los ensayos de corte se mostró un comportamiento de alta ductilidad, el mecanismo de falla se presentó como la fluencia del acero del tirafondo en una doble rotula (dentro de ambos materiales) y el aplastamiento del CLT contra éste, Figura 17 (a). El tramo del tirafondo embebido en el hormigón se comportó como un semi-empotramiento ya que se apreció un ligero aplastamiento en la zona de conexión, pero sin producir la falla por aplastamiento tan evidente. El hormigón se desplazó como un bloque monolítico, Figura 17 (b).

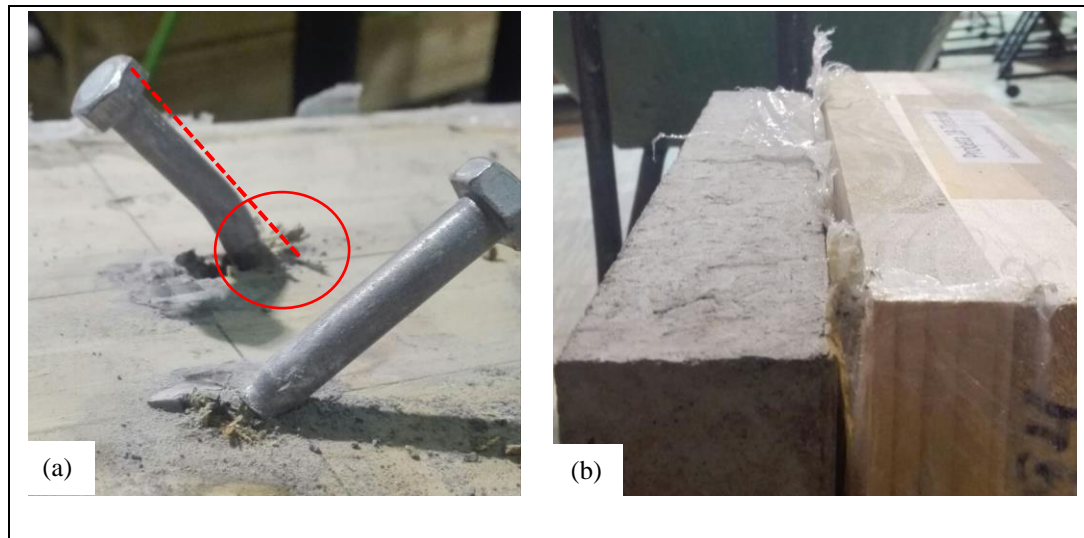


Figura 17. Falla observada en los conectores de tipo Tirafondo

4.1.2. Gráficas de fuerza-deslizamiento

Los ensayos de corte tienen como propósito determinar la rigidez del sistema de conexión, así como su tipo de comportamiento. Como ya se mencionó anteriormente, el valor de la deformación se obtuvo a partir del promedio de las deformaciones en ambos extremos. A continuación se presentan las curvas de las seis probetas ensayadas por cada tipología con la configuración descrita con anterioridad, Figura 18 (a) Gráfica fuerza vs desplazamiento conector HBV; (b) Gráfica fuerza vs desplazamiento conector SFS; (c) Gráfica fuerza vs desplazamiento conector tirafondo.

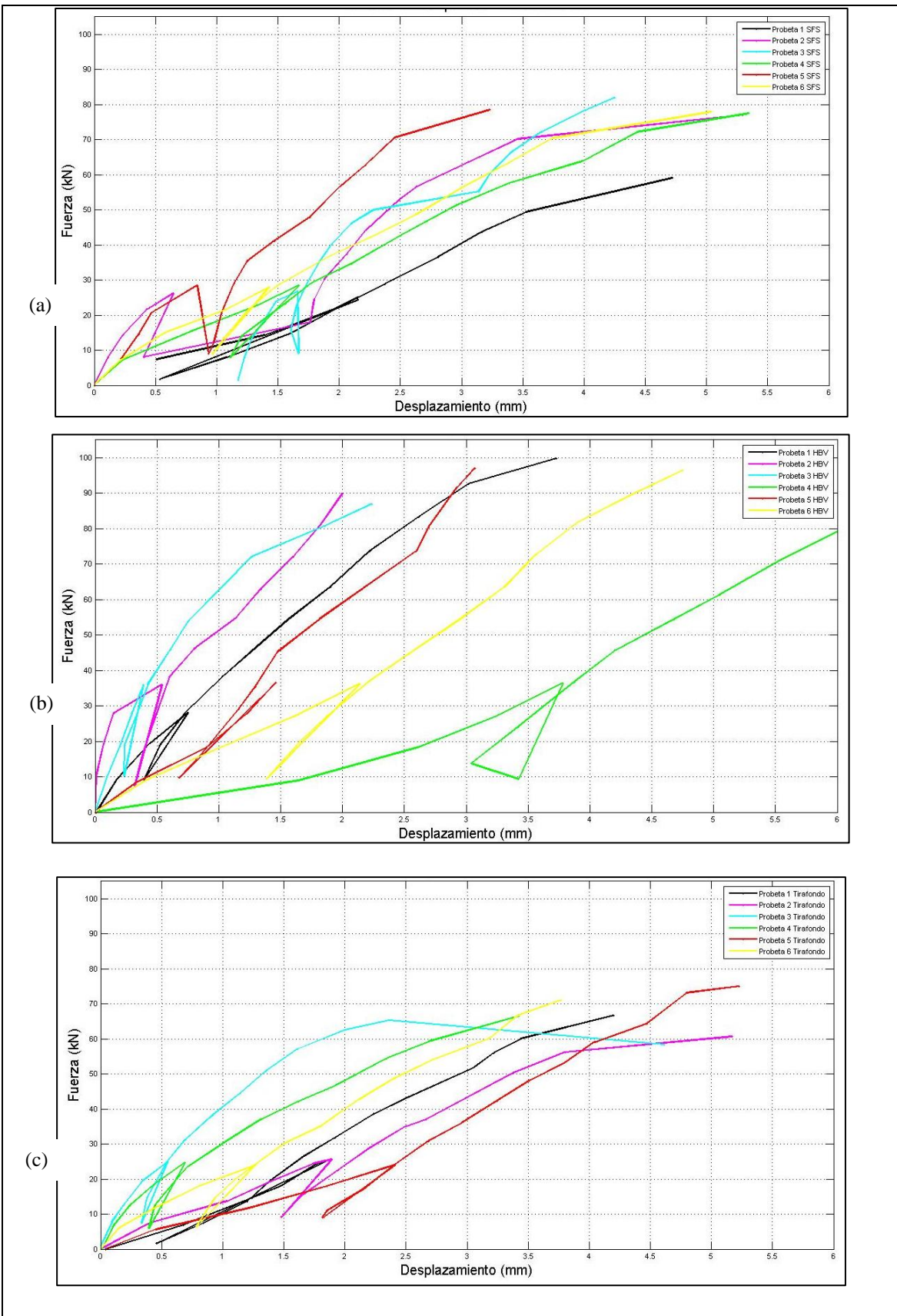


Figura 18. Gráficas Fuerza vs Desplazamiento, resultado de los ensayos experimentales.

(Fuente: elaboración propia)

El comportamiento observado en las curvas de fuerza-desplazamiento, obedece en primer lugar al protocolo de carga utilizado, carga y descarga, trabajando en el tramo elástico del conector. Es por esto que el comportamiento de las diferentes tipologías se realizará por etapas: en primer lugar, el comportamiento de los conectores en el 40% de la carga estimada, donde el comportamiento es similar en todas las tipologías, con deformaciones mínimas en el conector y con deformaciones residuales mínimas al momento de descargar las probetas. Siempre en términos generales, ya que las magnitudes de la carga resistidas son diferentes entre los conectores. En segundo lugar, cuando analizamos posterior al 40% de la fuerza estimada se produce un fenómeno constante entre conectores iguales, pero diferente entre las tres tipologías. En el caso del Conector HBV, Figura 18 (a), se observa un aumento con tendencia lineal, en la cual las deformaciones obedecen linealmente al aumento de carga en 5 de los 6 ensayos. Con deformaciones grandes, solicitaciones y deformaciones bajas se evidencia un contraste con las otras conexiones, lo que se verá reflejado en las magnitudes de la rigidez; en el caso de la conexión tipo SFS se puede apreciar un comportamiento mixto una vez superado el 40% de la carga estimada, ya que inmediatamente después continúa con un aumento en las deformaciones proporcional a la carga aplicada, aunque una vez alcanzada el 80% de la fuerza las deformaciones comienzan a aumentar en mayor magnitud que la fuerza aplicada, Figura 18 (b); finalmente tenemos el conector de tipo tirafondo, el cual presenta un comportamiento constante una vez superado el rango elástico, presentando grandes deformaciones, en comparación a las otras tipologías, con estados de carga bastante más bajos, Figura 18 (c).

4.1.3. Determinación de la capacidad última del conector

Debido a que el módulo de deslizamiento de la conexión se encuentra en función de su capacidad de carga, y la determinación de propiedades mecánicas según NCh 3079 of 2007 responde, en el caso de la capacidad última, la deformación de 15 mm o la rotura. Para las tres tipologías de conexión, la rotura será tomada como la capacidad última, ya que el 100% de las probetas ensayadas alcanzaron rotura antes de dicha deformación.

4.1.4. Determinación del módulo de deslizamiento

Para determinar el módulo de deslizamiento del conector, se aplicó el método utilizado en NCh3079 of 2007. Este consiste básicamente en encontrar la pendiente de la recta secante a la curva que la intercepta en el 10% y el 40% de la carga última. Esto tiene la ventaja de descartar irregularidades al inicio de la curva, y así poder obtener valores más homogéneos y representativos para las probetas.

Es así como el cálculo de la rigidez del conector estará definida por la Ecuación 2 y los parámetros mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Información requerida para el cálculo de la rigidez.

$F_{est} (kN)$	60
$0.4 * F_{est} (kN)$	24
$\delta_{i,mod} (mm)$	0.61
$\delta_{0.4} (mm)$	0.55
$\delta_{0.1} (mm)$	0.095
$k_{ser} \frac{kN}{mm}$	39.6

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos experimentales.

4.1.5. Análisis estadístico

Luego de determinar las capacidades últimas y los módulos de deslizamiento de cada probeta, es posible obtener los parámetros estadísticos de la muestra, Tabla 6, para determinar los valores límites para un nivel de exclusión.

A continuación, se presenta una tabla con los módulos de deslizamiento y capacidades últimas calculados para cada probeta.

Tabla 6. Parámetros estadísticos de capacidad y rigidez.

Probeta N°	HBV		SFS		Tirafondo	
	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)
1	34.4	99.8	13.4	59.1	18.3	66.7
2	210.0	96.4	12.5	77.0	13.5	60.6
3	143.4	87.0	36.4	82.0	39.6	65.3
4	18.2	93.0	15.4	77.6	30.5	68.3
5	32.8	97.0	35.0	78.5	9.2	75.0
6	24.0	96.4	18.1	77.9	16.2	71.1
Media Muestral \bar{X}	77.14	94.94	21.80	75.34	21.20	67.85
Desviación Estándar S	80.16	4.48	10.97	8.14	11.50	4.93
Coefficiente de Variabilidad CV	1.04	0.05	0.50	0.11	0.54	0.07

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos experimentales.

Debido a que se posee una muestra de tamaño $n=6$, la media aritmética y la desviación estándar de la muestra no son buenas estimaciones, sobre todo en el caso del módulo de deslizamiento, en el

cual tenemos coeficientes de variabilidad muy elevados. Para enfrentar este problema se asignará una distribución t student, como dicha distribución es la distribución que se presenta con más frecuencia en fenómenos reales, se asumirá que el comportamiento de los conectores se ajusta a una distribución normal. De esta forma es posible utilizar una distribución t student para generar intervalos de confianza.

En el caso de las tres tipologías de conexión se quiere estimar μ en una población $N(\mu ; \sigma)$, con ambos parámetros desconocidos. El tamaño de la muestra en los tres tipos de conexión es $N = 6$, con \bar{X} y cuasi-desviación típica especificado en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros estadísticos, media muestral, desviación estándar y cuasi-desviación estándar.

Probeta N°	HBV		SFS		Tirafondo	
	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm} \right)$	F_u (kN)
Media Muestral \bar{X}	77.14	94.94	21.80	75.34	21.20	67.85
Desviación Estándar S	80.16	4.48	10.97	8.14	11.50	4.93
Cuasi-Desviación estándar	9.81	2.32	3.63	3.13	3.71	2.43

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos experimentales.

4.1.6. Determinación de una región de predicción

Un intervalo de predicción corresponde a la estimación de un intervalo en donde una observación futura se va a encontrar con una cierta probabilidad. De forma similar al intervalo de confianza, si se desea determinar el límite inferior para una futura observación, con una probabilidad de $1 - \alpha$, este se puede expresar como:

$$\left[\bar{X} - t_{N-1; \frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{N}}, \bar{X} + t_{N-1; \frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{N}} \right]; \tag{Ec. 17}$$

Donde $\bar{X} - t_{N-1; \frac{\alpha}{2}}$ marcará el límite inferior del intervalo de confianza y $\bar{X} + t_{N-1; \frac{\alpha}{2}}$ el límite superior, donde quedarán establecidos los valores para módulo de corrimiento y capacidad característica de las tres tipologías. Tabla 8

Tabla 8. Intervalo de predicción.

	HBV		SFS		Tirafondo	
	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	F_u (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	F_u (kN)
Límite inferior	66.85	92.51	17.99	72.06	17.30	65.30
Límite superior	87.43	97.37	25.61	78.62	25.10	70.40

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación 17.

El límite inferior será tomado como el valor de capacidad última y módulo de corrimiento en todas las probetas, ya que este será el límite en el cual será mayor en un 95% de los casos, Tabla 9.

En el caso de la capacidad última, es estimada por pareja de conectores en el caso de las tipologías de conexión puntual y el mismo valor en el caso de la conexión continua. Es así como deberá ser dividido por 4, número de parejas por probeta, el valor de SFS y tirafondo, para obtener la capacidad característica por pareja de conectores.

Los valores presentados corresponden por definición a la carga característica del medio de unión.

La carga admisible se calcula aplicando un factor de ajuste de 2,5 a la carga característica, Tabla 9.

$$F_{adm} = \frac{F_{u,95\%}}{2.5} \tag{Ec. 18}$$

Tabla 9. Valores característicos límites con 5% de exclusión.

	HBV		SFS		Tirafondo	
	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	Capacidad (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	Capacidad (kN)	$k_{ser} \left(\frac{kN}{mm}\right)$	Capacidad (kN)
Valores Característicos	66.85	92.51	17.99	18.02	17.30	16.33
Valores admisibles	66.85	37	17.99	7.21	17.30	6.53

Fuente: Elaboración propia en base a Intervalo de predicción y ecuación 18.

4.2 Resultados de los ensayos de flexión

4.2.1 Tipo de falla observada

En el ensayo de confirmación de la teoría de acción compuesta, se observó una falla por flexión, que se presentó en el tercio central de la luz, Figura 19 (a) y consistió en la ruptura por tracción de la madera alrededor de los nudos presentes en la lámina externa, Figura 19 (b). Esta falla fue de tipo frágil, donde la carga máxima se alcanzó al momento de la ruptura de la madera.



Figura 19. Tipo de falla observada ensayo a flexión.

4.2.2. Curvas de fuerza-deformación

Para la losa híbrida se construyó una gráfica de fuerza-deformación vertical (deflexión) y de fuerza-deformación relativa. La deformación vertical corresponde al promedio de las lecturas registradas con los transductores ubicados a ambos lados de la losa, al centro de la luz. La deformación relativa entre la madera y el hormigón corresponde al promedio entre de las deformaciones horizontales registradas por los transductores ubicados en el extremo de la losa. Figura 20.

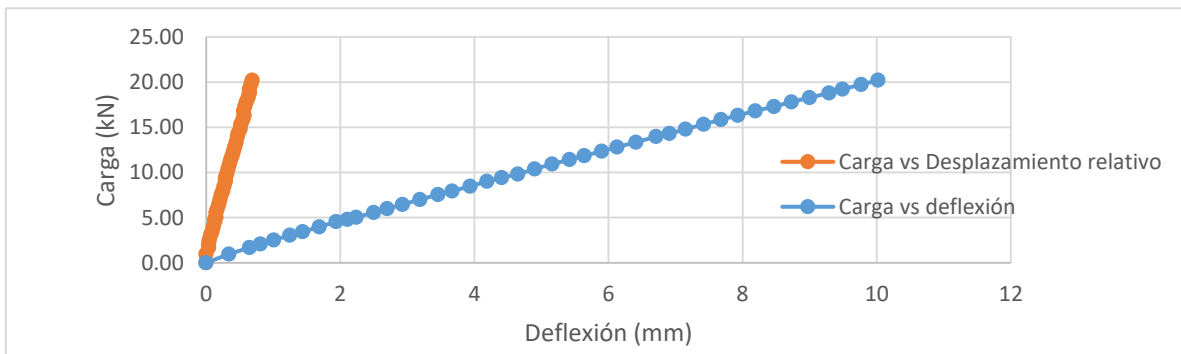


Figura 20. Gráficas cargas deflexión; desplazamiento relativo.

4.2.2. Rigidez teórica para una conexión total y nula

Para poder determinar la eficiencia que se obtuvo en el sistema mixto, hace falta determinar la rigidez teórica para el caso de una conexión total y para una conexión nula. Para poder comparar las rigideces teóricas con la rigidez obtenida en el ensayo, se define la deformación vertical al centro de la luz de una viga simplemente apoyada con dos cargas $P/2$ actuando en los tercios de la luz como:

$$\Delta = \frac{23PL^3}{1296EI} \quad (\text{Ec. 19})$$

4.2.3. Determinación de la eficiencia del sistema mixto

Para el cálculo de la eficiencia, será necesaria la obtención de la deflexión vertical con rigidez nula y total en la conexión. Es aquí donde se establece que la losa que trabaje con rigidez nula estará dada por: $EI_{eq} = E_h I_h + E_{CLT} I_{CLT}$. Y la que trabaje con rigidez total, $E_{CLT} I_t$; donde I_t : inercia de la sección transformada.

4.2.4. Rigidez con conexión total

Como se mencionó para calcular la rigidez de la losa en el caso de una conexión total, se calculará el momento de inercia de la sección transformada para expresar la rigidez en flexión en función del módulo elástico de uno de los materiales, en este caso el CLT.

$$n = \frac{E_h}{E_{CLT}} = \frac{23500\text{MPa}}{7021\text{MPa}} = 3.347 \quad (\text{Ec.20})$$

Donde:

E_h = Módulo de elasticidad del hormigón, correspondiente H-20, según ACI-318.

E_{clt} = Módulo de elasticidad del CLT, calculado en forma práctica, según EN 408.

Ya que se trabajará con una sección transformada es necesario el cálculo de la inercia de la sección transformada, la cual queda expresada como:

$$I_t = I_{clt} + A_{clt} * (\bar{Y}_{cg} - \bar{Y}_{clt})^2 + n * I_h + n * A_h * (\bar{Y}_{cg} - \bar{Y}_h)^2 \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

\bar{Y}_{cg} : Centro de gravedad de la sección mixta

\bar{Y}_{clt} : Centro de gravedad de la sección de CLT

\bar{Y}_h : Centro de gravedad de la sección de hormigón

A_h : Área de la sección de hormigón

A_{clt} : Área de la sección de CLT

I_h : Momento de inercia de la sección de hormigón respecto a su centro de gravedad

I_{clt} : Momento de inercia de la sección de CLT respecto a su centro de gravedad

Se obtiene:

$$I_t = 19765 \text{ cm}^4$$

De modo que la rigidez a flexión de la sección será:

$$E_{CLT} * I_t = 1387.668 \text{ kN} * \text{m}^2$$

Por lo que podemos considerar la deformación vertical al centro de la luz considerando una carga unitaria.

$$\Delta_{cc} = 0.345 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

4.2.5. Rigidez con conexión nula

En el caso de no tener la capacidad de transmisión del flujo de cizalle, el sistema se considerará como dos elementos actuando independientemente. Esto quiere decir que ambos elementos estarán sometidos a flexión pura y la rigidez de la sección transversal podrá expresarse como la suma de los momentos de inercia de cada elemento multiplicados por sus respectivos módulos de elasticidad.

$$EI_{eq} = E_h I_h + E_{clt} I_{clt} \quad (\text{Ec. 22})$$

$$EI_{eq} = 773.79 \text{ kN} * \text{m}^2$$

Del mismo modo que para el caso anterior, se calcula la deflexión vertical al centro de la luz por unidad de carga:

$$\Delta_{cn} = 0,619 \frac{mm}{kN}$$

4.2.6. Representación grafica de la eficiencia en la conexión

Para visualizar la eficiencia utilizaremos dos métodos, en primer lugar, el cálculo de la eficiencia como lo plantea Leborgne lo cual se encuentra en función de la deformación vertical para una carga dada. También se visualizará la eficiencia mediante la representación gráfica de la losa ensayada, contrastando con las curvas de conexión total y nula. Figura 21.

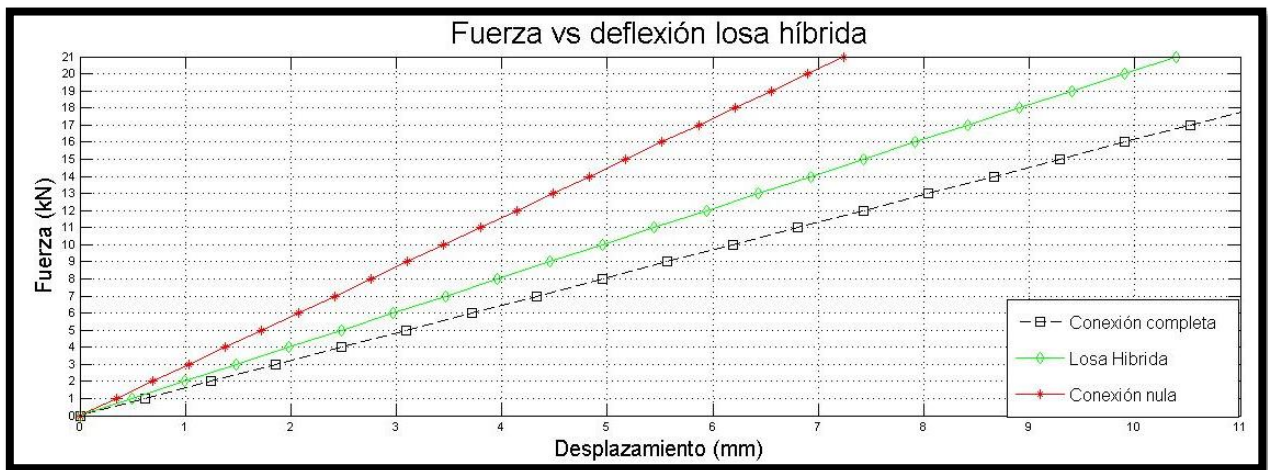


Figura 21. Gráfico de fuerza-deformación de las vigas de flexión y de los casos teóricos con acción compuesta total y nula.

(Fuente: elaboración propia)

La pendiente de esta recta representa la rigidez vertical al centro de la luz, la cual puede ser calculada como la inversa de la deformación:

$$k_v = \frac{1}{\Delta v} \tag{Ec.23}$$

Donde:

k_v : Rigidez vertical de la losa en el centro de la luz;

Δ : Deformación vertical al centro de la luz por unidad de carga.

Para estimar la rigidez de la losa, se traza una recta secante que pase por los puntos de la curva donde la deformación es cero y donde la carga aplicada alcanza los 20.21 kN. Este valor corresponde a la carga admisible de la losa antes de la falla normativa, ya que la pendiente requiere ser en el límite elástico. Se consideró este valor ya que no supera el límite elástico de la losa, con un factor de correlación a una tendencia lineal de 0.9994.

La rigidez calculada a partir de la recta utilizada, así como su respectivo valor inverso que representa la deformación vertical por unidad de carga al centro de la luz se indica en la Tabla 10, con este parámetro se cuantifica la eficiencia del conector (ecuación 2). Además de la verificación de lo establecido como conexión completa y nula.

Tabla 10. Eficiencia de la conexión.

Caso	$k_v \left(\frac{kN}{mm} \right)$	$\Delta_v \left(\frac{mm}{kN} \right)$	Eficiencia (%)
Losa híbrida	2.017	0.496	44.89
Conexión completa	2.899	0.345	100
Conexión nula	1.616	0,619	0

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación.

Este porcentaje de eficiencia podría ser tendencioso, ya que presenta un valor inesperado, luego de que la capacidad de carga fuese cuadruplicada en el ensayo a flexión pura, esto se debe a algunos factores a tener en consideración. En primer lugar, la eficiencia planteada está sujeta a deformaciones teóricas lineales asumiendo comportamientos ideales en los ensayos y materiales, es aquí donde podrían existir variaciones positivas para el porcentaje de eficiencia del conector. En otro punto a tener en consideración, las deflexiones teóricas son calculadas sin tener en consideración por ejemplo la falla puntual del hormigón inducida por el conector. Es por esto, que esta eficiencia es tomada como referencia a la rigidez en la conexión.

5 CONCLUSIONES

Se presentan conclusiones derivadas de la revisión bibliográfica, construcción, programación y realización de ensayos, y el análisis de los resultados obtenidos.

- Se determinaron experimentalmente parámetros de diseño para la interacción CLT-hormigón, para tirafondos, conectores forjados SFS y HBV, para estos dos últimos se ajustaron rigideces y capacidades ofrecidas, ajustándolas a la realidad nacional.

HBV, la capacidad de carga y el módulo de deslizamiento del conector determinado mediante ensayos experimentales resultó contradictorio respecto a la teoría, ya que la rigidez teórica es superior a la experimental, aunque hay que considerar el elevado coeficiente de variabilidad (1.04). Esto se explica, en que el conector es desarrollado para grandes solicitaciones y luces, por lo que el tipo de falla era el esperado (falla del hormigón), conservando en óptimas condiciones el conector y el adhesivo. La capacidad admisible teórica es inferior a la experimental. La diferencia radica en que el conector está desarrollado para soluciones de grandes luces y solicitaciones, por lo que se presume la inclusión de algún factor de seguridad adoptado por la empresa. El tipo de falla para un conector con gran rigidez y adhesivo con capacidad al cizalle requerida ocurre en una primera etapa en el deslizamiento relativo del hormigón respecto a la placa microperforada, con una posterior falla frágil en el hormigón.

SFS, la capacidad de carga y el módulo de deslizamiento experimentales poseen una estrecha correlación con la teoría, sobre todo en el caso de la capacidad admisible del conector, en el cual existe un 2% de error entre lo ofrecido y los resultados. Por el contrario el módulo de deslizamiento presenta diferencias entre los valores teóricos y experimentales, esto es un problema al momento de evaluar la rigidez, ya que la falla se produce según lo esperado, pero con una rigidez inferior. Esta variación no responde a ningún parámetro físico, ya que se respetó la disposición según lo establecido por el proveedor, sino más bien a la variabilidad de las rigideces experimentales ($CV=0.50$), por lo que una alternativa para ajustar la rigidez sería aumentar la frecuencia de ensayos. Otro punto a tener en consideración, es que la teoría no se ajusta en un 100% a la realidad, ya que la certificación ETA con la que cuenta el conector realiza estimaciones según el EUROCODE 5, y éste no presenta en su teoría la interacción madera hormigón. El tipo de

falla responde a su disposición en $\pm 45^\circ$ y alta resistencia del acero, ya que la falla ocurre en dos etapas, en primer lugar, un fenómeno combinado entre la primera fluencia del conector (compresión), el aplastamiento y extracción directa del CLT, para dejar en segundo lugar una falla frágil del hormigón consecuencia de las deformaciones.

CONECTORES TIPO TIRAFONDO, la capacidad de carga y el módulo de deslizamiento poseen una correlación con diferentes matices, ya que la rigidez experimental es muy superior a la expresada para el Eurocodigo 5 (40%). Esto se debe a que las expresiones madera hormigón no se encuentran calibradas para dicha interacción y solo se recomienda multiplicar por dos en el caso de un conector esté vinculando con otra materialidad. En el caso de la capacidad admisible, se tiene una correlación próxima con un error del 11%. Esto se explica en que los valores obtenidos teóricamente se basan en un modelo que no respeta todas las hipótesis, ya que se trabaja con una capacidad a la extracción lateral en el caso de inserción del conector perpendicular a la fibra, sumada a una extracción directa con desangulación del conector. El tipo de falla es el esperado según la literatura y calidad del acero utilizado, con un límite de fluencia a flexión muy limitada respecto a los otros. Es en esta tipología donde se evidencia con mayor claridad el tipo de falla, la que consta de dos etapas. Primero se tiene un fenómeno combinado, en el cual el conector fluye y produce aplastamiento en el panel de CLT (compresión). Para el conector que trabaja a tracción se produce una desangulación en la inserción del conector y extracción directa de este mismo, para finalmente dar paso al desplazamiento del hormigón como un bloque completo.

- Con los resultados de los ensayos a corte se realizarán conclusiones respecto al ensayo de la losa híbrida ensayada a flexión pura, que fue realizado con el fin de obtener la comprobación de la teoría de la acción compuesta y la directa relación de los parámetros analizados (rigidez y capacidad).

La prueba a flexión se realizó con conector tirafondo tipo corriente, la evaluación está marcado por la capacidad de carga de la losa en flexión, en el cual se cuadruplicó la capacidad de carga admisible en la losa mixta, respecto a la losa CLT para una carga asociada a 10 mm de deflexión, los que corresponden a las limitaciones de servicio establecidas por norma, en el caso del ensayo de CLT fue de 4.776 kN y por contraparte en la losa híbrida fueron de 20.21 kN. Otro de los puntos a evaluar fue la cuantificación de la rigidez, si bien el ensayo proyecta una eficiencia cercana al 45%, esta no resulta del todo

representativo, ya que para las deflexiones normativas tenemos un desplazamiento relativo de 0.69 mm lo que asegura a lo menos una conexión semi-rígida, a su vez el porcentaje de eficiencia es calculado en base a condiciones ideales de materialidad, lo que influye directamente en el porcentaje de eficiencia.

Futuras investigaciones.

En este punto se presentarán algunos parámetros a considerar y recomendaciones para ser realizadas en nuevos estudios, que continúen la línea de investigación.

El número de probetas a ensayar debiese ser mayor o igual a 30, ya que a medida que el tamaño de la muestra aumenta, la función de densidad se torna aproximadamente normal y así se pueden obtener parámetros de distribución más regulares, y por consiguiente resultados más precisos.

Resultaría beneficioso para la investigación, realizar una mayor frecuencia de ensayos a flexión, para tener una muestra estadísticamente fiable y no sólo una comprobación de la teoría utilizada. Y así obtener valores reales del porcentaje de eficiencia en la conexión, además de realizar un contraste respecto un posible modelo de cálculo.

Para el caso de conexiones con elevada rigidez y capacidad, como por ejemplo HBV, se recomienda utilizar probetas de hormigón con mayor capacidad a la compresión y/o de ser necesario utilizar armadura.

Resultaría interesante el estudio de alguna placa micro perforada, que se asemeje al conector HBV con materiales nacionales y así investigar las características de una tipología de conexión altamente industrializable y excelentes resultados de capacidad y rigidez.

Finalmente, siguiendo la línea de investigación de conectores puntales, es de suma importancia realizar la calibración de un modelo, que tenga en consideración las variables no consideradas (directamente en este estudio): vinculación CLT-hormigón con conectores parcialmente insertos en ambos materiales; de continuar con el trabajo en pareja de los conectores, incluir la inclinación del conector respecto a la introducción.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WOOD COUNCIL. 2015. National design specification (NDS) for wood construction. ISBN 978-1-940383-05-7.

CECCOTTI A. 2002. Composite concrete-timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials* 4(3): 264-275.

DIAS, A. 2005. Mechanical behaviour of timber-concrete joints. Tesis Dr. Ing. Delf, Universidad Técnica de Delft. 293 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. 1993. Eurocódigo 5; Design of Timber Structures; Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Bruselas. 136 p.

HIBBELER, RUSSELL C. 2011. *Mecánica de materiales*, Octava edición; PEARSON EDUCATION, Mexico 2011. 978-607-320559-7.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1985. NCh 170 Of.85; Hormigón - Requisitos generales. Santiago, INN-Chile. 65 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1989. NCh 2148 Of.89; Madera laminada encolada estructural- requisitos e inspección. Santiago, INN-Chile. 26p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2007. NCh 3079 Of.07; Madera- Uniones realizadas con elementos de unión mecánicos-Determinación de las características de resistencia y deformación-Principios generales, INN-Chile. 6p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1979. NCh 163 Of.79; Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales. Santiago, INN-Chile. 29 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1977. NCh 165 Of.77; Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría. Santiago, INN-Chile. 25 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1977. NCh 1116 Of.77; Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente. Santiago, INN-Chile. 11 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2014. NCh 1198 Of.2014; Madera-Construcciones en Madera-Calculo. Santiago, INN-Chile. 555 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2013. NCh 2148 Of.2013; Madera laminada encolada estructural – Requisitos e inspección. Santiago, INN-Chile. 45 p.

LUKASZEWSKA, E. 2009. Development of prefabricated timber-concrete composite floors. Tesis Dr. Ing. Civ. Estructural. Lulea, Universidad Tecnológica de Lulea. 300 p.

MANARIDIS, A. 2010. Evaluation of timberconcrete composite floors. Tesis Ing. Estructural. Lund, Universidad de Lund. 122 p.

STEINBERG, E.; R. SELLE; T. FAUST. 2003. Connectors for timber–lightweight concrete composite structures. Journal of Structural Engineering; 129(11): 1538-1545.

SORIANO, J.; N. T. MASCIA. 2009. Estruturas mistas em madeira-concreto: uma técnica racional para pontes de estradas vicinais. Ciência Rural; 39(4): 1260-1269.

STEINBERG, E.; R. SELLE; T. FAUST. 2003. Connectors for timber–lightweight concrete composite structures. Journal of Structural Engineering; 129(11): 1538-1545.

ANEXOS

INDICE GENERAL DE ANEXOS.

Anexo A	Resultados ensayos.	56
Anexo B	Clasificación mecánica de la madera.	82
Anexo C	Validación Pegamento “SikaForce®-7710 L100.	92
Anexo D	Anexo de fabricación.	98
Anexo E	Diseño de conectores requeridos en losa híbrida.	105

INDICE DE TABLAS.

Tabla A1 resultados probeta 1 SFS.	57
Tabla A2 resultados probeta 2 SFS.	58
Tabla A3 resultados probeta 3 SFS.	59
Tabla A4 resultados probeta 4 SFS.	60
Tabla A5 resultados probeta 5 SFS.	61
Tabla A6 resultados probeta 6 SFS.	62
Tabla A7 resultados probeta 1 HBV.	64
Tabla A8 resultados probeta 2 HBV.	65
Tabla A9 resultados probeta 3 HBV.	66
Tabla A10 resultados probeta 4 HBV.	67
Tabla A11 resultados probeta 5 HBV.	68
Tabla A12 resultados probeta 6 HBV.	69
Tabla A13 resultados probeta 1 tirafondos.	71
Tabla A14 resultados probeta 2 tirafondos.	72
Tabla A15 resultados probeta 3 tirafondos.	73
Tabla A16 resultados probeta 4 tirafondos.	74
Tabla A17 resultados probeta 5 tirafondos.	75
Tabla A18 resultados probeta 6 tirafondos.	76
Tabla A19. Ensayo a flexión losa de CLT.	78
Tabla A20. Ensayo a flexión losa híbrida.	79
Tabla B1: Densidad piezas ensayadas.	84
Tabla B2: Resultados ensayo a rotura	86
Tabla B3: Valores dentro del rango elástico.	87
Tabla B4: Resultados probetas ensayadas.	88
Tabla B5: Valores dentro del rango elástico.	90
Tabla C1. Condiciones de trabajo.	95
Tabla C2. Dimensiones de área encolada.	95
Tabla C3. Resistencia al cizalle.	96
Tabla D1: Dimensiones y peso probetas cúbicas 150mm.	104
Tabla D2: Resistencia equivalente de una probeta cúbica de 200 mm.	105

INDICE DE FIGURAS.

Figura A1. Configuración de ensayo a corte	56
Figura A2. Disposición espacial de conectores SFS.	57
Figura A3. Representación gráfica de cada ensayo SFS	62
Figura A4. Representación gráfica resumen de ensayos SFS	62
Figura A5. Disposición espacial de conectores HBV	63
Figura A6. Representación gráfica de cada ensayo HBV	69
Figura A7. Representación gráfica resumen de ensayos HBV	69
Figura A8. Disposición espacial de conectores Tirafondo.	70
Figura A9. Representación gráfica de cada ensayo tirafondo	76
Figura A10. Representación gráfica resumen de ensayos tirafondo	76
Figura B1. Configuración de ensayo a flexión	81
Figura B2. Ensayo a flexión	82
Figura B3. Ensayo a rotura	83
Figura B3. Probetas de densidad	88
Figura C1 Probeta de cizalle a través del adhesivo	91
Figura C2 Probeta de cizalle a estudiar.	92
Figura C3 Marco de carga Instron Tecsis.	93
Figura C4 Ejemplos de probetas.	95
Figura D1. Madera de escuadrías idénticas.	96
Figura D2. Pegado de canto de paneles.	97
Figura D3. Pegado de paneles contralaminados.	97
Figura D4. Formateo de probetas.	98
Figura D5. Diseño de inserción de conectores.	98
Figura D6. Inserción de conectores SFS.	99
Figura D7. Inserción conectores tirafondo.	99
Figura D8. Inserción conectores HBV.	100
Figura D9. Inserción conectores tirafondo y diseño de losa.	100
Figura D7. Proceso de hormigonado	101
Figura E1. Sección real a trabajar.	104
Figura E2. Sección transformada.	104
Figura E3. Espaciamiento y disposición de tirafondos para la losa en flexión.	105

Anexo A

Resultados ensayos.

Ensayos a corte.

Los resultados a los ensayos de corte, figura A1, para la configuración y repeticiones correspondientes de cada ensayo se presentan dividido en tres grupos y dos formatos. En primer lugar los resultados serán evaluados por separado para las tres tipologías de conexión, y a su vez dispuestos en dos formatos distintos, tabulación y gráficas.

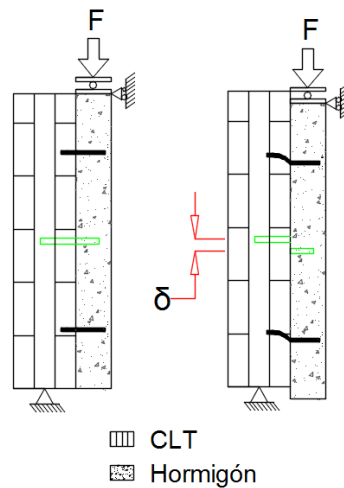


Figura A1. Configuración de ensayo a corte

Los resultados serán evaluados como se presenta a continuación:

Tipologías de conexión y resultados.

Conectores para forjados mixtos colaborantes madera-hormigón SFS VB: La disposición de conectores, se realizó respetando las dimensiones establecidas por el proveedor, como lo muestra la figura A2

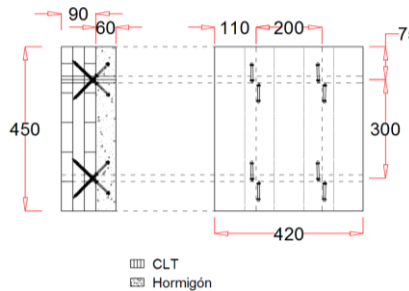


Figura A2. Disposición espacial de conectores SFS.

Tabla A-1 resultados probeta 1 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	73.5
0.51	7.426	0.4*Fest (kN)	29.4
1.395	14.288	$\delta_{i,mod}$ (mm)	2.2
1.975	21.902	δ_{04} (mm)	2.2
2.155	25.098	δ_{i01} (mm)	0.5
2.155	24.44	Kser (kN/mm)	13.4
0.535	1.692		
1.08	7.99		
1.605	14.946		
1.995	22.09		
2.375	28.858		
2.81	36.566		
3.165	43.71		
3.525	49.35		
4.72	59.126		

Tabla A-2 resultados probeta 2 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	73.5
0	0	0.4*Fest (kN)	29.4
0.11	7.802	$\delta_{i,mod}$ (mm)	2.4
0.235	14.288	δ_{04} (mm)	1.9
0.43	21.62	δ_{i01} (mm)	0.1
0.645	26.226	Kser (kN/mm)	12.5
0.405	8.084		
1.765	17.954		
1.795	24.44		
1.88	30.268		
2.06	37.318		
2.22	44.18		
2.49	52.828		
2.635	56.682		
3.055	63.638		
3.455	70.218		

Tabla A-3 resultados probeta 3 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
1.175	1.504	Fest (kN)	73.500
1.225	7.896	0.4*Fest (kN)	29.400
1.28	12.972	$\delta_{i,mod}$ (mm)	0.807
1.39	18.706	δ_{04} (mm)	1.830
1.485	23.97	δ_{i01} (mm)	1.225
1.66	26.79	Kser (kN/mm)	36.446
1.67	9.118		
1.605	15.886		
1.655	22.936		
1.73	28.576		
1.83	34.686		
1.94	40.232		
2.1	46.06		
2.28	50.008		
3.14	55.178		
3.24	60.63		
3.41	66.552		
3.655	72.286		
4.015	78.396		
4.25	81.968		

Tabla A-4 resultados probeta 4 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0	Fest (kN)	73.500
0.235	7.332	0.4*Fest (kN)	29.400
0.795	15.51	$\delta_{i,mod}$ (mm)	1.913
1.33	22.842	δ_{04} (mm)	1.670
1.67	28.482	δ_{i01} (mm)	0.235
1.11	7.99	Kser (kN/mm)	15.366
1.205	14.006		
1.56	23.312		
1.78	29.234		
2.1	34.592		
2.505	42.77		
2.955	51.324		
3.39	57.622		
3.985	63.826		
4.43	72.192		
5.345	77.55		

Tabla A-5 resultados probeta 5 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	73.5
0	0	0.4*Fest (kN)	29.4
0.21	7.05	δ i,mod (mm)	0.84
0.365	14.57	δ 04 (mm)	0.84
0.465	20.586	δ i01 (mm)	0.21
0.84	28.482	Kser (kN/mm)	35
0.935	8.93		
0.98	12.502		
1.04	20.586		
1.14	28.952		
1.25	35.344		
1.47	41.172		
1.76	47.94		
2.01	56.682		
2.215	62.792		
2.455	70.594		
3.23	78.49		

Tabla A-6 resultados probeta 6 SFS:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0.094	Fest (kN)	73.500
0.21	7.05	0.4*Fest (kN)	29.400
0.58	15.04	δ i,mod (mm)	1.620
1.075	21.526	δ 04 (mm)	1.425
1.425	28.012	δ i01 (mm)	0.210
0.965	8.836	Kser (kN/mm)	18.148
1.06	13.536		
1.26	21.526		
1.49	28.294		
1.93	36.942		
2.255	42.112		
2.625	48.598		
3.04	57.058		
3.385	63.356		
3.735	70.406		
5.04	77.926		

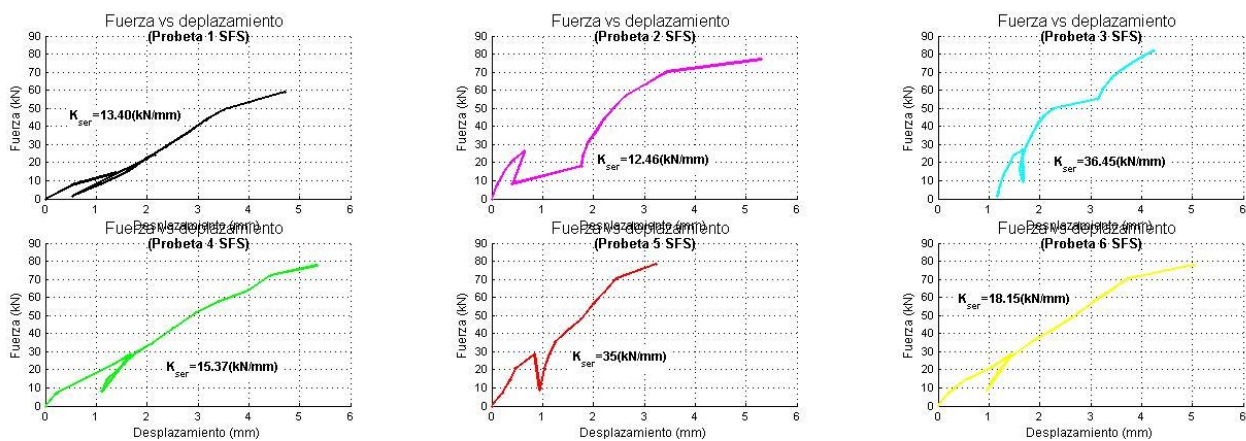


Figura A-3. Representación gráfica de cada ensayo SFS

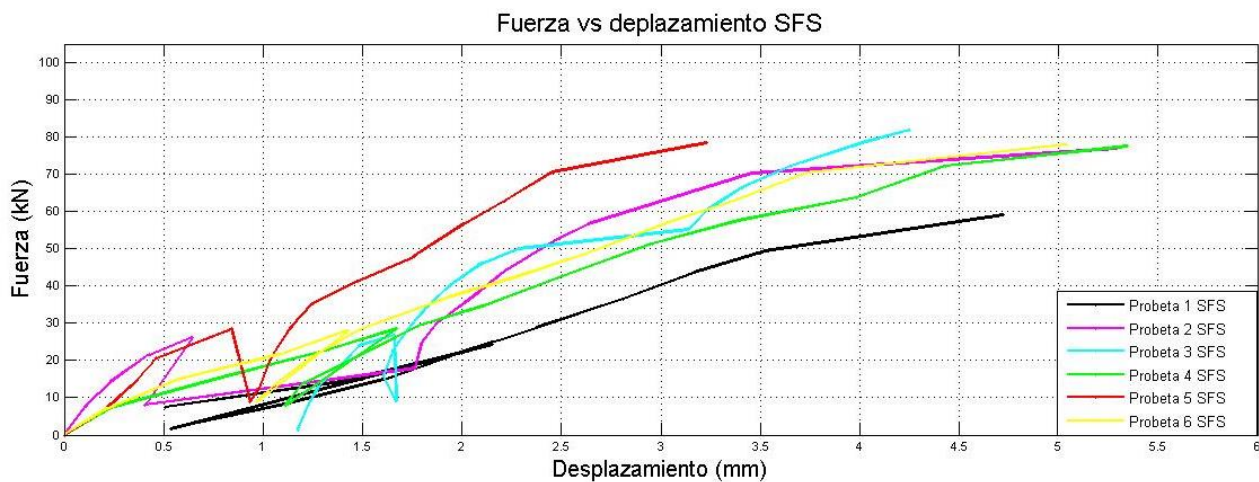


Figura A-4. Representación gráfica resumen de ensayos SFS

HBV (Holz-Beton-Verbund System):

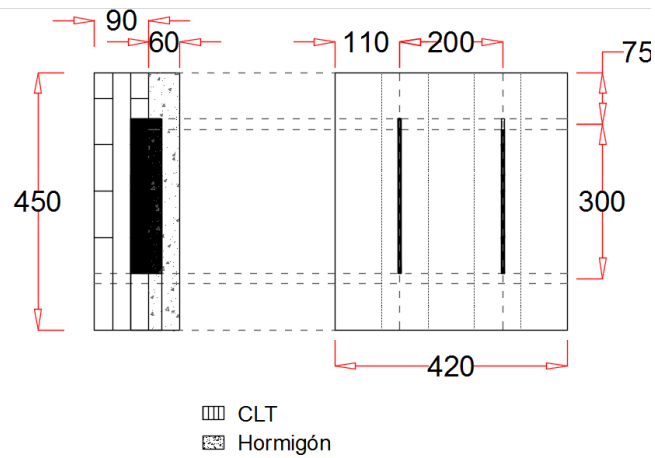


Figura A-5. Disposición espacial de conectores HBV.

Tabla A-7 resultados probeta 1 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0.01	0	Fest (kN)	98.000
0.175	9.306	0.4*Fest (kN)	39.200
0.445	19.458	$\delta_{i,mod}$ (mm)	1.140
0.75	28.106	δ_{04} (mm)	1.030
0.395	9.306	δ_{i01} (mm)	0.175
0.52	18.706	Kser (kN/mm)	34.386
0.725	27.918		
1.03	38.258		
1.305	46.624		
1.56	54.332		
1.9	63.544		
2.22	73.602		
2.62	83.378		
3.02	92.684		
3.73	99.828		

Tabla A-8 resultados probeta 2 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	98.000
0	0	0.4*Fest (kN)	39.200
0.01	10.246	$\delta_{i,mod}$ (mm)	0.187
0.07	19.364	δ_{04} (mm)	0.150
0.15	27.918	δ_{i01} (mm)	0.010
0.54	36.002	Kser (kN/mm)	210.000
0.32	7.52		
0.38	16.074		
0.48	26.32		
0.6	38.164		
0.8	46.06		
1.14	54.896		
1.34	62.98		
1.6	72.004		
1.82	81.028		
2	89.864		
6.2	96.444		

Tabla A-9 resultados probeta 3 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0.094	Fest (kN)	98.000
0.095	9.964	0.4*Fest (kN)	39.200
0.2	18.518	$\delta_{i,mod}$ (mm)	0.273
0.3	28.106	δ_{04} (mm)	0.300
0.39	35.908	δ_{i01} (mm)	0.095
0.235	10.152	Kser (kN/mm)	143.415
0.24	18.988		
0.36	29.328		
0.43	36.19		
0.61	45.778		
0.755	53.956		
1.02	63.356		
1.265	72.098		
1.86	80.746		
2.235	86.95		

Tabla A-10 resultados probeta 4 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0	Fest (kN)	98.000
1.645	8.93	0.4*Fest (kN)	39.200
2.605	18.236	δ i,mod (mm)	2.153
3.26	27.354	δ 04 (mm)	3.260
3.78	36.378	δ i01 (mm)	1.645
3.425	9.494	Kser (kN/mm)	18.204
3.045	13.818		
3.42	24.064		
3.875	36.754		
4.2	45.59		
4.68	54.426		
5.05	61.382		
5.52	70.782		
6.085	80.558		
6.49	84.506		
6.62	92.966		

Tabla A-11 resultados probeta 5 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0	Fest (kN)	98.000
0.335	8.554	0.4*Fest (kN)	39.200
0.9	18.236	δ i,mod (mm)	1.193
1.23	27.918	δ 04 (mm)	1.230
1.46	36.472	δ i01 (mm)	0.335
0.68	9.776	Kser (kN/mm)	32.849
0.865	16.45		
1.16	28.952		
1.295	35.438		
1.475	45.214		
1.815	54.52		
2.595	73.602		
2.695	80.37		
2.925	91.556		
3.07	97.008		

Tabla A-12 resultados probeta 6 HBV:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0.094	Fest (kN)	98.000
0.415	9.118	0.4*Fest (kN)	39.200
0.995	18.048	δ i,mod (mm)	1.633
1.64	27.448	δ 04 (mm)	1.640
2.14	36.19	δ i01 (mm)	0.415
1.385	9.4	Kser (kN/mm)	24.000
1.655	19.834		
1.87	26.978		
2.22	37.036		
2.53	44.556		
2.94	54.144		
3.31	63.544		
3.565	72.662		
3.895	81.592		
4.3	89.018		
4.75	96.444		

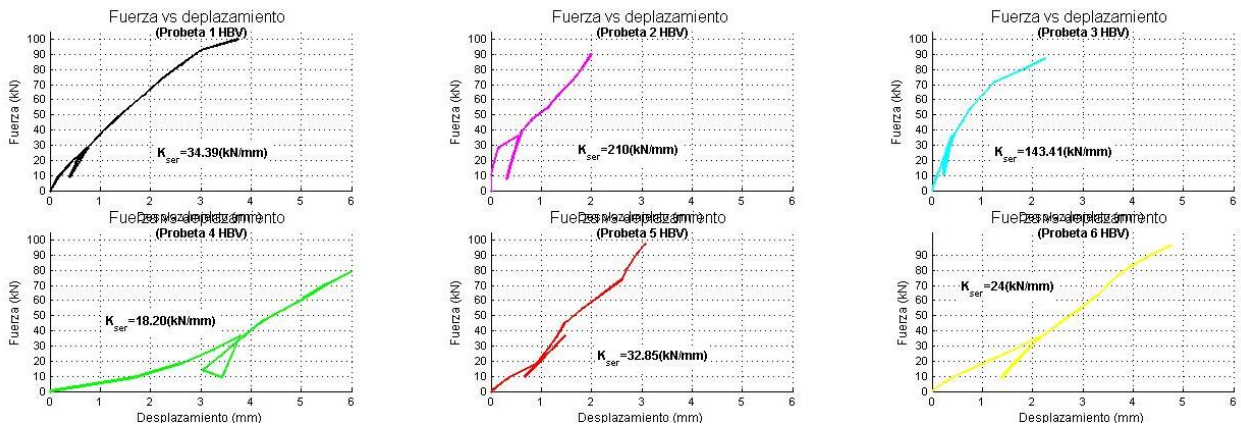


Figura A-6. Representación gráfica de cada ensayo HBV

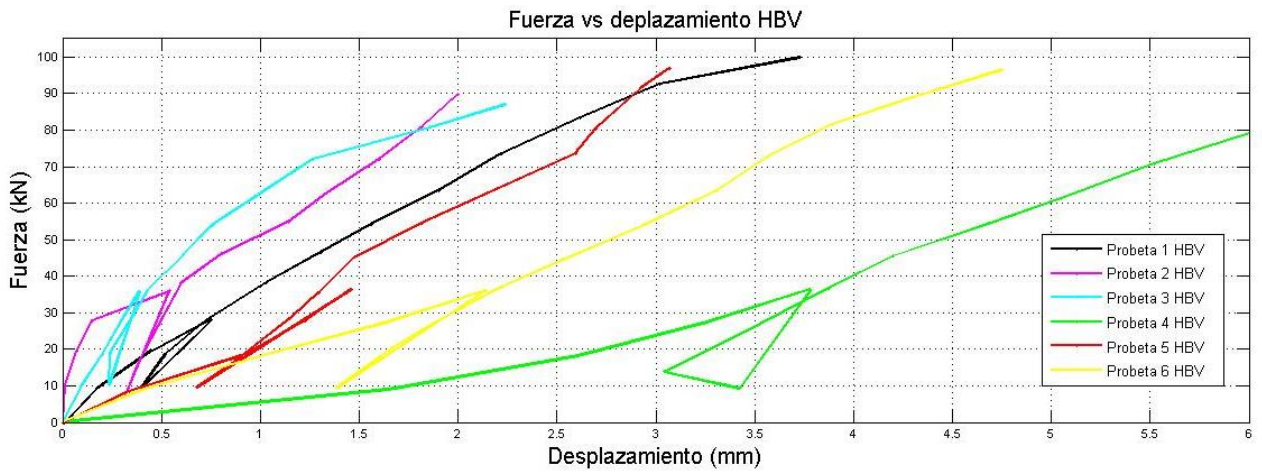


Figura A-7. Representación gráfica resumen de ensayos HBV

Tirafondos:

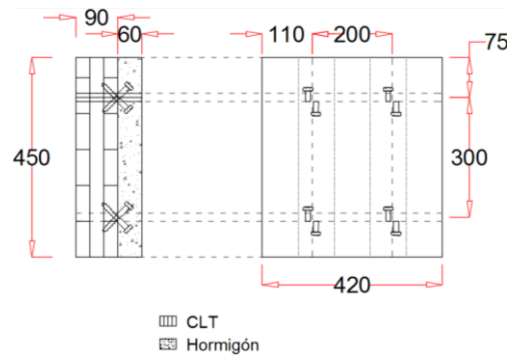


Figura A-8. Disposición espacial de conectores Tirafondo.

Tabla A-13 resultados probeta 1 tirafondos:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	60.000
0.04	0	0.4*Fest (kN)	24.000
0.675	6.862	δ i,mod (mm)	1.313
1.24	14.57	δ 04 (mm)	1.660
1.475	18.048	δ i01 (mm)	0.675
1.775	24.44	Kser (kN/mm)	18.274
1.84	25.004		
0.455	1.598		
0.84	7.426		
1.2	13.63		
1.39	19.552		
1.66	26.414		
1.92	31.866		
2.24	38.634		
2.52	43.428		
3.06	51.982		
3.22	56.024		
3.44	60.066		
4.2	66.74		

Tabla A-14 resultados probeta 2 tirafondos:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0	Fest (kN)	60.000
0.405	7.52	0.4*Fest (kN)	24.000
1.035	13.724	$\delta_{i,mod}$ (mm)	1.780
1.385	19.27	δ_{04} (mm)	1.740
1.74	24.44	δ_{i01} (mm)	0.405
1.89	25.568	Kser (kN/mm)	13.483
1.48	9.212		
1.665	15.698		
1.945	22.56		
2.2	28.764		
2.505	35.156		
2.665	37.036		
3.375	50.384		
3.8	56.212		
5.17	60.63		

Tabla A-15 resultados probeta 3 tirafondo:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0.005	1.128	Fest (kN)	60.000
0.095	7.896	0.4*Fest (kN)	24.000
0.19	12.502	$\delta_{i,mod}$ (mm)	0.607
0.34	19.27	δ_{04} (mm)	0.550
0.55	25.004	δ_{i01} (mm)	0.095
0.335	7.332	Kser (kN/mm)	39.560
0.38	14.664		
0.455	19.27		
0.545	25.004		
0.695	31.208		
0.915	38.164		
1.145	44.556		
1.355	50.854		
1.615	57.152		
2	62.51		
2.36	65.33		
4.615	58.374		
7.79	51.606		

Tabla A-16 resultados probeta 4 tirafondo:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0.01	0.094	Fest (kN)	60.000
0.1	6.392	0.4*Fest (kN)	24.000
0.24	12.408	$\delta_{i,mod}$ (mm)	0.787
0.435	18.424	δ_{04} (mm)	0.690
0.69	24.722	δ_{i01} (mm)	0.100
0.395	6.016	Kser (kN/mm)	30.508
0.445	12.408		
0.625	20.022		
0.715	23.594		
1.02	30.55		
1.315	37.13		
1.62	42.112		
1.925	46.812		
2.34	54.426		
2.685	59.314		
3.42	66.552		

Tabla A-17 resultados probeta 5 tirafondo:

Δ prom (mm)	carga (kN)	Fest (kN)	60.000
0.04	0.094	0.4*Fest (kN)	24.000
0.45	5.64	δ i,mod (mm)	2.613
1.215	11.75	δ 04 (mm)	2.410
1.85	17.954	δ i01 (mm)	0.450
2.41	24.064	Kser (kN/mm)	9.184
1.815	9.024		
1.855	10.998		
2.15	17.108		
2.41	24.158		
2.685	30.832		
2.96	36.096		
3.245	42.3		
3.515	48.222		
3.8	53.298		
4.045	59.126		
4.47	64.296		
4.795	73.132		
5.225	75.012		

Tabla A-18 resultados probeta 6 tirafondo:

Δ prom (mm)	carga (kN)		
0	0	Fest (kN)	60.000
0.155	6.11	0.4*Fest (kN)	24.000
0.45	11.938	δ i,mod (mm)	1.480
0.82	18.142	δ 04 (mm)	1.265
1.265	24.064	δ i01 (mm)	0.155
0.785	6.486	Kser (kN/mm)	16.216
0.94	14.664		
1.1	19.834		
1.275	24.346		
1.51	30.268		
1.8	34.968		
2.115	42.676		
2.4	48.692		
2.72	54.144		
3.185	60.254		
3.415	66.74		
3.77	71.064		

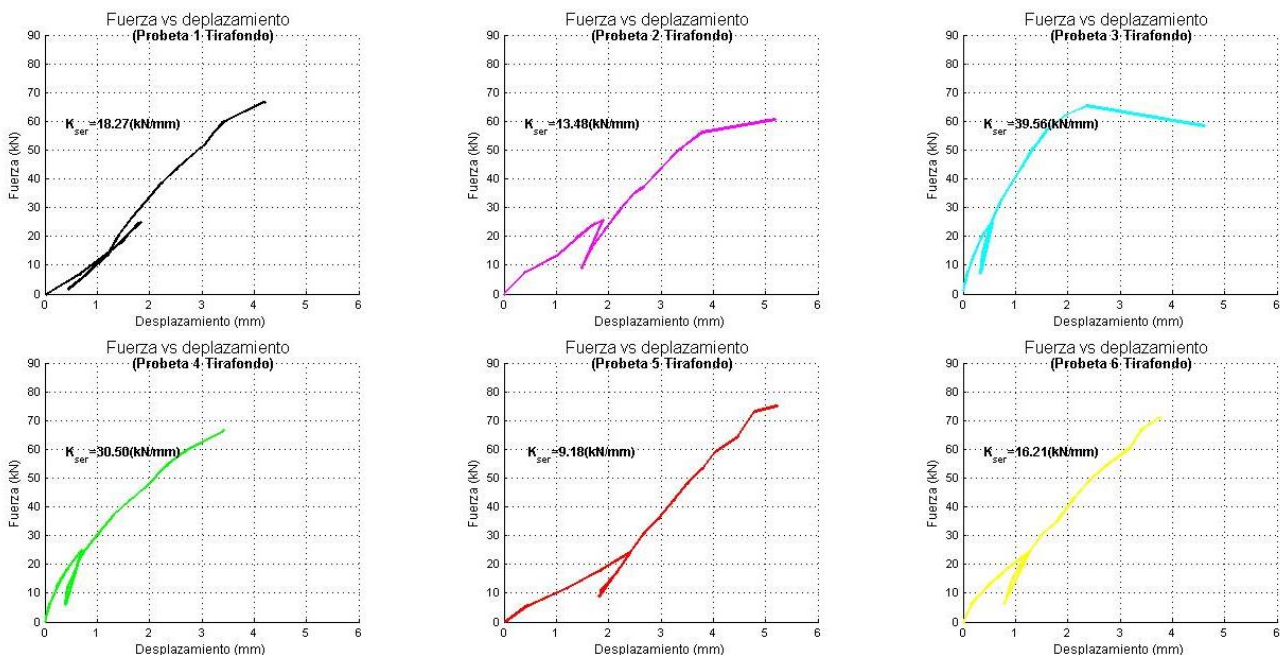


Figura A-9. Representación gráfica de cada ensayo tirafondo

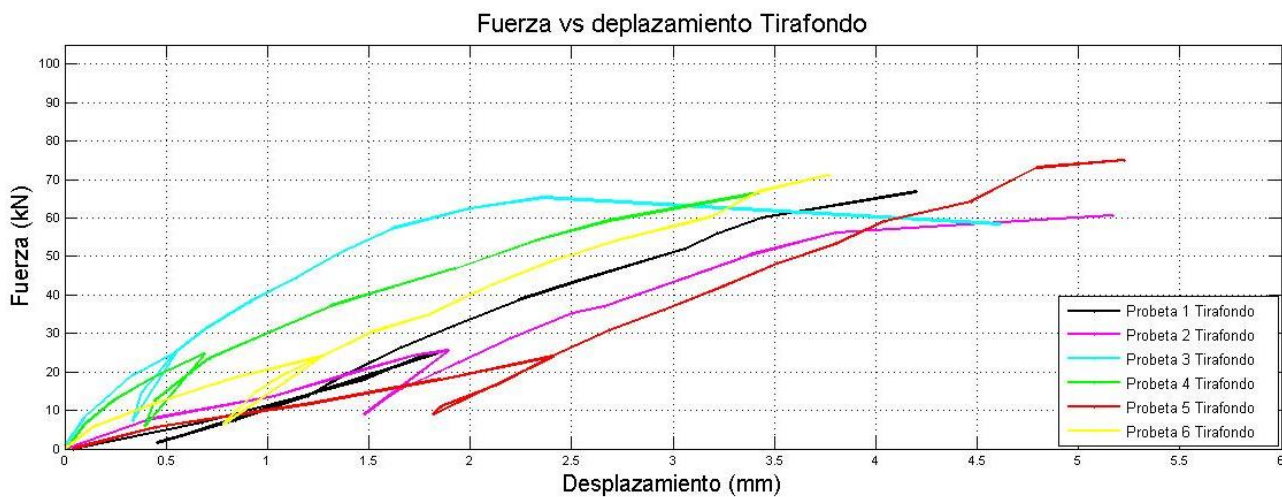


Figura A-10. Representación gráfica resumen de ensayos tirafondo

Ensayo a flexión.

El ensayo a flexión fue realizado en dos etapas, las cuales fueron descritas en el cuerpo del informe. En la que se consideran en primer lugar un ensayo a flexión pura de la losa de CLT de 2950 x 430 x 90 mm, obteniendo el módulo de elasticidad global y aparente de la losa. En segundo lugar se realiza el análisis de datos para el ensayo de la losa mixta 2950 x 430 x 150 mm.

La recopilación y análisis de datos se hizo poniendo énfasis en las capacidades de la losa frente a una deflexión de $L/300$, y el porcentaje de eficiencia, tanto en las deflexiones y desplazamientos relativos.

Tabla A-19. Ensayo a flexión losa de CLT.

Δ_{prom} (mm)	carga (kN)
2.46	1.196
3.30	1.579
4.14	1.961
5.16	2.447
6.18	2.932
7.08	2.962
7.98	2.991
8.20	3.481
8.41	3.972
9.24	4.374
10.06	4.776

Para la obtención del módulo de elasticidad global de la losa de CLT se siguió el procedimiento propuesto por la norma EN408

$$E_{m,g} = \frac{\ell^3 (F_2 - F_1)}{bh^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4\ell} \right) - \left(\frac{a}{\ell} \right)^3 \right]$$

Emg 7.021467 (KN/mm2)

Ensayo a flexión losa híbrida.

El ensayo a flexión de la losa híbrida se realizó respetando el mismo procedimiento que en el caso del CLT con la diferencia que se obtuvieron además de la deflexión de la losa, el desplazamiento relativo en el interfaz de la madera hormigón. Tabla A 20

Tabla A-20. Ensayo a flexión losa híbrida.

Carga (kN)	Δprom (mm)	Δrelativo (mm)
0.00	0	0
0.95	0.34	0
1.69	0.65	0.04
2.07	0.81	0.04
2.51	1.01	0.05
3.05	1.25	0.07
3.44	1.44	0.09
3.97	1.69	0.11
4.55	1.94	0.13
4.81	2.11	0.13
5.04	2.24	0.15
5.57	2.5	0.15
5.99	2.7	0.17
6.45	2.93	0.19
7.00	3.19	0.21
7.54	3.46	0.23

7.94	3.67	0.25
8.46	3.94	0.27
9.01	4.19	0.29
9.43	4.41	0.29
9.81	4.65	0.31
10.39	4.9	0.33
10.92	5.16	0.35
11.42	5.42	0.37
11.85	5.64	0.39
12.36	5.9	0.41
12.82	6.13	0.43
13.35	6.41	0.45
13.97	6.71	0.47
14.31	6.91	0.48
14.80	7.151	0.51
15.33	7.42	0.52
15.85	7.68	0.55
16.31	7.93	0.57
16.81	8.19	0.56
17.30	8.47	0.58
17.81	8.73	0.6
18.29	9	0.63
18.79	9.29	0.65
19.22	9.49	0.65
19.74	9.77	0.67
20.21	10.02	0.69
21.10	10.48	0.73
21.98	10.9	0.75
23.57	11.71	0.81

24.69	12.34	0.85
25.82	12.98	0.89
26.39	13.41	0.93
28.51	14.49	0.99
29.07	14.96	1.01
30.04	15.55	1.05
30.90	15.96	1.09
31.99	16.69	1.13
32.82	17.28	1.17
34.85	18.42	1.22
35.38	18.97	1.27
36.99	19.9	1.33
37.29	20.38	1.35
39.24	21.49	1.43
41.81	23.37	1.52
43.57	24.66	1.61
45.54	26.4	1.71

Anexo B

Clasificación mecánica de la madera:

Ya que la madera posee una alta variabilidad en sus propiedades mecánicas, la madera de pino radiata utilizada en este estudio tuvo que ser clasificada mecánicamente. Por lo que para definir la clase estructural de la madera se utilizó la norma EN 338, 2010 en la cual se define la clase estructural según su resistencia a la flexión y densidad.

Para asignar una clase estructural a esta población los valores característicos de resistencia a la flexión y densidad son mayores o iguales a los valores establecidos en la norma, para la clase estructural asignada. Es por esto que se asigna una clase estructural C14, por lo que el módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra debe ser de $E_{0,medio} 7$ (KN/mm²) y con una densidad característica media ρ medio de 360,52 kg/m³.

El módulo de elasticidad fue obtenido según el ensayo a flexión especificado en la norma EN 408, 2012 (Figura B1) A una muestra de 40 piezas como mínimo requeridos como muestra representativa según EN 384, 2004. Ensayadas al 40% de su fuerza máxima. Figura B2

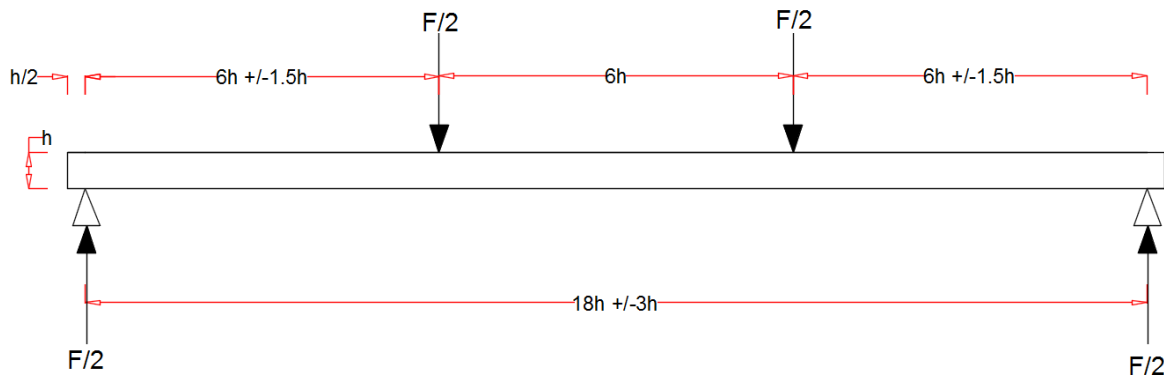


Figura B1. Configuración de ensayo a flexión, fuente: EN 408, 2012.



Figura B2. Ensayo a flexión

Procedimiento de clasificación mecánica:

Para determinar el módulo de elasticidad de un universo de 154 piezas de 35x90x3000 mm se tomó un mínimo de 40 piezas de población definida en la norma. En primer lugar se deben extraer 10 piezas aleatoriamente las cuales se ensayaron con la misma metodología a rotura (figura B3), para lograr establecer la fuerza máxima. Las piezas poseen una densidad en la rotura ilustrada en la tabla B1.



Figura B3. Ensayo a rotura

Tabla B1: Densidad piezas ensayadas.

Pieza N°	m(gr)	V(mm ³)	ρ (kg/m ³)
1.00	2.92	9194.82	317.57
2.00	3.65	9135.93	399.52
3.00	3.20	8573.15	373.26
4.00	2.65	8614.18	307.63
5.00	3.15	8694.51	362.30
6.00	2.89	7068.54	408.85
7.00	2.74	8348.14	328.22
8.00	3.10	9481.08	326.97
9.00	3.31	9305.10	355.72
10.00	3.01	9196.36	327.30

Una vez establecida la carga máxima (Tabla B2) se realiza el ensayo de las 40 piezas de madera sometidas a una carga constante de 0.003 h mm/s hasta lograr el 40 % de la fuerza máxima obtenida con anterioridad con el fin de asegurar el trabajo de la pieza en el rango elástico. (Tabla B3). Para la medición de las fuerzas y desplazamientos se instalaron una celda de carga y transductores de desplazamiento recopilados por un data logger. Se utilizaron dos transductores de desplazamiento midiendo en el eje neutro los desplazamientos relativos en el ensayo, uno en cada lado de la pieza.

Para la obtención del módulo de elasticidad con la información recopilada se utiliza la sección de las gráficas fuerzas v/s desplazamiento comprendidas entre 0.1 F máx. y 0.4 F máx. Los ensayos se realizaron con una luz real de 630 mm y con la fuerza aplicada en el tercio central de esta luz.

Tabla B2: Resultados ensayo a rotura

Probeta	Pmax (KN)
1	7.03
2	8.48
3	4.68
4	3.9
5	7.31
6	10.7
7	6.84
8	8.01
9	9.59
10	7.31

Tabla B3: Valores dentro del rango elástico.

Fmax	7.171
40%	2.8684
10%	0.7171

Tal como se presenta en la norma y garantizado el trabajo en el estado elástico de la madera se trabaja con la siguiente ecuación, que fue utilizada para definir el valor de rigidez global respectiva.

$$E_{m,g} = \frac{(3al^2 - 4a^3)}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} \frac{6a}{5Gbh} \right)}$$

Donde:

F2-F1 es el incremento de carga sobre la línea de regresión en Newton, con coeficiente de correlación 0,99 o mejor; y

W2 – W1 es el incremento de deformación correspondiente a F2-F1 en milímetros;

G es el módulo de elasticidad transversal, este módulo debe tomarse como infinito cuando se utilice la formula según la norma EN384 para la determinación de la clase resistente.

Para lo que se obtuvieron los siguientes resultados de las probetas ensayadas. (Tabla B4).

Tabla B4: Resultados probetas ensayadas.

N° pieza	F2 (KN)	F1(KN)	W2 (mm)	w1 (mm)	Em (KN/mm2)
1.00	3.41	0.83	6.47	1.37	6.99
2.00	3.38	0.80	5.81	1.17	7.67
3.00	2.36	0.88	7.55	2.95	4.45
4.00	3.18	0.90	7.93	1.57	4.95
5.00	2.99	0.83	8.08	1.56	4.58
6.00	3.30	0.83	7.45	1.55	5.76
7.00	3.38	0.85	8.84	1.89	5.03
8.00	3.30	0.88	6.47	1.49	6.70
9.00	3.23	0.81	5.21	0.97	7.87
10.00	3.28	0.81	4.53	0.72	8.93
11.00	3.33	0.98	6.86	1.59	6.15
12.00	3.28	0.98	3.78	0.78	10.60
13.00	3.30	0.73	5.66	0.81	7.31
14.00	3.21	0.78	2.88	0.43	13.66
15.00	3.23	0.89	4.32	0.96	9.60
16.00	3.33	0.86	7.11	1.30	5.85
17.00	2.28	0.83	8.82	2.34	3.09
18.00	1.78	0.80	1.49	0.48	13.37

19.00	3.24	0.86	6.30	1.36	6.66
20.00	3.41	0.83	5.22	0.95	8.36
21.00	3.33	0.78	3.53	0.57	11.91
22.00	2.72	0.83	4.83	1.18	7.12
23.00	3.33	0.93	4.21	0.97	10.24
24.00	3.39	0.83	7.65	1.29	5.57
25.00	3.33	0.81	6.99	1.46	6.28
26.00	2.47	0.85	6.44	1.75	4.76
27.00	3.30	0.72	5.32	0.87	8.01
28.00	3.38	0.66	4.95	0.69	8.80
29.00	3.28	0.82	5.48	1.10	7.77
30.00	3.23	0.85	6.43	1.34	6.46
31.00	3.32	0.93	3.73	0.72	10.95
32.00	3.39	0.82	4.13	0.71	10.36
33.00	3.20	0.80	4.74	0.97	8.77
34.00	3.37	0.85	8.26	1.81	5.39
35.00	3.33	0.82	8.19	1.40	5.12
36.00	3.37	0.82	6.33	1.37	7.09
37.00	2.75	0.78	9.59	1.66	3.42
38.00	3.35	0.78	8.31	1.65	5.32
39.00	3.33	0.85	3.81	0.72	11.08
40.00	3.23	0.75	4.85	0.78	8.42

Media	
Em (KN/mm2)	7.51

Densidad básica.

La propiedad de densidad básica fue determinada para cada una de las piezas utilizadas, Figura B4, para ello se realizaron las mediciones mediante la norma NCh176-1.

Densidad Básica= Peso Anhidro/Volumen Verde (Kg/m³).



Figura B3. Probetas de densidad-

Según tabla B5 los resultados obtenidos para las 40 piezas corresponden a una densidad promedio de 360.52 kg/m³. Se realizaron 3 mediciones de las aristas para obtener el volumen verde. Para obtener el peso anhidro se secaron las probetas durante 24 horas a 113°C.

Tabla B5: Valores dentro del rango elástico.

Probeta N°	A_m (mm)	E_m (mm)	L_m (mm)	V (mm ³)	m (gr)	ρ (kg/m ³)
1.00	21.17	21.83	22.00	10167.06	3.65	359.00
2.00	21.70	21.87	20.00	9490.13	3.39	357.21
3.00	22.23	20.63	21.50	9863.08	2.90	294.03
4.00	22.13	20.00	21.67	9591.11	3.21	334.68
5.00	21.53	20.90	22.10	9946.03	4.10	412.22
6.00	20.73	21.93	21.67	9852.94	3.61	366.39
7.00	20.90	21.97	21.03	9656.47	3.53	365.56
8.00	21.50	20.63	21.10	9360.31	3.94	420.93
9.00	21.97	20.87	21.97	10068.89	3.81	378.39
10.00	21.40	20.10	21.50	9248.01	3.21	347.10
11.00	20.97	21.53	21.07	9511.23	3.52	370.09
12.00	20.60	22.70	22.00	10287.64	3.51	341.19
13.00	21.83	20.07	19.93	8733.24	2.98	341.23
14.00	21.93	20.80	21.87	9975.86	3.67	367.89
15.00	21.00	21.57	21.20	9601.48	2.96	308.29
16.00	21.15	21.57	19.60	8940.25	3.52	393.73
17.00	21.67	20.50	20.60	9149.83	2.99	326.78
18.00	20.90	21.67	20.87	9449.12	3.41	360.88
19.00	21.00	20.57	21.53	9300.25	3.25	349.45
20.00	21.00	21.90	21.83	10041.15	4.33	431.23
21.00	26.33	27.00	100.50	71455.50	31.69	443.49
22.00	26.77	27.50	100.03	73632.87	28.73	390.18
23.00	26.17	27.00	100.00	70650.00	20.83	294.83
24.00	26.77	27.00	100.33	72510.90	27.19	374.98
25.00	26.70	27.00	100.67	72570.60	27.32	376.46
26.00	27.00	26.50	100.00	71550.00	26.45	369.67
27.00	27.00	26.70	100.50	72450.45	22.42	309.45

28.00	26.33	27.00	100.37	71360.70	33.93	475.47
29.00	26.83	27.00	99.17	71846.25	20.89	290.76
30.00	26.83	27.27	100.33	73409.44	26.56	361.81
31.00	21.10	20.30	21.47	9194.82	2.92	317.57
32.00	21.07	20.23	21.43	9135.93	3.65	399.52
33.00	20.43	20.50	20.47	8573.15	3.20	373.26
34.00	19.53	21.03	20.97	8614.18	2.65	307.63
35.00	20.13	21.10	20.47	8694.51	3.15	362.30
36.00	16.90	20.17	20.74	7068.54	2.89	408.85
37.00	20.23	19.90	20.73	8348.14	2.74	328.22
38.00	20.93	21.03	21.53	9481.08	3.10	326.97
39.00	21.00	21.00	21.10	9305.10	3.31	355.72
40.00	20.43	20.93	21.50	9196.36	3.01	327.30

Anexo C

Validación Pegamento “SikaForce®-7710 L100 Adhesivo de uso general para paneles sándwich”

Ensayo de cizalle:

Este ensayo determina la resistencia al cizalle en la línea de encolado y el porcentaje de falla de madera en el área cizallada.

El método se basa en someter a cizalle el plano, como se muestra en la figura C1, de encolado con una carga de dirección paralela a las fibras de la madera que se incrementa gradualmente, hasta llegar al punto de falla de la probeta.

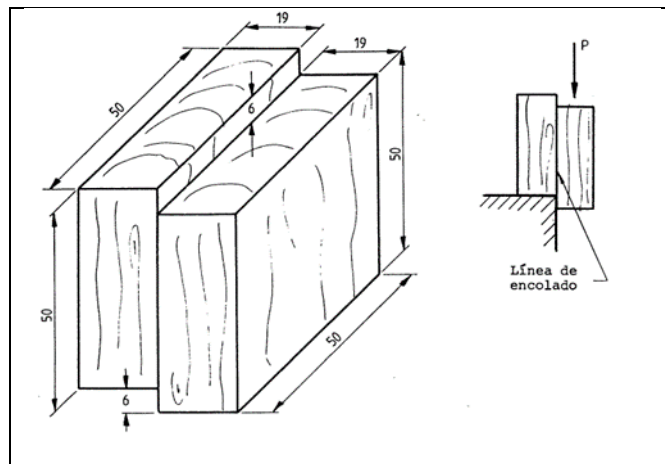


Figura C1 Probeta de cizalle a través del adhesivo, fuente: NCh 2148. Of 1989

Al existir una buena fabricación, ésta se verá reflejada en los resultados de ensayos realizados en probetas. Así se visualizará el futuro comportamiento del elemento cuando él esté en servicio.

Las probetas a ensayar deberán estar libres de defectos, tales como nudos o grietas. Además de tener en consideración la extracción de un mínimo de 6 probetas para respetar el mínimo establecido en la norma, es por esto que se extrajeron un total de 10 probetas para la realización del ensayo. Figura C2.

Probetas:

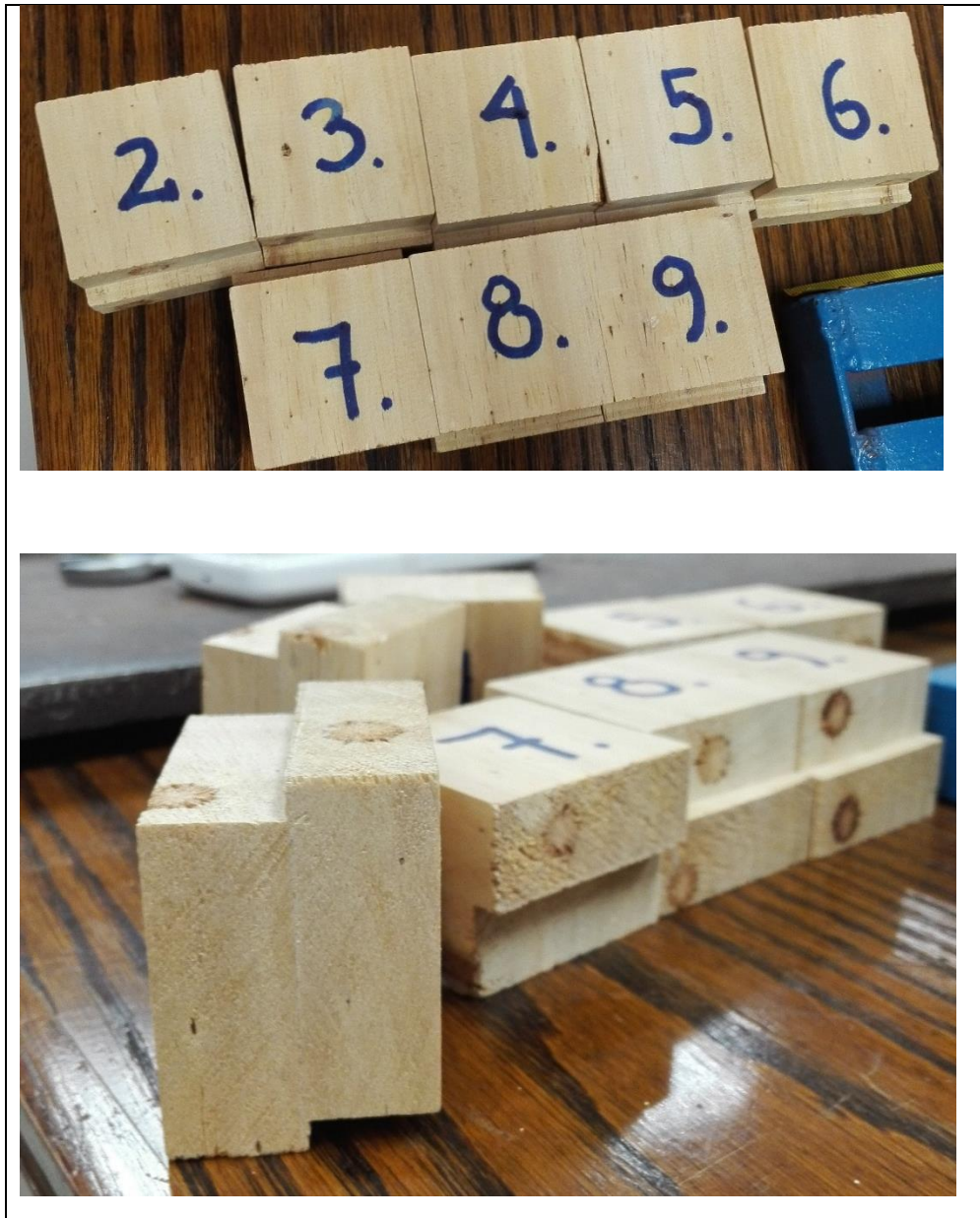


Figura C2 Probeta de cizalle a estudiar.

La máquina de ensayo debe ser capaz de medir las cargas de rotura con una precisión de ± 5 N y aplicarlas con una velocidad de carga de 0.6 mm/min $\pm 25\%$. Para dicho procedimiento se utilizó el marco de carga “Instron Tectis” del centro de biomateriales y nanotecnología (CBN), Figura C3 con la ayuda de un dispositivo que confina y asegura el cizalle puro de la unión.



Figura C3 Marco de carga Instron Tectis.

Las condiciones de pegado y curado reales de las que fueron extraídas las probetas fueron respetando todos los requerimientos del proveedor, tabla 1, tales como el tiempo de abertura, tiempo y tipo de presión, razón de mezcla. Son las siguientes:

Tabla C1. Condiciones de trabajo.

tiempo abierto	15	min
tiempo de cerrado	3	min
tiempo de prensado	3	Hrs
presión	1	MPa
tiempo curado	7	días
Relación de mezcla	100:19	En peso

El promedio de los valores de resistencia al cizalle de las probetas ensayadas para evaluar la calidad de un nuevo adhesivo debe ser mayor o igual que 6,7MPa, además de que el promedio de los porcentajes de falla de madera en el área cizallada, calculada con todas las probetas ensayadas debe ser igual o mayor al 70% para todo tipo de uso.

Resultados:

Para la obtención de las tensiones de corte fueron medidas las áreas encoladas rigurosamente, tomando 4 mediciones, con el fin de minimizar el error. Tabla C2

Tabla C2. Dimensiones de área encolada.

	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	50.35	50.37	43.97	43.91
2	50.35	50.32	44.68	43.96
3	50.33	50.29	44.28	44.21
4	50.29	50.43	44.4	44.63
5	50.33	50.32	44.48	43.96
6	50.23	50.18	43.19	43.69
7	50.34	50.37	44.03	44.22
8	50.32	50.31	44.09	43.77
9	50.39	50.19	44.18	44.01
10	50.33	50.25	44.2	44.4

Como se evidencia en los resultados de la tabla C3 los requisitos de la norma NCh 2148 of 1989 son superiores tanto la resistencia al cizalle (11.18MPa >6.7MPa) como el porcentaje de falla en la madera cizallada supera ampliamente el 70%.Figura C4.

Tabla C3. Resistencia al cizalle.

n°	A (mm ²)	Q (KN)	T (MPa)	Falla (%)
1	2212.82	24.76	11.19	100
2	2230.85	25.52	11.44	100
3	2225.97	27.11	12.18	100
4	2241.78	26.7	11.91	90
5	2225.37	23.33	10.48	80
6	2180.91	28.27	12.96	100
7	2221.91	23.6	10.62	90
8	2210.34	28.67	12.97	100
9	2217.54	13.34	6.02	100
10	2227.85	26.86	12.06	75
Promedio		24.816	11.18	93.5



Figura C4 Ejemplos de probetas.

Anexo D

Anexo de fabricación

La fabricación de las probetas tanto para ensayos a corte directo como el ensayo a escala real fueron realizados en las dependencias de la Universidad del Bío-Bío campus Concepción, la fabricación de las probetas de CLT fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio de diseño y tecnología de la madera (LADITEMA). A su vez la fabricación, colocación y fraguado del Hormigón fue realizado en laboratorio de ingeniería civil, al igual que la inserción de los conectores.

Secuencia de fabricación:

Acondicionamiento de la madera:

Toda la madera tuvo que ser calibrada a escuadrías idénticas, de 35x90mm FiguraD1, las que posterior a esto fueron pegadas de canto cada 5 piezas, formando paneles de 35x450mm figura D2



Figura D1. Madera de escuadrías idénticas.

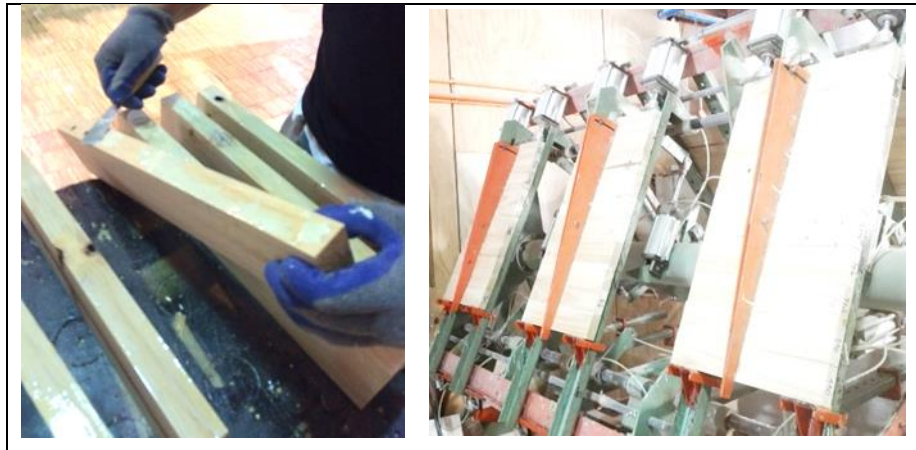


Figura D2. Pegado de canto de paneles.

Una vez que todos los paneles estén pegados se vuelven a acondicionar, para crear una superficie idónea para pegar los paneles contralaminados en el marco de carga.

Cuando se tengan todos los paneles ya reacondicionados se procede a la clasificación de cepa central y revisión de cualquier imperfección que requiera algún tipo de revisión. Ya revisadas todas las variables se realiza el pegado de la madera contralaminada con la ayuda del adhesivo SikaForce® -7710 L100, creando una película completamente homogénea y se disponen las fibras ortogonalmente con una presión constante por el tiempo requerido por el adhesivo. Figura D3



Figura D3. Pegado de paneles contralaminados.

Una vez realizado el pegado de paneles se procede a formatear los paneles en las dimensiones preestablecidas para la ejecución de ensayos. Para finalmente obtener las probetas de 90x420x450mm como lo muestra la figura D4



Figura D4. Formateo de probetas.

Una vez realizadas las probetas y formateadas, fueron acondicionadas en una cámara higro-térmica (CITEC) en la cual se mantuvo temperatura y humedad constante respetando las condiciones establecidas en NCh 3079 of 2007, según ISO 554. Posterior al acondicionamiento, todas las probetas fueron envueltas con stretch film para evitar el contacto de la humedad con las probetas de CLT.

La inserción de los conectores de corte fue respetando los diseños preestablecidos por los proveedores, y en el caso del tirafondo el diseño de elaboración propia. Figura D5



Figura D5. Diseño de inserción de conectores.

La inserción de los conectores SFS VB fue realizada con la ayuda de un taladro y plantilla para garantizar la inserción en 45°, tal como se muestra en la figura D6.



Figura D6. Inserción de conectores SFS.

El mismo procedimiento fue realizado con los conectores más sencillos de tipo tirafondo, con la salvedad que fueron realizados con inserción manual. Figura D7



Figura D7. Inserción conectores tirafondo.

Para la inserción, y pegado de la conexión HBV es necesario crear una ranura, en la cual soporta se inserta la placa metálica de 2 mm posterior a la inserción del pegamento. Figura D8, una vez inserto el pegamento se procede a nivelar las conexiones, y dejar el fraguado del pegamento.



Figura D 8. Inserción conectores HBV.

En el caso de la inserción de conectores realizado en la losa a escala real se procedió de igual forma que las probetas, garantizando los 45° en los tirafondos y respetando el diseño pre-establecido en este estudio. Figura D19.

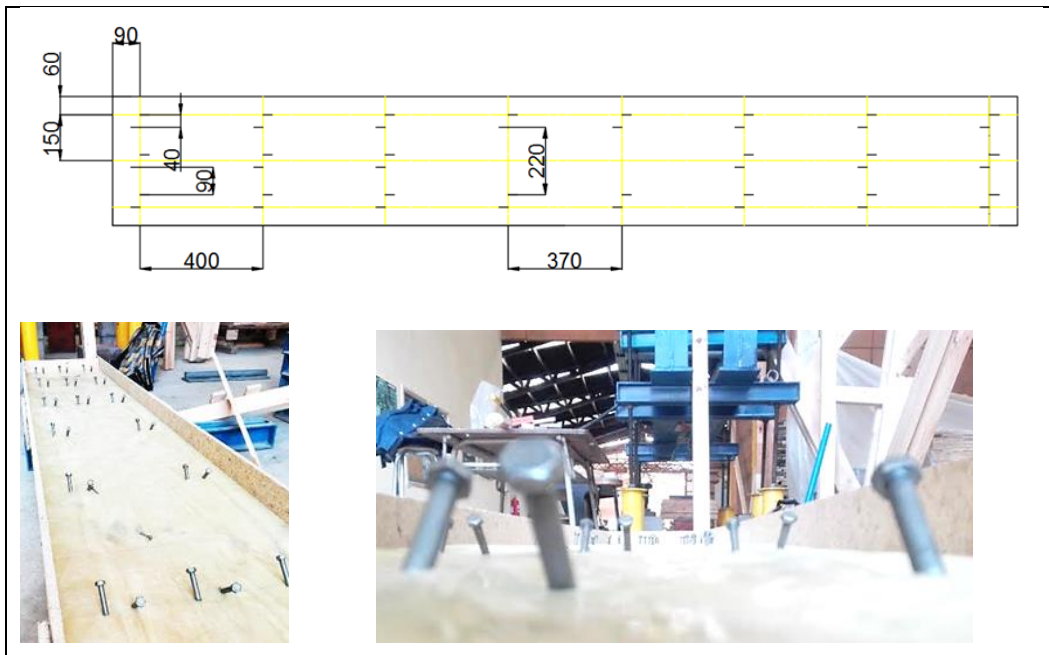


Figura D9. Inserción conectores tirafondo y diseño de losa.

El hormigonado y creación de las secciones mixtas se realizó en las instalaciones del laboratorio de ingeniería civil en la Universidad del Bío-Bío campus Concepción. Respetando las dosificaciones establecidas en este estudio. La mezcla fue realizada respetando las mismas condiciones en todas las probetas, para no tener problemas en los ensayos. El vibrado del hormigón

fue realizado con la ayuda de una mesa vibratoria, en caso de las probetas más pequeñas y con una sonda de vibración para la losa a escala. Figura D11



Figura D7. Proceso de hormigonado.

Durante el proceso de hormigonado se confeccionaron probetas cúbicas de 150 mm de arista para ser ensayadas a la compresión para verificar la puesta en servicio del hormigón, Tabla D1, y realizar los ensayos preestablecidos. El valor obtenido en los ensayos a compresión debe ser multiplicado por un factor de 0,95 de acuerdo a lo indicado por la norma NCh170.Of85, para obtener la resistencia equivalente de una probeta cúbica de 200 mm de arista. Tabla D2.

Tabla D1: Dimensiones y peso probetas cubicas 150mm.

Probeta N°	b(cm)		h (cm)		L (cm)		Peso (kgf)	Densidad (kgf/m3)
	1	2	1	2	1	2		
1	15.15	15	14.9	14.85	14.95	14.98	8.3	2473
2	14.87	15	14.95	14.85	15	15	8.212	2460
3	14.9	15.2	15	14.8	14.9	15	8.313	2480
4	15	15.1	14.95	14.9	15	15	8.257	2451

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D2: Resistencia equivalente de una probeta cúbica de 200 mm.

Probeta N°	Carga kN	Resistencia a compresión	Resistencia a compresión
		MPa (probeta 15cm)	MPa (probeta 20cm)
1	566.5	25.2	24.18
2	495.2	22	20.9
3	612.3	27.2	25.84
4	575.6	25.6	24.3

Anexo E

Diseño de conectores requeridos en losa híbrida:

Para el diseño de la conexión, se trabajara con la fórmula del esfuerzo cortante Propuesto en Mecánica de materiales- 8va edición en la cual si las superficies superior e inferior de cada material son lisas y no están unidas entre sí, entonces la aplicación de una carga P hará que cada material se deslice con respecto a las otras cuando la sección se somete a flexión. Sin embargo, si se encuentran unidos entre sí, entonces los esfuerzos cortantes longitudinales que actúan entre estos impedirán su deslizamiento relativo, y por lo tanto la sección actuará como una sola unidad.

$$\tau = \frac{VQ}{I_t t}$$

τ : el esfuerzo cortante en el elemento, en el punto situado a una distancia y' desde el eje neutro.

Figura E-1

V: la fuerza cortante resultante interna, determinada con base en el método de las secciones y las ecuaciones de equilibrio.

Q: $\bar{y}'A'$, donde A' es la parte superior (o inferior) del área de la sección transversal del elemento, por encima (o debajo) del plano de sección donde se mide t, y \bar{y}' es la distancia desde el eje neutro hasta el centroide de A'

I_t : la inercia de la sección transformada. Figura E-2

t: la anchura del área de la sección transversal del elemento, medida en el punto donde se determinará τ

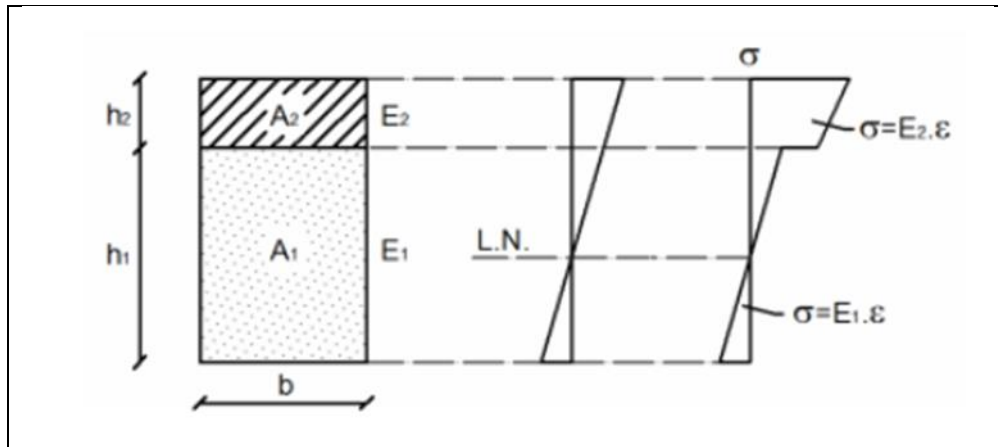


Figura E-1. Sección real a trabajar.

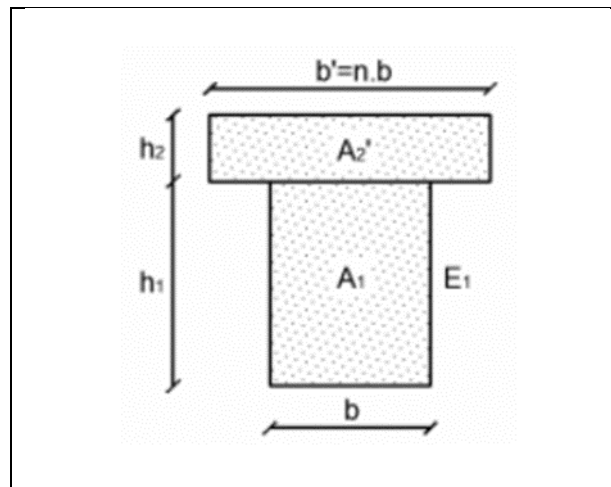


Figura E-2. Sección transformada.

se calculará el momento de inercia de la sección transformada para expresar la rigidez en flexión en función del módulo elástico de uno de los materiales, en este caso el CLT.

$$n = \frac{E_h}{E_{CLT}} = \frac{23500\text{MPa}}{7021\text{MPa}} = 3.347$$

Donde:

E_h = Módulo de elasticidad del hormigón, correspondiente H-20, según ACI-318.

E_{clt} = Módulo de elasticidad del CLT, calculado en forma práctica, según EN 408.

Ya que se trabajará con una sección transformada es necesario el cálculo de la inercia de la sección transformada, la cual queda expresada como:

$$I_t = I_{clt} + A_{clt} * (\bar{Y}_{cg} - \bar{Y}_{clt})^2 + n * I_h + n * A_h * (\bar{Y}_{cg} - \bar{Y}_h)^2$$

Donde:

\bar{Y}_{cg} : Centro de gravedad de la sección mixta

\bar{Y}_{clt} : Centro de gravedad de la sección de CLT

\bar{Y}_h : Centro de gravedad de la sección de hormigón

A_h : Área de la sección de hormigón

A_{clt} : Área de la sección de CLT

I_h : Momento de inercia de la sección de hormigón respecto a su centro de gravedad

I_{clt} : Momento de inercia de la sección de CLT respecto a su centro de gravedad

Se obtiene:

$$I_t = 19765 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto el esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{max} = 37.7 \frac{kN}{m^2}$$

En donde el corte por cada metro lineal es:

$$\tau = 16.965 \frac{kN}{m}$$

Es por esto que se propone un diseño conservador de la losa como se muestra en la figura E-3

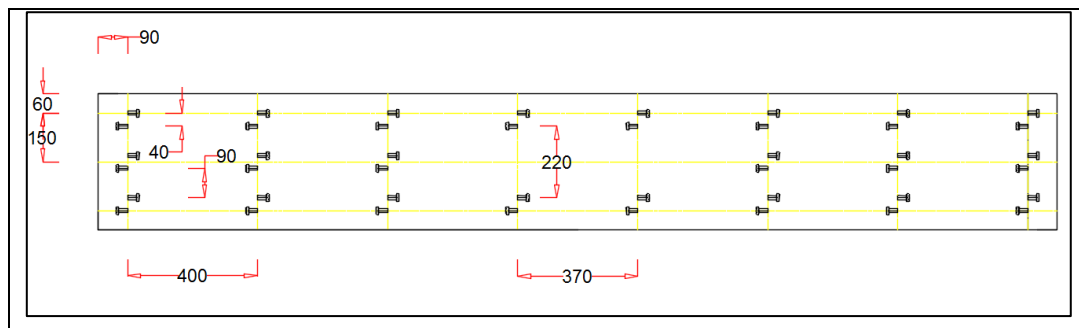


Figura E-3. Espaciamiento y disposición de tirafondos para la losa en flexión. (Vista en planta)