



DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE FRAGMENTO- PROTOTIPO DE CICLOVÍA ELEVADA EN MADERA

DEVELOPMENT, CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF A PROTOTYPE FRAGMENT OF AN ELEVATED CYCLE PATH IN WOOD

Manuel Suazo U. ^{1*}, Víctor Rosales G. ², Franco Benedetti L. ³ Alan Jara C ³.

¹ Arquitecto. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI. UBB. Concepción, Chile.

² Ingeniero Civil en Ind. Forestales. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI. UBB. Concepción, Chile.

³ Ingeniero Civil. Depto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería. UBB. Concepción, Chile.

* Manuel Suazo U.: msuazo@ubiobio.cl

CÓDIGO: 4605989

Resumen

Apuntalado por las ventajas técnicas como su facilidad de manipulación, su prefabricabilidad y su bajo peso entre otras, la propuesta aborda el capítulo de la construcción en madera relacionado con las infraestructuras, proponiendo una idea replicable en diversos contextos: parques naturales, bordes costeros, nudos viales con problemas de conectividad, etc. Se trata de un fragmento-prototipo a escala real de una ciclo vía elevada en Madera, en el marco de una idea general de sistema de circulación de transporte sustentable tipo ciclos (bicicletas, patines, etc.) aplicable al campus Concepción de la Universidad del Bío-Bío en Chile. La estructura parte de piezas estructurales simples de pino insigne en escuadrías comerciales, formando pórticos en base a elementos compuestos, unidos con tornillos estructurales madera-madera, dispuestos al “tresbolillo” alternadamente. Las uniones se resuelven mediante pletinas de acero de 8 y 6 mm de espesor y pernos de acero de 10 y 12 mm de diámetro en corte simple y doble. La carpeta superior tipo diafragma, consta de placas contralaminados de 3 capas de eucaliptus nitens termo tratado de 56 mm de espesor dispuestas alternadamente. Sobre las placas se dispone de una membrana hidrorrepelente y una terminación en base a entablado de piezas cepilladas de eucaliptus nitens termo tratado. La protección de la estructura recoge el criterio “protección por diseño”, tradicional en la construcción en Madera, complementándolo con el tratamiento directo de los elementos de madera, en este caso, con el uso de sales de boro en el pino insigne y termo tratamiento en el *eucaliptus nitens*.

Palabras-clave: Infraestructura en madera, prefabricación, elementos compuestos en madera

Abstract

Supported by technical advantages such as ease of handling, prefabricability and low weight among others, the proposal addresses the chapter of wood construction related to infrastructure, proposing a replicable idea in various contexts: natural parks, coastal edges, road knots with connectivity problems, etc. It is a prototype fragment on a real scale of a cycle path elevated in wood, within the general idea of a sustainable transport circulation system for cycles (bicycles, skates, etc.) applicable to the Concepción campus of the Universidad del Bío-Bío in Chile. The simple structural pieces start with insigne pine in commercial dimensions, forming framework on the basis of composite elements, joined with structural wood to wood screws, arranged to "quiver" alternately. The connection are made of 8 and 6 mm thick steel plates and steel bolts of 10 and 12 mm in diameter in single and double shear. The upper diaphragm-type folder consists of 3-layer laminated sheets of thermo-treated eucalyptus nitens, 56 mm thick, arranged alternately. On the plates there is a water repellent layer and a termination based on paneling of brushed pieces of thermo-treated eucalyptus nitens. The protection of the structure includes the criterion "protection by design", traditional in wood construction, complementing it with the direct treatment of the elements of the wood, in this case, with the use of boron salts for insigne pine and heat treatment for *eucalyptus nitens*.

Keywords: Infrastructure in wood, prefabrication, composite elements in wood



1. INTRODUCCIÓN

La emergencia ambiental ha promovido y estimulado el uso de estructuras en madera en áreas de la edificación que tradicionalmente eran exclusividad de materiales con alta relación costo-efectividad, pero con menores desempeños ambientales como el hormigón armado y el acero. Es así como ejemplos de infraestructuras en madera han aparecido en el mundo y a nivel local, que demuestran su aplicabilidad en contextos exigentes como la vialidad (figura 1).



Figura 1: Puentes de madera: Sneek – Holanda y Concepción – Chile

Esto se ve apuntalado por el desarrollo de mejoras en los temas más “débiles” asociados a la construcción en madera como pueden ser la marcada anisotropía mecánica o los problemas de durabilidad. El primer problema se ha enfrentado a través del desarrollo de los llamados productos de “Ingeniería de la Madera” como la madera Contralaminada entre otros. El segundo tema ha estimulado el desarrollo de técnicas de tratamiento de la madera para mejorar su durabilidad, que en condiciones desfavorables, puede ser dañada y destruida fácilmente por factores bióticos como hongos, insectos y horadadores marinos, y/o por factores abióticos, como las condiciones ambientales (humedad relativa, lluvia, radiación UV, etc. (Garay, 2012). Ejemplos de estos desarrollos son el acetilado, el furfuralado o el termo tratado. A esto sumar ventajas conocidas, que hacen de la construcción en madera una opción muy competitiva, por citar alguna, el bajo peso reduce las solicitaciones sísmicas de cálculo y facilita la construcción y el montaje de componentes prefabricados más grandes, reduciendo el tiempo de montaje.

En este contexto se sitúa este proyecto, sobre la base de una idea que promueve la sostenibilidad urbana, mediante una propuesta de red de circulación interna superior dentro del campus Concepción de la Universidad del Bío Bío (Figura 2), para los llamados transportes tipo ciclos (bicicletas, patines, etc.), desarrollando el diseño de un prototipo construido a escala real, cuyo objetivos es movilizar las capacidades profesionales y técnicas de los profesionales y laboratorios de la Universidad.

A nivel de idea, esta red mayoritariamente se situaría sobre las actuales galerías cubiertas existentes en el campus (Figura 3), permitiendo un acceso directo a los segundos pisos de edificios existentes, con un mínimo impacto sobre el funcionamiento normal del espacio inferior (Figura 4). Además, como ejercicio propositivo, también se puede entender como un referente para abordar otro tipo de contextos en que la madera puede ser un material pertinente: redes de circulación dentro de parques naturales con un mínimo impacto sobre



al paisaje; ciclo vías elevadas paralelas a bordes costeros concebidas como posibles barreras ralentizadoras de maremotos; o en nudos viales comprometidos urbanamente en que el peso de los componentes y su prefabricabilidad serían factores fundamentales.



Figura 2. Idea General de Circulación sobrepuesta sobre el Campus Concepción UBB y en flecha roja, la ubicación final del Fragmento-Prototipo.



Figuras 3 y 4. Fotomontajes sobre galerías cubiertas y la propuesta base de intervención, un fondo de madera sobre una zona descubierta uniendo dos zonas cubiertas. Campus Concepción de la Universidad del Bío Bío.

El proyecto se ejecutó vía fondos del Ministerio de Educación de Chile a través de un Convenio de desempeño con la Universidad del Bío Bío, “CD – IneS Hábitat Sustentable”, que financió proyectos internos, que apuntaran a la “Explotación de conocimientos e innovación de clase mundial en biomateriales y eficiencia energética para un hábitat sustentable”. Además esta plataforma promovía la alianza público-privada facilitando el aporte de materiales en el proyecto como la madera de *pino insigne* y *eucaliptus nitens* proporcionada por la empresa CMPC Maderas, los tornillos y algunas herrajerías estructurales de Simpson Strong-tie Chile y los productos de protección por parte de la empresa Lonza Quimetal por citar algunas de las empresas aportantes.



2. DESCRIPCIÓN

Emplazado en una zona central del campus, se desarrolló, construyó y montó un fragmento-prototipo de 12 m de largo por 6 m de ancho a escala real, soportado en una grilla de elementos portantes de 3 m x 3 m., de referencia a la grilla base de las galerías existentes en la Universidad, en 3 vanos y dos medios vanos en voladizo de 1,5 a cada lado (Figura 5).



Figura 5. Vista general y a nivel superior del prototipo construido en la actualidad.

La estructura parte de piezas estructurales simples de pino insigne en escuadrías comerciales (41x138x3200 mm) de clasificación mecánica tipo C16 de acuerdo a la Norma chilena (INN, NCh1198. Madera – Construcciones en Madera - Cálculo, 2014), formando pórticos en base a elementos lineales compuestos, unidos con tornillos estructurales madera-madera, dispuestos al “tresbolillo” alternadamente (Figura 6). Se procuró que en la contiguidad entre elementos simples no se formaran planos continuos, sino que se aplicara el concepto de “cortadura de junta”, de este modo siempre hay un elemento estructural continuo en cada parte del componente y entre elementos simples. La estructura principal se apoya sobre una fundación de hormigón armado formada por un cimiento tipo placa de hormigón y bajo cada apoyo un pedestal puntual, uniendo todo mediante vigas de enlace.

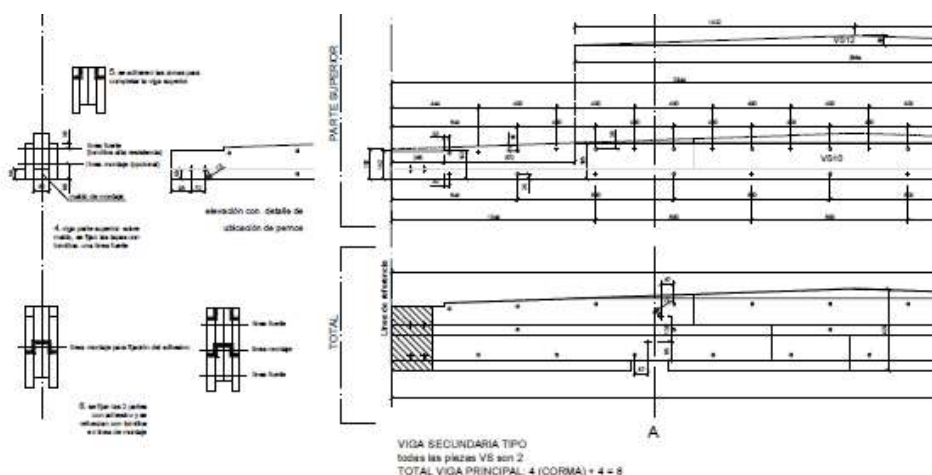


Figura 6. Fragmento de un plano de montaje de una viga secundaria.

La carpeta superior, consta de placas Contralaminadas de 3 capas de eucaliptus nitens termo tratado de 56x1000x2000 mm, dispuestas alternadamente para conformar un diafragma con algún grado de rigidez, y fijas a las vigas base mediante tornillos tipo WS de Simpson Strong Tie y selladas con una línea de silicona de junta y hojalatería en todo



el perímetro de la carpeta. Sobre las placas se dispuso de una membrana hidrorrepelente grapada y sellada, y sobre ella una terminación en base a rastreles cada 1 m. y un entablado superior de piezas cepilladas de eucaliptus nitens termo tratado dispuesto diagonalmente para facilitar la evacuación del agua y mejorar la adherencia de la rueda de bicicleta.

La altura de cumbrera de la carpeta superior que separa las pendientes y las circulaciones, es la suma de la altura de las galerías existente, más la altura del conjunto viga + carpeta + entablado. Las dimensiones de la sección superior se ajustan a las prerrogativas normativas para este tipo de infraestructuras (MINVU, 2015), el perfil es de 4,4 m de ancho formado por dos bandas de 1,2 m en ambos sentidos y hacia un lado una banda de 2,0 m permite el estacionamiento de bicicletas o el paso de una circulación peatonal.

Las barandas de 1,4 m siguen el uso descrito: hacia afuera el plano inclinado de las barandas permite un ajuste más preciso de la rueda de bicicleta, y hacia adentro, las barandas se abren y sirven de soporte de una parrilla metálica que originalmente se planteó y proyectó como soporte para una celosía de protección y de captación del calor solar para autogenerar energía eléctrica (ver Figura 7).



Figura 7: Barandas del prototipo de ciclovía.

3. DISEÑO

Para el diseño de la ciclovía, se tomaron en consideración las dimensiones mínimas establecidas en el Manual de carreteras del Ministerio de obras Públicas para la ejecución de este tipo de obras (MOP, 2012). Inicialmente el diseño del prototipo era una estructura completamente en madera, y posteriormente por razones técnicas, cedió el paso a otros materiales más competentes en temas de durabilidad y estabilidad dimensional (Figura 8).

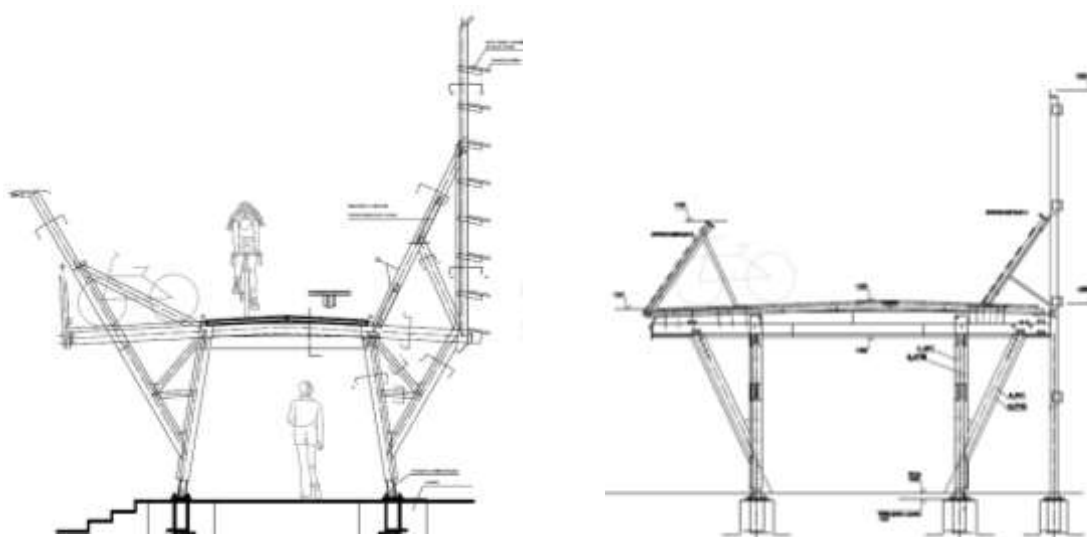


Figura 8: Versión en desarrollo y final del prototipo construido.

3.1. Protección de la madera

El tema de la durabilidad de la madera es una exigencia especialmente demandante en estructuras expuestas y con poco mantenimiento como pueden ser las infraestructuras de circulación. Existen dos estrategias que pueden complementarse y que se utilizaron en el prototipo construido: protección por diseño y tratamiento directo de la madera.

La primera es la denominada “protección por diseño” (Arriaga & Herrero, 2001), madurada en la construcción tradicional en madera, en la que en el desarrollo inicial del proyecto, con un diseño premeditado se procura proteger de los agentes abióticos degradadores de la madera (agua, lluvia, sol) a los elementos estructurales principales, así como algunos elementos secundarios se tratan como pieles de “sacrificio”, pensadas para ser reemplazadas en una lógica de mantención. Consecuentemente, la estructura portante del prototipo se diseñó separada del suelo y contenida dentro de una rasante de 60° para evitar el efecto directo del sol y de la lluvia. Las vigas principales bajo la cubierta fueron protegidas en sus canes con tapacanes de madera bilaminada termo tratada y se utilizaron elementos de acero en los elementos de apoyo secundario expuestos sobre la carpeta superior. También, toda la hojalatería se dispuso en los bordes de la carpeta superior y cubriendo la parte superior de las uniones más comprometidas (Figura 9).



Figura 9. Protección por diseño



La segunda estrategia es la de mejorar la durabilidad mediante la incorporación de sustancias o el tratamiento directo de los elementos de madera. Todos los elementos de madera de pino insigne fueron tratados con una solución de Boro, protegida adicionalmente por un tratamiento superficial de un producto hidrorrepelente para protegerlo. Por otra parte, se utilizó termo tratamiento en todos los elementos de *Eucaliptus Nitens*: la carpeta superior en base a placas de madera Contralaminada, además de todos los elementos secundarios de protección como tapacanes de vigas, entablados de cubierta, rastreles y barandas.

3.2. Caracterización mecánica

La estructuración se basa en pórticos rígidos transversales y longitudinales formados por puntales, columnas y vigas longitudinales de elementos compuestos de madera. Las secciones de los elementos quedan formadas por piezas de madera aserrada de 41 x 130 mm o 41 x 170 mm conectadas entre sí por medio de tornillos de 5 mm de diámetro, lo que permite la creación de elementos de longitudes mayores que las comerciales y en secciones con geometrías complejas.

La normativa de diseño utilizada para el cálculo estructural es la norma chilena NCh 1198:2014, tanto para la verificación de los elementos de madera como las uniones madera-madera y uniones con placas metálicas. La madera utilizada para armar las secciones de los elementos estructurales es madera de pino radiata con grado C16, teniendo los parámetros mecánicos mostrados en la tabla N° 1.

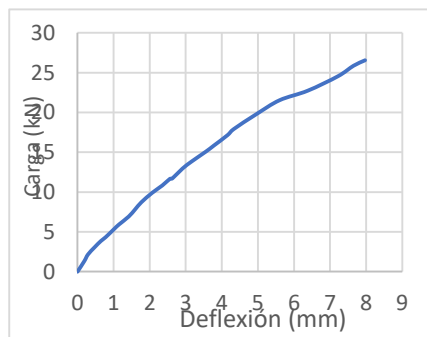
Tabla N° 1. Propiedades mecánicas de madera de Pino radiata grado C16 (INN, NCh1198. Madera – Construcciones en Madera - Cálculo, 2014)

Tensión admisible					Módulo de elasticidad en flexión	Índice de aplastamiento
Flexión	Compresión paralela	Tracción paralela	Compresión normal	Cizalle		
5.2 MPa	7.5 MPa	3.5 MPa	2.5 MPa	1.1 MPa	7900 MPa	5.65 MPa/mm

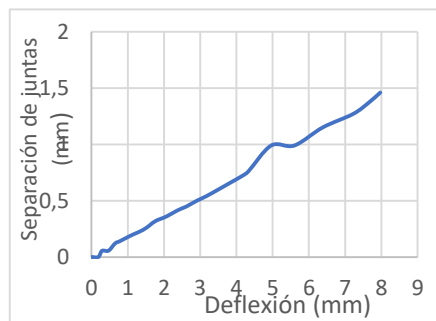
Como los elementos estructurales no son piezas macizas y su configuración de armado es atípico se ejecutan ensayos experimentales de flexión en la viga principal de los marcos para caracterizar su comportamiento mecánico (Ver Figura 10), utilizando instalaciones del Pabellon Tecnológico de la Madera (PTM) Universidad del Bío-Bío. En la figura 11a se presenta la curva de carga vertical versus deflexión en el centro de la viga, observándose un comportamiento casi lineal en todo el rango de carga, con rigidez media para el nivel de carga de diseño (15 kN) de 4.3 kN/mm. La relación que existe entre la deflexión de la viga y la separación de las juntas en el borde traccionado se muestra en la figura 11b, de donde se tiene que la abertura de la junta en las piezas traccionadas es del orden de 0.6 mm para la deflexión al nivel de la carga de diseño, lo que asegura el comportamiento elástico de los tornillos de fijación.



Figura 10: Viga principal – armado y ensayo de flexión.



a) Curva carga – deflexión



b) Curva deflexión – separación de juntas

Figura N° 11: Curvas de caracterización mecánica de viga compuesta

El análisis estructural se desarrolla por medio de un modelo en el software Robot Structural Analysis. Una vista esquemática del modelo 3D utilizado se presenta en la Figura 12. Las cargas y combinaciones de carga se determinan en base a la normativa chilena (INN, NCh3171:2010. Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas, 2010) A pesar que el uso esperado de la ciclovía proporciona una elevada sobrecarga de diseño de 450 kg/m², la carga que controla el diseño de los elementos y uniones es el viento, ya que la estructura posee una gran área de oposición al viento. Por ser un sistema liviano, las cargas sísmicas son bajas y no son importantes en el diseño.

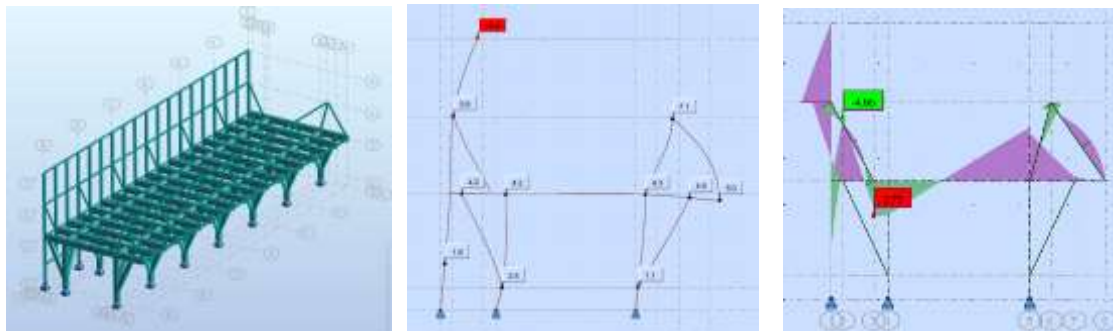


Figura 12: Vista isométrica del modelo estructural; Desplazamientos para la carga de viento (mm); Diagrama de momento para carga sísmica (kNm)



Un aspecto relevante en el diseño estructural fue el diseño de las uniones (ver Figura 13), dada la gran cantidad de elementos y piezas a conectar. Se diseñaron ocultas protegiéndolas del fuego, alojadas dentro de rebajes internos de las piezas de madera, usando pletinas de acero de 8 y 6 mm. de espesor y segmentos de hilo de acero de 10 y 12 mm. de diámetro unidos con pernos y dobles arandelas. Para el diseño se consideró corte simple y doble. Entre la carpeta y la parte superior vigas de estas zonas se insertó una pieza de hojalatería de protección.

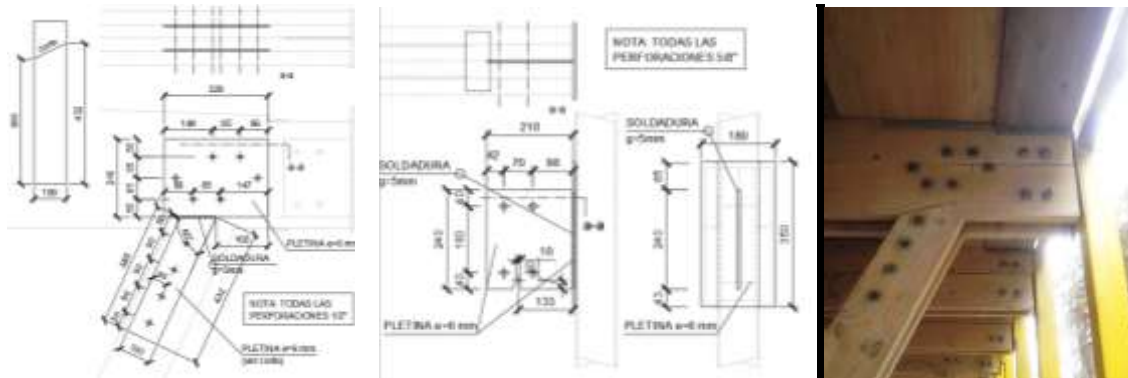


Figura 13- Configuración de uniones de viga principal: encuentro viga principal- tirante-diagonal y viga principal-parrilla metálica. Notar protección entre carpeta superior y viga.

4. FABRICACIÓN Y MONTAJE

El proyecto desde el comienzo se concibió desde piezas de tamaño pequeño existente en el mercado chileno, como una manera de proponer y promover una tecnología accesible a empresas de mediano o pequeño tamaño. Las piezas ya venían clasificadas y secas, lo que facilitó el trabajo y el ajuste en componentes más grandes.

La fabricación de los componentes se realizó en el Laboratorio de Diseño y Tecnología en Madera de la Universidad del Bío-Bío, con 2 carpinteros para la fabricación y montaje de los componentes en colaboración de alumnos en práctica de diversas carreras de la Universidad del Bío-Bío (Ver Figura 14).



Figura 14: Fabricación y montaje de ciclovía.

Para cada componente, se desarrolló un protocolo de construcción en base a planos de montaje específicos, que buscaba simplificar la fabricación de componentes. Los componentes principales fueron fundamentalmente elementos lineales: vigas, columnas y diagonales-tirantes que se prefabricaron para ser montados en forma correlativa, luego de que el cimiento podía entrar en carga, se fijaron las columnas ya armadas con las



pletinas; luego las vigas longitudinales, las transversales y la carpeta. Los elementos secundarios se prefabricaron, mediante el uso de plantillas realizando control de procesos y productos, de manera de lograr materializar la obra con el mínimo desperdicio y tiempo de ejecución.

5. APRENDIZAJES Y CONCLUSIONES

La fabricación de elementos en madera, utilizando componentes con un bajo nivel de aplicación tecnológica, es posible y aplicable a la realidad productiva local; el prototipo de ciclovía elevada ha permitido lograr materializar una obra con la utilización de maderas comerciales utilizando medios de conexión mecánicos, a un costo competitivo. De modo de masificar este tipo de soluciones, también es posible la combinación inteligente de materiales, que permita bajar costos y disminuir riesgos por vandalismo, o aumentar la productividad en obra; todo ello dependerá del contexto de uso y los indicadores que se pretenda lograr.

Para el logro de obras en madera, que incluyan cortes y/o fresados de alta precisión, resulta importante tener control dimensional de las piezas que componen la estructura, no sólo a nivel de elemento, sino a nivel de piezas que se ajusten a tolerancias y alabeos que están relacionadas con los defectos de secado.

La protección por diseño, es una estrategia complementaria a los tratamientos que se utilizan en las piezas de madera. Fundamental resulta entender y visualizar el camino del agua, reforzando aquellos puntos donde las conexiones y elementos estructurales están presentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, F., & Herrero, M. (2001). Protección de la madera mediante el diseño constructivo. 31 - 39: AITIM.
- Garay, R. (2012). Tratamiento químico de acetilación en madera de *Pinus radiata*. *Maderas, Ciencia y tecnología* 14, 103-113.
- INN. (2010). *NCh3171:2010. Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización - Chile.
- INN. (2014). *NCh1198. Madera – Construcciones en Madera - Cálculo*. Santiago: INN_Instituto Nacional de Normalización- Chile.
- MINVU. (2015). Vialidad Ciclo – Inclusiva – Recomendaciones de Diseño. En *Manual Espacios Públicos Urbanos*. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Chile.
- MOP. (2012). Seguridad Vial, capítulo 6.6 ciclovías. En *Manual de carreteras Volumen N° 6*. Santiago : Ministerio de Obras Públicas - Chile.