

CAPÍTULO IV

COMPATIBILIDAD CON RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES

Luis Machuca S.¹

1. RESUMEN

El presente trabajo analiza la compatibilidad de los revestimientos para madera con tableros LVL de Pino radiata, Eucalyptus nitens y mezcla de ambas especies, poniendo énfasis en los factores que comúnmente los afectan: cambios de temperatura, transferencias de humedad y pérdida de adherencia del revestimiento.

Los ensayos fueron realizados a escala de laboratorio siguiendo procedimientos indicados en las Normas ASTM. Estos incluyen variaciones de temperatura desde -21°C a 50°C, exposición de tableros a vapor saturado y dos métodos de medición de adherencia de revestimientos (cinta adhesiva y dinamómetro de tracción).

Los resultados muestran la buena relación entre los revestimientos y los tableros evaluados para los ensayos de cambio de temperatura y transferencia de vapor de agua, ya que no hubo presencia de grietas ni ampollas. Ambos resultados son independientes de las variables estudiadas: revestimiento, tipo de madera, terminación y superficie. Los resultados obtenidos del ensayo de adherencia son buenos, destacando los resultados obtenidos en el ensayo de adherencia con cinta sobre el producto "C".

¹ Ingeniero de Ejecución en Maderas

2. METODOLOGÍA

Se utilizaron tres revestimientos de uso interior. Su aplicación sobre el material experimental se realizó con pistola pulverizadora, considerando dos manos. En la Tabla 1 se identifican los productos ensayados.

Tabla 1: Revestimientos utilizados

Revestimiento	Característica
A: Óleo	Pintura de color blanco opaco, base aceite.
B: Imprimante	Imprimante de color blanco opaco, base agua. Se puede utilizar como prepintado o revestimiento final.
C: Barniz	Barniz incoloro opaco, base poliuretano.

Las variables consideradas en el estudio son las que se indican:

Tableros LVL	: 3 (<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus nitens</i> , Mezcla de especies)
Recubrimientos	: 3 (A, B, C)
Terminaciones	: 2 (con y sin lijado)
Ensayos	: 3 (cambio temperatura, ampollamiento, adherencia)
Repeticiones	: 10

Las 540 probetas utilizadas en el estudio (38x100x100mm.) fueron inicialmente acondicionadas a un 12% de humedad, siendo la mitad de ellas lijada con papel abrasivo de granulometría 120.

2.1. Ensayos

Los ensayos realizados fueron el de cambio de temperatura (ASTM D1211), resistencia al ampollamiento (ASTM D2366) y adherencia (cinta adhesiva: ASTM D3359; dinamómetro de tracción: ASTM D4541).

El ensayo descrito por la norma ASTM D1211 mide la resistencia a la formación de grietas, resquebrajaduras o craqueado en revestimientos aplicados sobre madera o tableros de madera cuando son sometidos a cambios bruscos de temperatura (alta a baja).

Inicialmente las probetas fueron pintadas en todas sus caras a objeto de sellarlas y evitar la influencia de la humedad en los resultados. Posteriormente fueron sometidas a un ciclo que se repitió 5 veces, realizando evaluaciones al término de cada uno de ellos. Cada ciclo consideró las siguientes etapas: a) estufa a 50 °C por 1 hora; b) congelador a -21 °C por 1 hora; c) acondicionado a 25 °C y 50% humedad relativa por 15 minutos.

Los resultados se expresan como la presencia o ausencia del defecto esperado, además de reportar cualquier otro cambio en el aspecto de la película de pintura.

La norma ASTM D2366 evalúa la formación de ampollas en el recubrimiento producto de la transferencia de agua en estado de vapor a través de la madera.

Las probetas fueron pintadas en sus 4 cantos y una cara, dejando la cara sin pintar en contacto directo con el vapor generado por un baño termostático (temperatura del agua 38 °C y humedad relativa 95%), dispuesto en una habitación a 25 °C y 50 % de humedad relativa. Esta exposición se prolongó por 5 días, controlando periódicamente las condiciones del baño y la posible aparición de ampollas.

El ensayo de adherencia se realizó por los métodos de la cinta adhesiva (ASTM D3359) y dinamómetro de tracción (ASTM D4541), cuantificando la adherencia entre el revestimiento y el sustrato madera.

En ambos métodos el ensayo se realizó sobre una cara y canto de las probetas. Especial atención se observó el ensayo sobre el canto, evaluando el comportamiento del recubrimiento sobre la línea adhesiva.

En probetas LVL fabricadas con mezcla de especies el ensayo de adherencia se realizó exclusivamente en el canto de las probetas, considerando que las caras de estas son de Pino radiata.

Los resultados por el método de la cinta se expresan en grados de cinco a cero, decreciendo en calidad como sigue:

- 5 = Óptimo, los bordes de los cortes están definidos.
- 4 = Pequeños descascaramientos en intersecciones de los cortes.
- 3 = El área afectada está entre 5% y 15%.
- 2 = El área afectada está entre 15% y 35%.
- 1 = El área afectada está entre 35% y 65%.
- 0 = El área afectada es superior al 65%.

Los resultados por dinamómetro, en tanto, se expresan en (N/mm²) o (Lb/in²).

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resistencia a los cambios de temperatura

Los resultados de este ensayo fueron muy buenos. No se observaron grietas en ninguno de los recubrimientos ensayados (ver Tabla 2). Esta observación es válida para las distintas especies y terminaciones ensayadas.

Tabla 2: Resultados ensayos cambios de temperatura

Ensayo	Revestimiento	Tablero	Terminación	Grietas
Cambios de temperatura	A	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
	B	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
	C	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia

3.2. Resistencia al ampollamiento

El comportamiento de los tres revestimientos frente a este ensayo fue muy bueno (ver Tabla 3), independiente del tipo de especie y terminación utilizada.

El producto B (imprimante) presentó ablandamiento, recuperando su condición inicial una vez que las probetas fueron acondicionadas.

La Figura 1 ilustra la remoción del producto B producto de su ablandamiento, ejecutada por abrasión forzada inmediatamente después de retiradas las probetas del baño termostático.

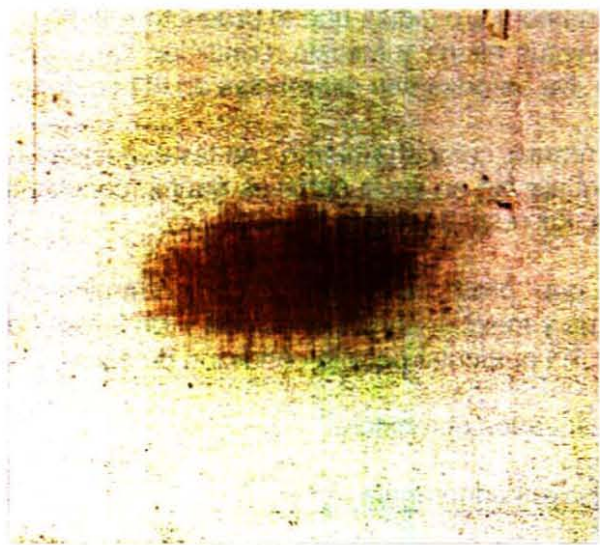


Figura 1: Remoción del producto B

Tabla 3: Resultados ensayos de ampollamiento

Ensayo	Revestimiento	Tablero	Terminación	Ampollas
Ampollamiento	A	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
	B	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
	C	Eucalyptus	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Mezcla	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia
		Pinus radiata	Sin lijar	Sin presencia
			Con lijar	Sin presencia

3.3. Adherencia

La evaluación con el método de la cinta adhesiva señala que el comportamiento de los productos A y B fue bueno. El producto C, en tanto, presenta un muy buen comportamiento.

Para todos los productos ensayados los resultados son independientes de la especie, terminación ensayada y localización del ensayo (cara, canto).

La evaluación con el dinamómetro indica que el producto A tiene un buen comportamiento con las especies *Eucalyptus nitens* y mezcla, condición cara, aunque levemente inferior para la condición canto. No se observan diferencias en el tipo de terminación.

El producto B tiene un regular comportamiento con las especies *Eucalyptus* y mezcla. Los mejores resultados se observan en las superficies lijadas, condiciones de cara y canto. En el caso del Pino radiata, los resultados son buenos.

El producto C es el que presenta el mejor comportamiento, logrando los mejores resultados en *Eucalyptus* y mezcla, condiciones con y sin lijado. Los resultados para Pino radiata son algo menor, en particular para la condición de canto.

La Tabla 4 ilustra los resultados obtenidos.

Tabla 4: Resultados ensayos adherencia

Ensayo	Revestimiento	Tablero	Terminación	Cinta		Dinamómetro N/mm ²	
				Cara	Canto	Cara	Canto
Adherencia	A	Eucalyptus	Sin lijar	4	4	2,5	2,0
			Con lijar	4	4	2,5	2,5
		Mezcla	Sin lijar	4	4	2,5	2,0
			Con lijar	4	4	2,5	2,0
		Pinus radiata	Sin lijar	4	4	2,0	2,0
			Con lijar	4	4	2,0	2,0
	B	Eucalyptus	Sin lijar	4	4	1,0	1,5
			Con lijar	4	4	2,0	2,0
		Mezcla	Sin lijar	4	4	1,5	1,5
			Con lijar	4	4	2,0	2,0
		Pinus radiata	Sin lijar	4	4	2,5	2,0
			Con lijar	4	4	2,0	2,0
	C	Eucalyptus	Sin lijar	5	5	3,0	3,5
			Con lijar	5	5	3,5	3,0
		Mezcla	Sin lijar	5	5	3,5	3,0
			Con lijar	5	5	3,0	3,0
		Pinus radiata	Sin lijar	5	5	3,0	2,5
			Con lijar	5	5	3,0	2,5

Las Figuras 2 a 9 ilustran algunos resultados del ensayo de adherencia en cara y canto.

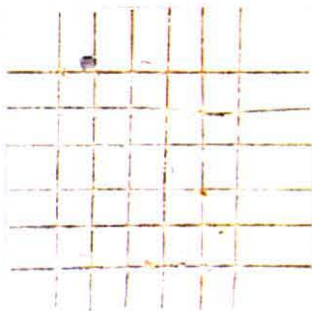


Figura 2: Probeta de pino sin lijar, producto "B" (cara).
Adherencia cinta Grado 4



Figura 3: Probeta de pino sin lijar, producto "B" (cara).
Dinamómetro 2,5 (N/mm²)

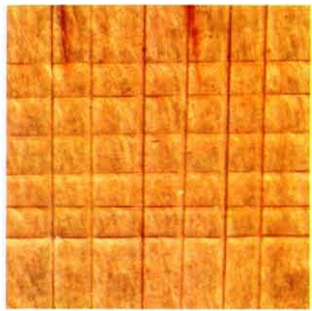


Figura 4: Probeta de pino sin lijar, producto "C" (cara).
Adherencia cinta Grado 5.



Figura 5: Probeta de pino sin lijar, producto "C" (cara).
Dinamómetro 3,5 (N/mm²).



Figura 6: Probeta de pino sin lijar, producto "B" (canto).
Adherencia cinta Grado 4.

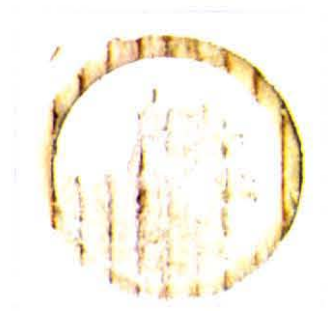


Figura 7: Probeta de pino sin lijar, producto "B" (canto).
Dinamómetro 2,0 (N/mm²).



Figura 8: Probeta de pino sin lijar, producto "C" (canto).
Adherencia cinta Grado 5



Figura 9: Probeta de pino sin lijar, producto "C" (canto).
Dinamómetro 3,0 (N/mm²)

4. CONCLUSIONES

- Existe compatibilidad entre los tableros y los revestimientos, demostrado principalmente por la prueba de adherencia.
- Los revestimientos evaluados no son alterados por los cambios de temperaturas, pudiendo ser usados en ambientes calefaccionados o acondicionados por aire frío.
- La transmisión de vapor de agua no afecta los revestimientos ya que no genera ampollas. Esta transferencia de vapor puede haber sido atenuada por la presencia de líneas adhesivas entre tulipas que actúan como barreras.
- El producto imprimante "B" se vio afectado durante la exposición al vapor, sufriendo un ablandamiento recuperable. Este producto se utiliza en el prepintado de maderas, que en conjunto con un revestimiento final debería lograr un óptimo resultado.
- El producto de mejor comportamiento fue el barniz poliuretano, independiente de las variables de lijado y tipo de madera.

5. BIBLIOGRAFIA

- Annual book of ASTM standards 1982: Paint-tests for formulated products and applied coatings Part 27. Philadelphia, Pa. USA.
- D659 Evaluación del grado de atizamiento de pinturas.
- D660 Evaluación del grado de agrietamiento de pinturas.
- D661 Evaluación del grado de cuarteo de pinturas.
- D714 Evaluación del grado de ampollamiento de pinturas.
- D772 Evaluación del grado de descascaramiento de pinturas.
- D1211 Resistencia a los cambios de temperatura.
- D2366 Resistencia al ampollamiento de revestimientos sobre madera.
- D3359 Medición de adherencia métodos de cinta adhesiva.
- D4541 Medición de adherencia por tracción con dinamómetro.
- Lambourne, R. 1999. Paint and surface coatings: Theory and practice. Edit. E. Horwood. Chichester. USA.

CAPÍTULO V

PROPIEDADES DE REACCIÓN AL FUEGO

Rodrigo Briones V.¹

1. RESUMEN

El presente documento contiene la metodología y resultados obtenidos a partir de ensayos de reacción al fuego realizados a muestras de tableros LVL (Laminated veneer Lumber), confeccionados con madera de Pino radiata, Eucalipto nitens y mezcla de ambas especies.

Los tableros de LVL fueron elaborados en la empresa Industrias y Bosques S.A. (INBOSSA). La experiencia de laboratorio fue ejecutada en la Sede Bío Bío del Instituto Forestal, Concepción.

Las probetas obtenidas fueron ensayadas a 50 kW/m² en un cono calorimétrico, equipo que mide propiedades de reacción al fuego y opera de acuerdo a la metodología establecida en la Norma ISO 5660-1.

Las dimensiones de todas las probetas fueron de 100 mm x 100 mm en la sección transversal y 38 mm de espesor, excepto para las probetas LVL de Eucalipto nitens cuyo espesor fue de 36 mm.

Con el fin de complementar el análisis del estudio, los resultados de las probetas de LVL se compararon con resultados de otros materiales a base de madera ensayados anteriormente en el cono calorimétrico.

La evaluación de las propiedades de reacción al fuego indica que las probetas obtenidas a partir de tableros LVL, independiente de la especie o mezcla utilizada en su fabricación, presentan un comportamiento normal dentro de la gama de productos a base de madera respecto a los principales parámetros entregados por el cono calorimétrico: tiempo de ignición, tasa de calor liberado y producción de monóxido de carbono.

El tablero LVL confeccionado con la especie Eucalipto nitens presenta un interesante tiempo de ignición (24 s), superando a la mayoría de los tableros derivados de madera. La tasa de calor liberado que presentó cada tipo de tablero LVL ensayado es inferior a la tasa alcanzada por la madera sólida de Pino radiata. En general, los tres tipos de tableros LVL no liberan su energía calórica en forma explosiva, lo cual representa en caso de incendio un menor riesgo para los ocupantes del recinto.

Por otro lado, las muestras de LVL ensayadas, independiente de la especie, presentan bajos niveles de producción de monóxido de carbono, comparados con otros materiales utilizados en la construcción.

¹ Ingeniero Civil en Industrias Forestales

2. INTRODUCCIÓN

Todos los países que están conscientes del grave problema de los incendios, han legislado normas de obligado cumplimiento para aumentar la protección de las personas, sus bienes materiales y las edificaciones. Estas normas incluyen métodos de evaluación de materiales y elementos constructivos a través de ensayos que definen un conjunto de condiciones muy próximas a las reales, simulando las temperaturas que se producen en un incendio y donde lo que se evalúa es la misión o sollicitación que deberá cumplir el material o elemento.

En el caso de ensayos de reacción al fuego, la evaluación de las propiedades se realiza respecto a la contribución que hacen al incendio. De esta manera un material puede contribuir a:

- * Iniciar un incendio.
- * Alimentar el incendio.
- * Propagar el incendio.
- * Generar humos y gases.

En general, existe baja valoración de la madera y sus derivados como materiales de construcción debido a su temida combustibilidad, sin tomar en cuenta que, a diferencia de los plásticos y aceros, este recurso resulta ser menos peligroso desde el punto de vista de la resistencia en caso de incendio.

2.1. Combustión de la madera

La pirólisis corresponde al fenómeno por el cual la madera se descompone frente al calor, produciendo gases y vapores, muchos de ellos combustibles, que al combinarse con el aire (oxígeno) generan llamas y humos. El calor producido en la combustión, a causa de las reacciones químicas exotérmicas que se producen, hace mantener la combustión indefinidamente, mientras exista aire y madera involucrada.

La descomposición pirolítica de la madera empieza paulatinamente antes de los 200°C y concluye prácticamente a los 500°C; observándose claramente cuatro etapas diferentes:

- a) Antes de los 100°C : Evaporación de humedad.
- b) Alrededor de los 250°C: Formación de gases combustibles (monóxido de carbono) y gases incombustibles (dióxido de carbono), además de vapores de ácido acético y alquitranes.
- c) Sobre los 300°C: Carbonización de la madera y producción de hidrocarburos, alquitranes y alcoholes (mayor cantidad de gases combustibles).
- d) Sobre los 500°C: Carbón residual.

En resumen, la combustión de la madera es un conjunto de complejas reacciones químicas en presencia de aire, automantenidas en cadena a causa de la pirólisis y por el calor producido de las reacciones exotérmicas involucradas en el proceso.

Los materiales de construcción, como la madera aserrada o los tableros estructurales, pueden estar sometidos a la acción de un incendio y, de acuerdo a su comportamiento,

pueden retardar, en mayor o menor medida, por un lapso determinado de tiempo la acción de las llamas, protegiendo la estructura.

El comportamiento al fuego de materiales y elementos constructivos se puede determinar mediante métodos de evaluación a través de ensayos que definen un conjunto de condiciones muy similares a las reales; simulando las temperaturas que se producen en condiciones reales y donde lo que se evalúa es la misión o sollicitación que deberá cumplir el material o elemento.

En la fase inicial de un incendio las propiedades más importantes son aquellas que tienen relación con la reacción al fuego de los materiales. La evaluación de las propiedades se realiza respecto al aporte que hacen los materiales al incendio. La reacción al fuego representa la contribución de un material de construcción al inicio y crecimiento de un incendio.

Basado en lo anterior, el objetivo de este estudio pretende determinar algunas propiedades de reacción al fuego que tienen los tableros LVL (Laminated Veneer Lumber) confeccionados con madera de Pino radiata, Eucalipto nitens y mezcla de ellas.

2.2. Principio y parámetros del cono calorimétrico

El cono calorimétrico es un método de ensayo estandarizado internacionalmente que se usa para caracterizar parte de las propiedades de un material que son importantes en un fuego o incendio inicial (propiedades de reacción al fuego). Con este equipo es posible simular incendios de diferentes intensidades, ya que permite seleccionar niveles de flujo de calor de hasta 100 kW/m^2 , irradiando la superficie de la muestra de ensayo desde un elemento calefactor.

El método de ensayo opera de acuerdo al principio del consumo de oxígeno. Todo material orgánico, al quemarse, consume oxígeno y libera calor. La relación encontrada es de aproximadamente $13,1 \text{ MJ}$ de calor que se liberan por cada kilogramo de oxígeno consumido. Las probetas son sometidas a una radiación externa, midiéndose las concentraciones de oxígeno y la tasa de flujo de gas en la descarga. Un esquema del equipo y sus partes más importantes se observa en la Figura 1.

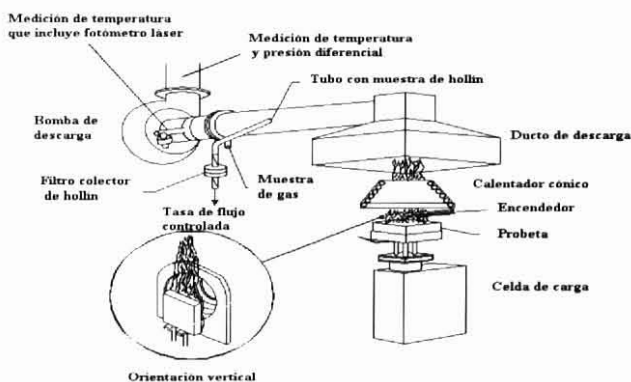


Figura 1. Partes del cono calorimétrico

Los parámetros de evaluación son los que se indican:

- **Tiempo de ignición (s):** Tiempo que tarda un material en producir llama una vez que es expuesto a un determinado flujo de calor y fuente de ignición.
- **Tasa de calor liberado (kW/m^2):** Cantidad de calor (energía) que emite un material al combustionarse. Los materiales que liberan su energía potencial química relativamente rápido son más peligrosos que aquellos que lo hacen más lentamente, por ello constituye un buen parámetro para evaluar el daño potencial de un material involucrado en un incendio. A partir de los resultados de cada ensayo es posible determinar el valor promedio y peak para esta variable.
- **Tasa de pérdida de masa (g/s):** Indica la rapidez de degradación física del material cuando se descompone frente al calor.
- **Producción de CO (g CO / kg de material combustionado):** Alrededor del 75% a 80% de las víctimas de un incendio no son tocadas por las llamas sino que mueren como resultado de exposición al humo, gases tóxicos o falta de oxígeno. El cono calorimétrico permite determinar la cantidad de monóxido de carbono generado durante la combustión del material.

La Tabla 1 elaborada de acuerdo a antecedentes del Departamento del trabajo de Estados Unidos (Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor. OSHA), proporciona niveles de concentración del gas y su efecto en las personas.

Tabla 1. Efecto del Monóxido de Carbono, CO

Gas	Concentración	Efecto
Monóxido de carbono	35 ppm	Límite de tolerancia durante 1 hora de trabajo
	1000 ppm	Dolor de cabeza, náusea y vértigo después de 20 min
CO (tóxico)	1600 ppm	Pérdida de conciencia después de 20 min
Referencia: (55 g/Kg=100 ppm)		

El equipo cono calorimétrico utilizado en los ensayos se ilustra en la Figura 2.

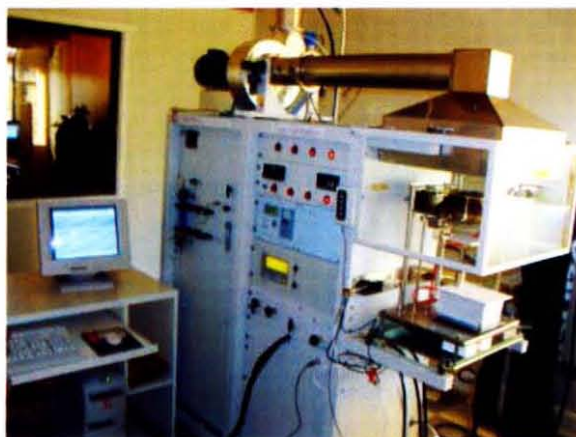


Figura 2: Cono calorimétrico

3. METODOLOGÍA

Las probetas fueron obtenidas de tableros LVL confeccionados a nivel industrial en la fábrica de contrachapados INBOSSA, ubicada en Frutillar, X región. Los tableros LVL se conformaron con 15 chapas de espesor 2,5 mm y se utilizó adhesivo fenólico en el proceso de encolado proporcionado por la compañía OXIQUM S.A.

Las probetas se ensayaron a un mismo contenido de humedad (10%). La identificación, espesor, peso y densidad normal de cada probeta se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Probetas ensayadas LVL

Material	Identificación	Espesor (mm)	Peso (gr)	Densidad (kg/m ³)
LVL Pino radiata	PINO	38	176,96	465,68
LVL Eucalipto nitens	EUCALIPTO	36	227,12	630,88
LVL Mezcla (P. Radiata / E. Nitens)	COMBINADO	38	201,81	531,07

La sección de las probetas ensayadas corresponde a 100x100 mm y su disposición al momento de ejecutar los ensayos se muestra en la Figura 3.

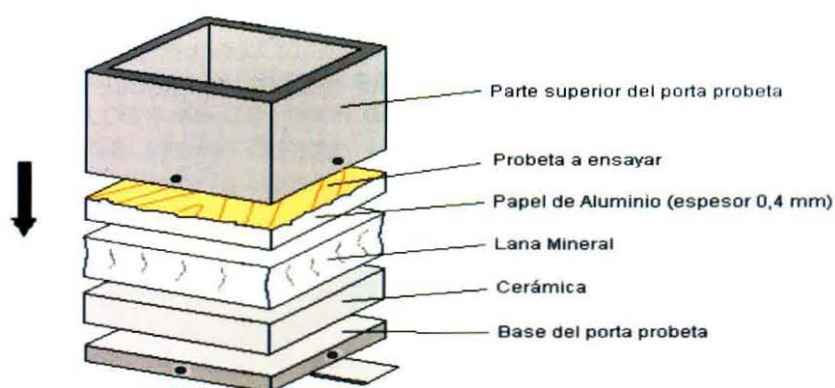


Figura 3. Disposición de la probeta

Los materiales se ensayaron en tres repeticiones, a un nivel de radiación de 50 kW/m², de acuerdo al procedimiento descrito en la Norma ISO 5660-1.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Tableros LVL

El resumen de los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en el cono calorimétrico a las probetas de LVL ensayadas se presenta en la Tabla 3. Las variables tasa de calor liberado (TCL) y tasa pérdida de masa (TPM) consideran los datos obtenidos a partir del segundo en que comienza la ignición del material hasta el término del ensayo; en tanto, la variable producción de monóxido de carbono (PMC) considera los datos obtenidos desde el inicio del ensayo hasta el término de éste.

Tabla 3. Resumen resultados promedios probetas LVL

Parámetros	Unidad	LVL		
		Pino	Eucalipto	Combinado
Tiempo de ignición	s	11,3	24,3	15,0
Tasa de calor liberado promedio	kW/m ²	84,1	83,3	83,3
Tasa de calor liberado peak	kW/m ²	175,7	183,4	172,6
Tasa pérdida de masa	g/s	0,044	0,056	0,063
Producción de CO	kg CO/kg	0,0084	0,0058	0,0029

De acuerdo a los resultados presentados, se observa que el tablero LVL EUCALIPTO presenta el mayor tiempo de ignición. Lo anterior concuerda con la tendencia esperada, puesto que a medida que la densidad del material aumenta, el valor de esta variable también se incrementa.

La TCL promedio y peak obtenidas para cada uno de los tres tipos de tableros LVL son similares entre sí. En general, los tres tipos de tableros no liberan su energía calórica en forma explosiva, lo cual representa en caso de incendio un menor riesgo para los ocupantes del recinto.

Respecto a la TPM, los resultados indican que la degradación del tablero LVL PINO es levemente más lenta que las demás, no observándose diferencias significativas entre los 3 tipos de tableros.

La PMC es mayor para el tablero elaborado con la especie de Pino radiata.

A continuación se presentan las curvas de las variables analizadas que indican el comportamiento de los tres tipos de tableros ensayados.

La variación de la TPM durante el ensayo se muestra en la Figura 4. La tendencia de las curvas para los tres tipos de tableros LVL fue muy similar entre sí. Para todos los tableros ensayados se produjo un primer peak de la TPM en los primeros 100 segundos de ensayo. Para los tableros COMBINADO y PINO el segundo peak se produjo entre los 1.600 y 1.800 segundos de ensayo. El segundo peak para el tablero EUCALIPTO ocurrió entre los 2.000 y 2.420 segundos de ensayo.

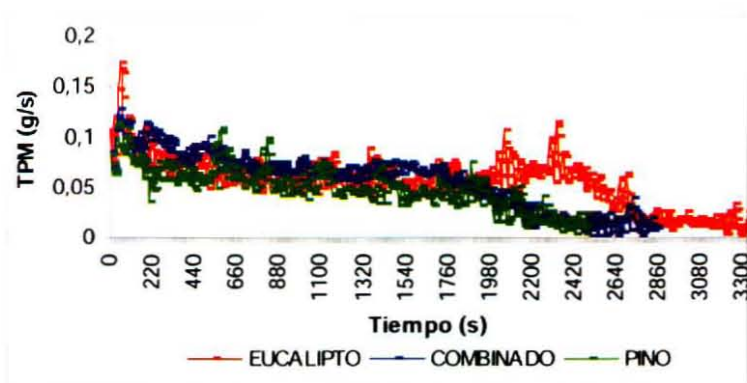


Figura 4: Pérdida de masa

El comportamiento de la TPM se explica de la siguiente manera: Primero se produce la ignición del material y la TPM aumenta considerablemente, alcanzando el primer peak. Luego, la capa de carbón que se forma actúa como aislante disminuyendo la velocidad de carbonización durante gran parte del ensayo (200-1.760 segundos aproximadamente para las probetas PINO y COMBINADO). Posteriormente, la velocidad de degradación de la madera sube (segundo peak), debido a que aumenta la cantidad de oxígeno cuando la probeta se parte por efecto del fuego.

En la figura siguiente se observa que el mayor valor de la TCL se registra en los primeros 220 segundos de ensayo para los tres tipos de tableros ensayados. Además, muestran una tendencia de la curva similar durante el ensayo. La curva de las probetas de EUCALIPTO presenta un segundo peak posterior al mostrado por las curvas de las probetas de PINO y COMBINADO.

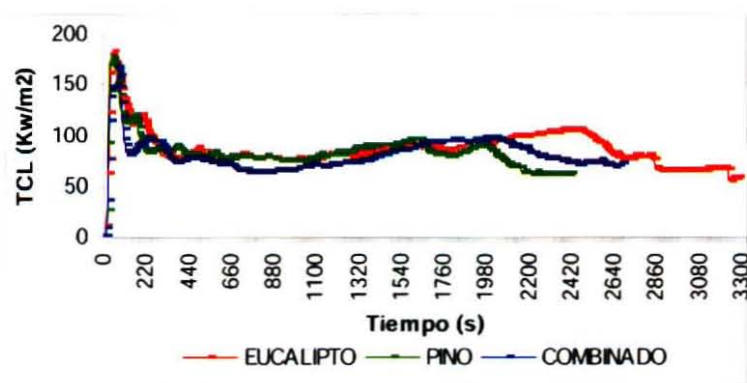


Figura 5: Tasa de calor liberado

La variación en la PMC al transcurrir el ensayo para los 3 tipos de probetas de LVL se muestra en la Figura 6. Un incremento en la PMC se observa a partir de los 1.760 segundos de ensayo para las probetas de PINO y COMBINADO. Para las probetas de EUCALIPTO el incremento se observa a partir de los 2.200 segundos de ensayo.

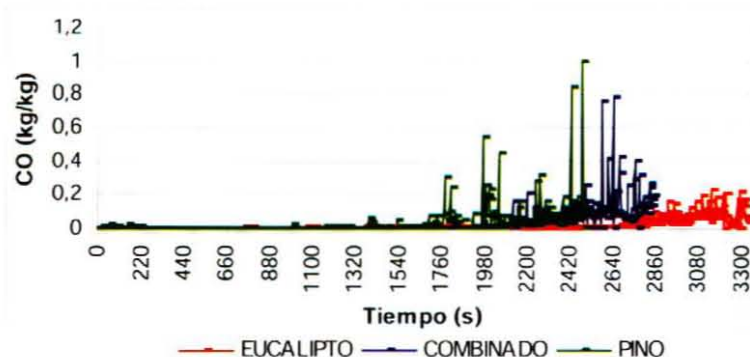


Figura 6: Monóxido de carbono

De acuerdo a lo informado por OSHA (Cuadro 1), los niveles de CO alcanzados por las muestras están muy por debajo de los límites establecidos para generar algún tipo de complicación en la salud de las personas.

4.2. Comparación de Tableros LVL con otros productos sólidos y reconstituidos

Los gráficos siguientes relacionan los parámetros de calor del cono calorimétrico para distintos materiales de construcción y los 3 tipos de tableros LVL ensayados.

a) Punto de ignición

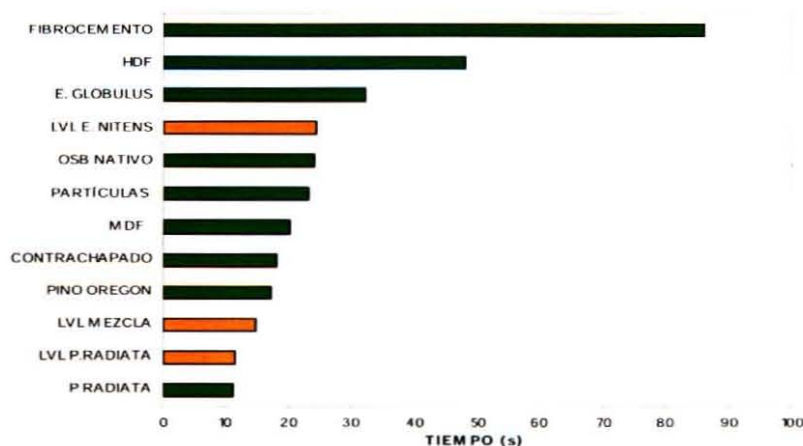


Figura 8: Tiempo para la ignición

El tablero LVL de Eucalipto nitens presenta un interesante tiempo de ignición, superando a la mayoría de los tableros derivados de madera. El tiempo alcanzado por los tres tipos de tableros LVL está dentro del comportamiento habitual de los materiales lignocelulósicos.

b) Tasa de calor liberado (TCL)

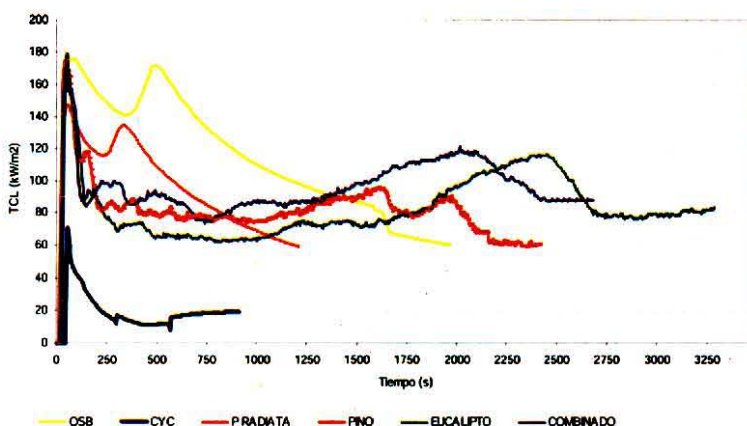


Figura 9: Tasa de calor liberado

La TCL por los materiales presentados en la gráfica muestran un rápido incremento al inicio del ensayo, desarrollando en el caso del tablero OSB elevados peaks.

Los tres tipos de tableros LVL presentan niveles de calor inferiores a los mostrados por la madera sólida de Pino radiata.

La forma de las curvas de los tres tipos de probetas LVL se relaciona estrechamente con el comportamiento de la TPM.

Por su componente inorgánico, el tablero Cartón Yeso Cartón (CYC) presenta el menor nivel de calor liberado entre los materiales ensayados.

5. CONCLUSIONES

- En general, los tableros LVL de P. Radiata, E. Nitens y mezcla entre especies, presentan buenas propiedades de reacción al fuego respecto a los principales parámetros de calor entregados por el cono calorimétrico (tiempo de ignición y tasa de calor liberado).
- No existe diferencia significativa en el tiempo de ignición obtenido entre los tableros LVL y los demás materiales de construcción presentados. Cabe resaltar el alto valor en la ignición del tablero LVL de Eucalipto nitens.
- Los valores promedios obtenidos en la tasa de calor liberado indican que los tableros LVL presentan menores niveles en esta variable que la madera sólida de Pino radiata.
- En general, los tres tipos de tableros LVL no liberan su energía calórica en forma explosiva, lo cual representa en caso de incendio un menor riesgo para los ocupantes del recinto.

- En general, las maderas sólidas y tableros derivados de madera presentan bajos niveles de producción de monóxido de carbono comparados con otros materiales utilizados en la construcción como por ejemplo, los paneles de fibrocemento.
- Los materiales ensayados presentan niveles de CO que no tienen efectos nocivos para las personas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ISO 5660 – 1, Fire tests – Reaction to fire – Rate of heat release from building products, International Organization for Standardisation (1993).
- ISO 9705 - Fire Tests – Full scale room test for surface products, International Organization for Standardisation (1993).
- Östman, Birgit and Tsantaridis, Lazaros. Correlations between Cone Calorimeter Data and Time to Flashover in the Room Fire Test. Swedish Institute for Wood Technology Research, Träteknik Report I 9306024 (1993).

CAPÍTULO VI

CAPACIDAD RESISTENTE A FLEXIÓN DE VIGAS COMPUESTAS

Patricio Cendoya H.¹

1. RESUMEN

La utilización de elementos prefabricados de madera de sección transversal compuesta a partir de la utilización de piezas de LVL (Laminated veneer lumber) y paneles de OSB (Oriented strandboard) formando secciones del tipo doble T (Wood I-Joist) es una alternativa que desde el punto de vista resistente a los esfuerzos de flexión presenta una serie de ventajas con respecto a elementos de madera aserrada de sección transversal rectangular.

Este tipo de vigas concentran las fibras de LVL en los puntos más alejados del eje neutro (superior e inferior), es decir, en donde las tensiones de flexión son máximas. El alma se construye de OSB y tiene como función resistir gran parte de los efectos del cortante transversal.

Ambos elementos se unen rígidamente mediante el uso de adhesivos formando una sección transversal que se caracteriza por:

- a) Requerir menos madera que las vigas de sección transversal sólida y por lo tanto, son más livianas.
- b) Ser dimensionalmente más estables que los elementos de madera aserrada.
- c) Ser más resistentes a flexión, pues se concentran los elementos más resistentes en sus extremos.

¹ Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción

2. DESCRIPCIÓN VIGA COMPUESTA

El presente informe se centra en estudiar el comportamiento a flexión simple, de una viga compuesta LVL-OSB utilizada como elemento resistente a las cargas verticales provenientes de la descarga de un piso en una vivienda. Las características geométricas de la viga compuesta analizada, se resumen en la Figura 1.

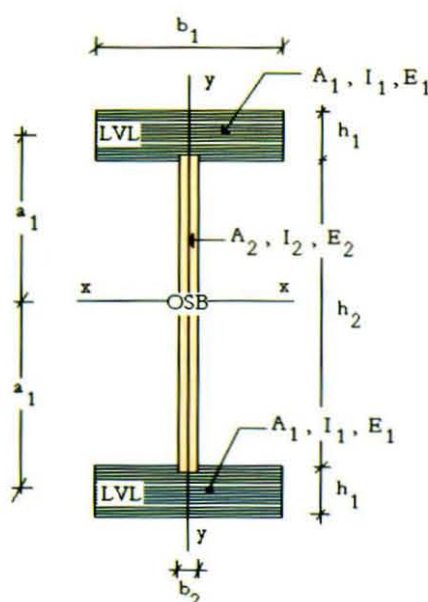


Figura 1. Geometría de la sección transversal doble T.

Las alas se forman a partir de la unión de 15 láminas de madera unidas rígidamente utilizando adhesivo fenolformaldehído de un espesor equivalente a 40 mm, que luego de la contracción por efecto del prensado alcanzan un espesor final de 38 mm (INFOR, 2006).

Las características geométricas de las vigas compuestas a analizar se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones características

Viga in	Altura total ($h_2 + 2 h_1$) in	Ancho ala LVL (b_1) in	Espesor ala LVL (h_1) in	Espesor alma OSB (b_2) in
I 11-7/8	11-7/8	3-1/2	1-1/2	3/8
I 14	14	3-1/2	1-1/2	3/8
I 16	16	3-1/2	1-1/2	3/8

Para cada una de las vigas I 11-7/8", I 14" e I 16" se determinara cual es la separación transversal máxima entre vigas (S) que es posible de especificar para salvar una distancia entre apoyos (L), cuando se emplean alas de LVL fabricadas de Pino radiata, Eucalyptus nitens y combinación de ambos.

Las cargas verticales a considerar corresponden a la combinación de peso propio más sobrecarga en vigas ubicadas en áreas de uso general Nch1537 of. 86. La configuración espacial de las vigas se presenta en las Figuras 2 y 3.

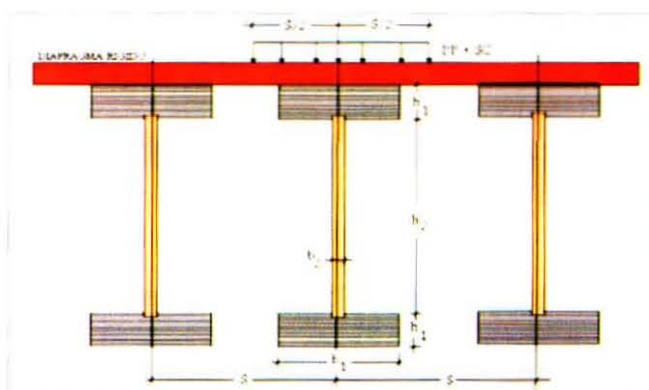


Figura 2. Distribución de vigas compuestas de piso separadas transversalmente a S.

Se supondrá que el canto flexo-comprimido de la viga esta impedido a desplazarse lateralmente en toda su extensión debido a la existencia de un sistema de vigas transversales y cubierta de piso que conforman un diafragma rígido.

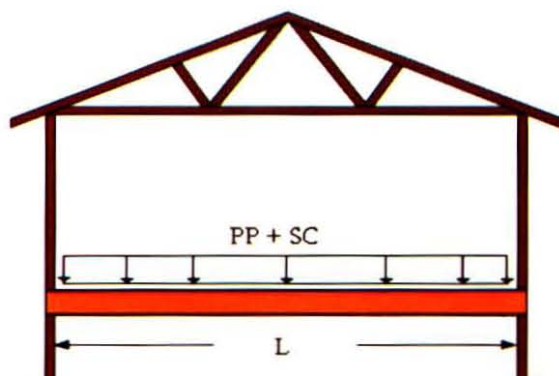


Figura 3. Disposición longitudinal de viga de luz L.

3. ECUACIONES TEÓRICAS DE DISEÑO

Para estimar las tensiones por flexión sobre una sección transversal de una viga compuesta de dos materiales diferentes LVL (alas) y OSB (alma) se utilizara el concepto de sección transformada. La sección compuesta LVL-OSB se transforma en una sección doble T equivalente de LVL, en donde, el módulo de elasticidad (MOE) del LVL se utiliza como valor de referencia para la transformación del espesor del alma de OSB, tal como se indica en la Figura 4.

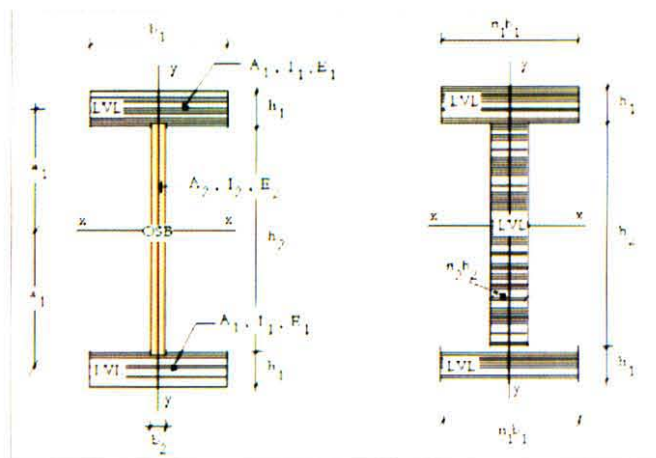


Figura 4. Sección real LVL-OSB y transformada de LVL

El tipo de conexión entre el ala (LVL) y alma (OSB) es continuo y se realiza encolando ambas superficies de contacto generando una unión rígida que evita el deslizamiento entre el alma y el ala y simplifica el cálculo tensional.

La norma NCh1198 propone ecuaciones para la verificación tensional de piezas flexionadas de sección transversal compuesta con uniones del tipo flexible (clavos, pernos, etc), por lo tanto en la utilización de dichas ecuaciones en la evaluación estructural del elemento compuesto LVL-OSB, se deberá considerar el efecto que introduce la ligazón rígida entre el ala y el alma.

Las tensiones y las deformaciones se evaluarán de acuerdo con:

Tensiones normales en las fibras extremas de la sección:

$$f_{f,i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i \cdot \frac{A_i}{A_{in}} + \frac{h_i}{2} \cdot \frac{I_i}{I_{in}} \right) \cdot n_i \cdot 10^6 \quad (1)$$

con $i = 1, 2$ y 3 (ala, alma, ala respectivamente).

Deformaciones longitudinales:

En el centro del vano, la deformación máxima debida a una carga uniformemente distribuida es:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E_R \cdot I_{ef}} + \frac{1.2 \cdot M_{M\acute{A}X}}{G_R \cdot A_{ef}} \quad (2)$$

En las relaciones anteriores:

$f_{f,i}$ = tensión de trabajo en flexión, en el borde de las piezas individuales (alas o alma), expresada en megapascal (MPa).

$I_i = I_{in}$ = momento de inercia de la sección transversal individual no debilitada y debilitada respectivamente.

$A_i = A_{in}$ = sección transversal individual no debilitada y debilitada respectivamente

El momento de inercia eficaz I_{ef} de la sección transformada de LVL de acuerdo con la figura 5, se estima de acuerdo con:

$$I_{ef} = \frac{1}{12} \cdot n_1 \cdot b_1 \cdot h_1^3 + \gamma_1 \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \frac{1}{12} \cdot n_2 \cdot b_2 \cdot h_2^3 + \gamma_2 \cdot n_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2 + \frac{1}{12} \cdot n_3 \cdot b_3 \cdot h_3^3 + \gamma_3 \cdot n_3 \cdot A_3 \cdot a_3^2 \quad (3)$$

En donde por las condiciones de simetría de las alas se tiene, $n_1 = n_3 = \frac{E_1}{E_R} = \frac{E_3}{E_R}$ y

$n_2 = \frac{E_2}{E_R}$ ($E_R = E_1 = E_3 = E_{LVL}$ y $E_2 = E_{OSB} = 6300$ MPa para tableros de 3/8 in de espesor), $a_1 = a_3$, $a_2 = 0$, $b_1 = b_3$ y $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 1$ para unión encolada alma-ala.

Luego:

$$I_{ef} = \frac{1}{6} \cdot b_1 \cdot h_1^3 + 2 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \frac{1}{12} \cdot n_2 \cdot b_2 \cdot h_2^3 \quad (4)$$

La determinación de las tensiones de diseño para cada uno de los tableros de LVL utilizados en la fabricación de las alas (Tabla 2), se basa en los valores propuestos por INFOR en su informe técnico (INFOR, 2006).

Tabla 2. Tensiones de diseño LVL de Pino radiata

Ítem	Flexión $F_{f,dis}$ (MPa)	MOE E_r (MPa)	Observación
Tensión Admisible	18,06	8.909	Pino Radiata
K_H	0,999	0,999	Humedad de equilibrio H=17%
K_D	0,977	-	Duración de carga (20 años)
K_C	1,15	-	Trabajo conjunto
Tensión de Diseño	20,27	8.901	

Tabla 3. Tensiones de diseño LVL de Eucalyptus nitens

Ítem	Flexión $F_{f,dis}$ (MPa)	MOE E_r (MPa)	Observación
Tensión Admisible	31,88	10.790	Eucalyptus nitens
K_H	0,999	0,999	Humedad de equilibrio H=17%
K_D	0,977	-	Duración de carga (20 años)
K_C	1,15	-	Trabajo conjunto
Tensión de Diseño	35,78	10.779	

Tabla 4. Tensiones de diseño en LVL fabricado como combinación de Pino radiata y Eucalyptus nitens

Ítem	Flexión $F_{f,dis}$ (MPa)	MOE E_r (MPa)	Observación
Tensión Admisible	23,63	9.474	Combinado
K_H	0,999	0,999	Humedad de equilibrio H=17%
K_D	0,977	-	Duración de carga (20 años)
K_C	1,15	-	Trabajo conjunto
Tensión de Diseño	26,52	9.465	

Se deberá verificar que las tensiones de trabajo f_f no sobrepasen a las respectivas tensiones de diseño definidas en las tablas 2, 3 y 4.

$$\frac{f_f}{F_{f,dis}} \leq 1 \quad (5)$$

Las deformaciones deberán satisfacer:

$$\Delta_{PP+SC} \leq \frac{L}{300} \quad (6)$$

$$\Delta_{SC} \leq \frac{L}{360} \quad (7)$$

En donde:

L es la luz del vano a salvar y Δ es la respectiva deformación longitudinal máxima debida a la acción de las cargas externas y calculada con la ecuación (2).

4. VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo estructural, en donde, se verifica el comportamiento a la flexión de las vigas compuestas definidas en la tabla 1 considerando alas fabricadas con LVL de Pino radiata y de Eucalyptus nitens.

Luz a salvar: 6 m

Condiciones de apoyo: Simple apoyo

Estado de carga: PP+SC = 250 kg/m²

Caso 1:

Material alas: LVL Pino radiata espesor 38 mm ($E_1 = 8901$ MPa, $G_1 = 0.075 \cdot E_1$)

Material alma: OSB espesor 9.5 mm ($E_2 = 6300$ MPa)

Tabla 5. Propiedades inerciales y de área sobre secciones transformadas LVL Pino

Viga	Inercia eficaz (cm ⁴)	Area eficaz (cm ²)
I 11-7/8"	12.456	82,60
I 14"	18.340	86,30
I 16"	25.049	90,03

$$\text{Radiata } n_2 = \frac{E_2}{E_1} = 0.71$$

Los resultados obtenidos considerando diferentes separaciones (S) para las vigas compuestas se resumen en las tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 11-7/8"

Separación S (cm)	M _{máx} (T-m)	f _r (MPa)	Δ _{SC} (cm)	Δ _{PP+SC} (cm)
30	0,34	4,10	0,97	1,21
40	0,45	5,43	1,30	1,61
50	0,56	6,76	1,61	2,01
60	0,68	8,21	1,94	2,42

Tabla 7. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 14"

Separación S (cm)	M _{máx} (T-m)	f _r (MPa)	Δ _{SC} (cm)	Δ _{PP+SC} (cm)
30	0,34	3,27	0,68	0,84
40	0,45	4,36	0,84	1,13
50	0,56	5,45	1,13	1,41
60	0,68	6,60	1,35	1,68

Tabla 8. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 16".

Separación S (cm)	$M_{\max}$ (T-m)	f_f (MPa)	Δ_{SC} (cm)	Δ_{PP+SC} (cm)
30	0,34	2,76	0,51	0,63
40	0,45	3,65	0,67	0,85
50	0,56	4,54	0,85	1,06
60	0,68	5,52	1,02	1,27

En las Figuras 5, 6 y 7, se presenta la comparación de los desplazamientos longitudinales y de las tensiones normales con respecto a los valores admisibles definidos en Nch1198.

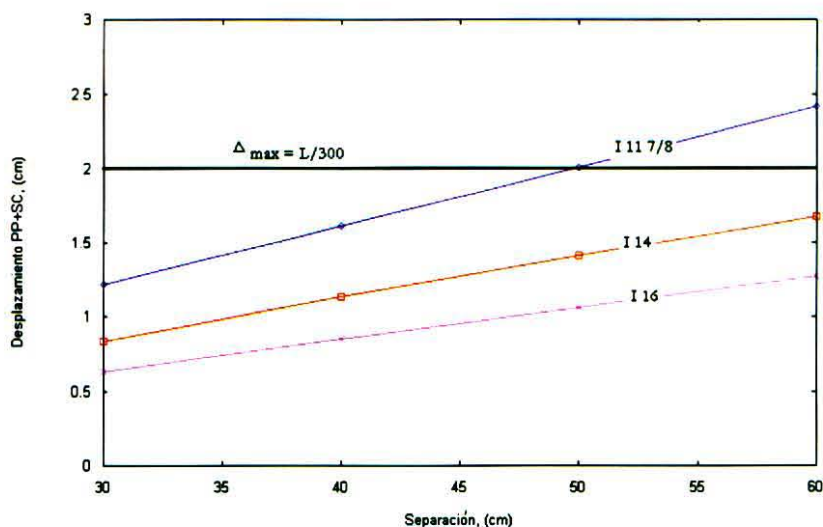


Figura 5. Nivel de deformaciones $\Delta_{\max}$ para PP+SC, sección transformada LVL Pino radiata.

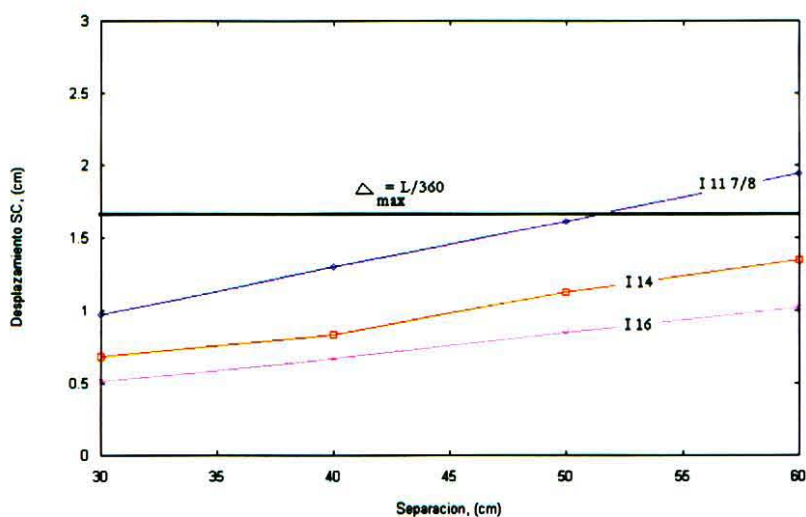


Figura 6. Nivel de deformaciones $\Delta_{\max}$ para SC, sección transformada LVL Pino radiata.

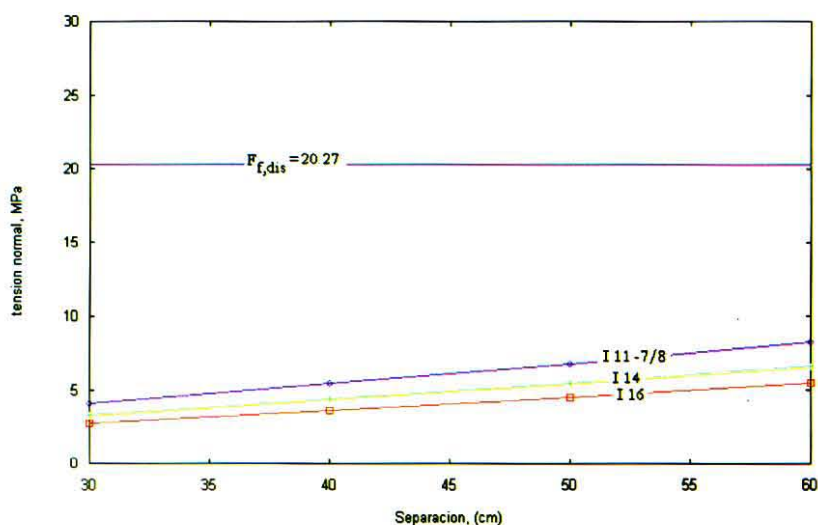


Figura 7. Tensiones normales en las fibras extremas sección transformada LVL Pino radiata.

Se concluye que las vigas compuestas de Pino radiata en general no presentan problemas de resistencia, pues las tensiones de trabajo son menores a las tensiones de diseño definidas en la tabla 2. Sin embargo, lo anterior no es válido cuando se analizan las deformaciones longitudinales, encontrándose tal como se señala en las figuras 6 y 7 que los valores de deformaciones límites se exceden cuando se utilizan separaciones S mayores a 50 cm. El resultado anterior lleva a preguntarse si esta tendencia es reversible cuando se consideran vigas con alas de LVL de Eucalyptus nitens.

Caso 2:

Material alas: LVL Eucalyptus nitens espesor 38 mm ($E_1 = 10.779$ MPa, $G_1 = 0.075 \cdot E_1$)

Material alma: OSB espesor 9.5 mm ($E_2 = 6300$ MPa)

Tabla 9. Propiedades inerciales y de área sobre secciones transformadas LVL

Viga	Inercia eficaz (cm ⁴)	Área eficaz (cm ²)
I 11-7/8"	12.347	80,02
I 14"	18.121	82,94
I 16"	24.658	85,74

$$\text{Eucalyptus n. } n_2 = \frac{E_2}{E_1} = 0.58.$$

Tabla 10. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 11-7/8" ala de *Eucalyptus nitens*

Separación S (cm)	M _{máx} (T-m)	f _r (MPa)	Δ _{SC} (cm)	Δ _{PP+SC} (cm)
30	0,34	4,20	0,81	1,01
40	0,45	5,50	1,08	1,35
50	0,56	6,84	1,35	1,68
60	0,68	8,30	1,62	2,03

Tabla 11. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 14" ala de *Eucalyptus nitens*

Separación S (cm)	M _{máx} (T-m)	f _r (MPa)	Δ _{SC} (cm)	Δ _{PP+SC} (cm)
30	0,34	3,34	0,57	0,71
40	0,45	4,40	0,75	0,94
50	0,56	5,50	0,94	1,18
60	0,68	6,67	1,13	1,42

Tabla 12. Tensiones y deformaciones de trabajo para viga I 16" ala de *Eucalyptus nitens*.

Separación S (cm)	M _{máx} (T-m)	f _r (MPa)	Δ _{SC} (cm)	Δ _{PP+SC} (cm)
30	0,34	2,80	0,43	0,54
40	0,45	3,71	0,57	0,71
50	0,56	4,61	0,71	0,89
60	0,68	5,60	0,86	1,07

En este caso la rigidez flexional proporcionada por las alas de LVL de *Eucalyptus* permite disminuir las deformaciones longitudinales con respecto a la solución con alas de LVL de *Pino radiata*, ver figuras 9 y 10. Esta disminución en las deformaciones longitudinales se debe principalmente al mayor módulo de elasticidad (MOE) que presentan las alas de LVL de *Eucalyptus nitens* (INFOR, 2006).

Se observa que las razones de altura vs. luz del vano para las vigas compuestas I 11-7/8", I 14" e I 16" son respectivamente $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{17}$, $\frac{1}{15}$, valores cercanos a los indicados en la literatura (Leichti, 1990) para este tipo de elementos.

Sin embargo, los ábacos de diseño entregados por diferentes fabricantes (Louisiana-Pacific Corporation por ejemplo) señalan que es posible salvar mayores luces con este tipo de elementos, ver Tabla 13 (extracto de ábaco entregado por LP I-Joist para LPI 42).

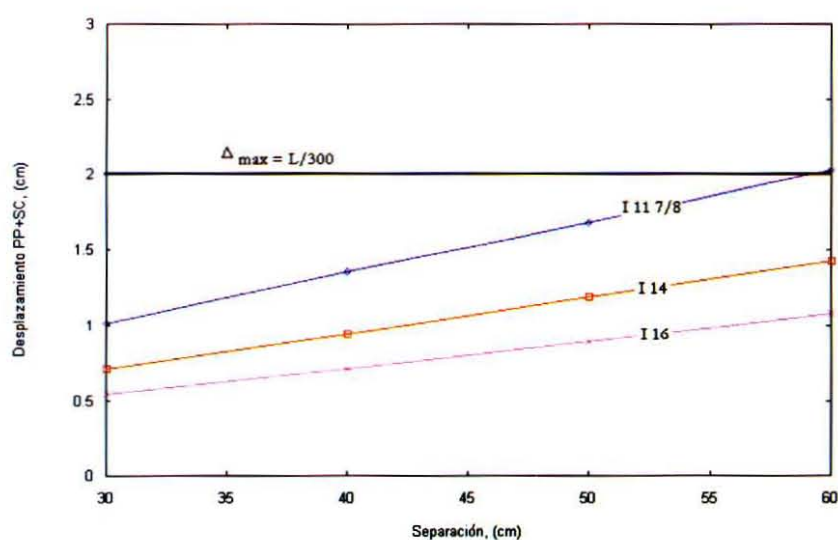


Figura 8. Nivel de deformaciones Δ_{max} para PP+SC, sección transformada LVL de Eucalyptus.

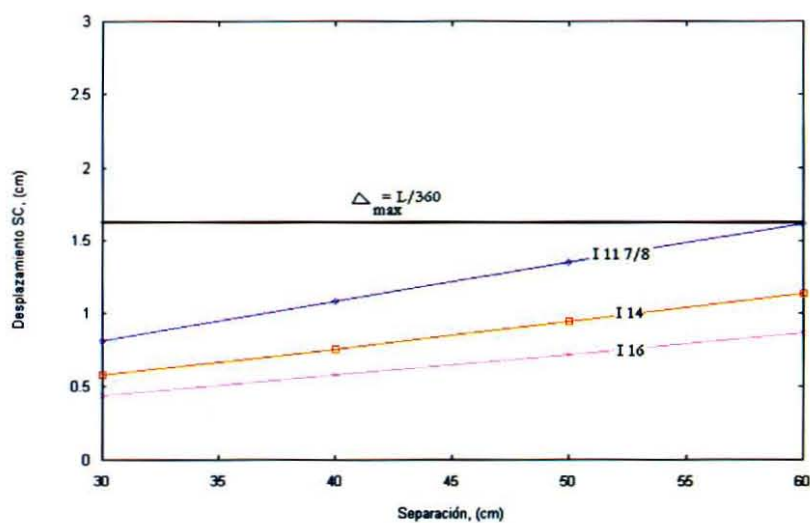


Figura 9. Nivel de deformaciones Δ_{max} para SC, sección transformada LVL de Eucalyptus.

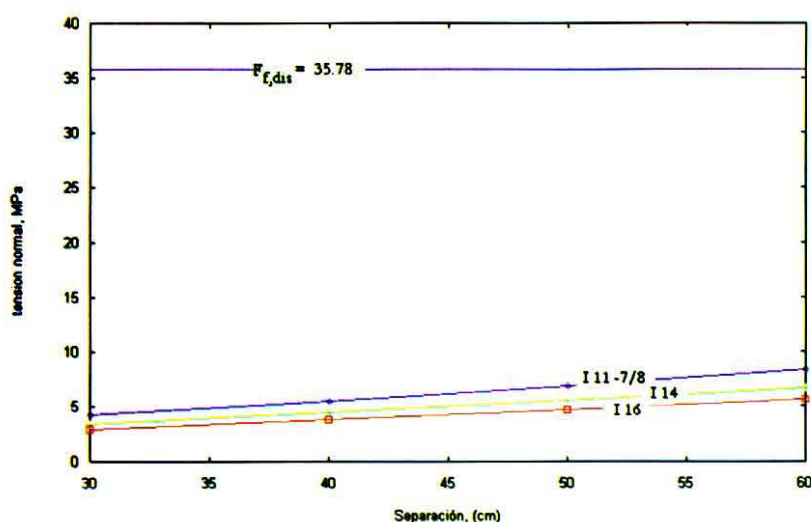


Figura 10. Tensiones normales en las fibras extremas, sección transformada LVL de Eucalyptus.

Tabla 13. Extracto de ábaco de diseño de vigas LP42 en función de la separación transversal (S) de las vigas y su altura, considerando como limitación una deformación máxima por sobrecarga (200 kg/m^2) de L/360

Altura	Viga serie	L/360			
		30	40	50	60
I 11-7/8	LPI 42	8,00	7,50	7,00	6,50
I 14	LPI 42	9,00	8,50	8,00	7,50
I 16	LPI 42	10,00	9,50	9,00	7,50

Lo Tabla 13 define que para una luz libre de 7,50 m y una separación entre vigas de 40 cm es posible utilizar una viga I 11-7/8" sin exceder la deformación límite por sobrecarga de L/360.

Realizando la verificación estructural para esta sección y considerando las características geométricas definidas en la tabla 9, se tiene:

Sobrecarga uniformemente distribuida $\left(\frac{T}{m}\right) : 0.20 \cdot 0.40 = 0.08$

Carga total uniformemente distribuida $\left(\frac{T}{m}\right) : 0.25 \cdot 0.40 = 0.10$

Momento flector máximo SC $(T - m) : \frac{1}{8} \cdot (0.08) \cdot 7.5^2 = 0.56$

Momento flector máximo PP + SC $(T - m) : \frac{1}{8} \cdot (0.10) \cdot 7.5^2 = 0.70$

Verificación de tensiones normales en fibras extremas:

$$f_r = \frac{0.70 \cdot 1000 \cdot 100}{\left(\frac{12347}{15.08} \right)} = 70.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 7.03 \text{ MPa} < 35.78 \text{ MPa} \Rightarrow \text{OK}$$

Verificación de deformaciones en el centro del vano para SC:

$$\Delta_{sc} (\text{cm}) = \frac{5 \cdot 0.8 \cdot 750^4}{384 \cdot 107790 \cdot 12347} + \frac{1.2 \cdot 0.56 \cdot 1000 \cdot 100}{8084 \cdot 80.02} = 2.5 > \frac{750}{360} = 2.1 \Rightarrow \text{NO}$$

Verificación de deformaciones en el centro del vano para PP+SC:

$$\Delta_{PP+SC} (\text{cm}) = \frac{5 \cdot 1.0 \cdot 750^4}{384 \cdot 107790 \cdot 12347} + \frac{1.2 \cdot 0.70 \cdot 1000 \cdot 100}{8084 \cdot 80.02} = 3.2 > \frac{750}{300} = 2.5 \Rightarrow \text{NO}$$

Luego se verifica que las deformaciones longitudinales no cumplen en este caso (S=40 cm) con los valores máximos admisibles.

Para satisfacer la condición de servicialidad, la flecha Δ puede ser expresada en función de la separación de la viga S e igualada a la deformación admisible:

$$\Delta_{sc} = 0.0646 \cdot S \leq 2.1 \Rightarrow S \leq 32.5 \text{ cm}$$

$$\Delta_{PP+SC} = 0.0806 \cdot S \leq 2.5 \Rightarrow S \leq 31.0 \text{ cm}$$

Se concluye que la separación máxima entre vigas debe ser S = 30 cm, para satisfacer los requisitos de servicialidad impuestos por las deformaciones longitudinales, tanto por las cargas totales como por la sobrecarga.

Lo anterior deja de manifiesto que no se cumplen los valores propuestos en la Tabla 13, sin embargo, se debe tener presente que la rigidez flexional en las vigas LP42 (Louisiana-Pacific Corporation) toman en cuenta el trabajo en conjunto del piso con la viga y las características mecánicas del LVL empleado en su fabricación, no corresponde a los utilizados en el presente trabajo que son de origen nacional (Pino radita, Eucalyptus nitens y combinado). Por lo anterior, es difícil llegar a los mismos valores dadas las diferencias tanto en la inercia como en el MOE.

5. CONSTRUCCIÓN DE ÁBACOS DE DISEÑO

Con el fin de obtener información útil para el diseño de este tipo elementos, se procederá a construir ábacos considerando la utilización de alas de LVL de Pino radiata, Eucalyptus nitens y combinación de ambos.

Considerando que el diseño queda controlado por las condiciones de servicialidad, es posible definir para una carga de servicio $PP+SC = 250 \text{ kg/m}^2$ cual es la separación máxima entre vigas (S) para una determinada luz libre a salvar (L), ver Figuras 11,12 y 13.

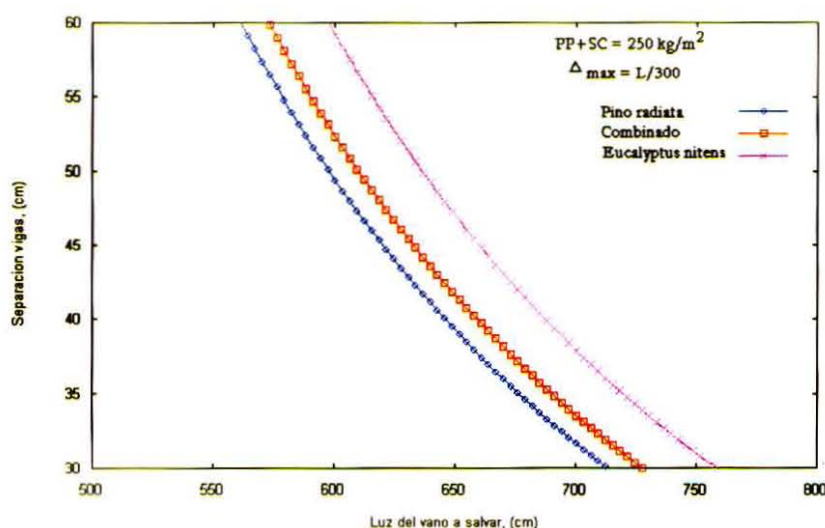


Figura 11. Ábaco de diseño viga compuesta I 11-7/8" alas LVL Pino radiata, Eucalyptus nitens y combinado.

La Figura 11, muestra que para poder salvar una luz libre de 6.50 m con una viga I 11-7/8" (30 cm de altura), es necesario utilizar una separación máxima teórica de 38 cm cuando se emplea una viga compuesta con alas de LVL de Pino radiata, 42 cm cuando se trata de una viga con alas de LVL combinado y 47 cm cuando se utilizan alas de LVL de Eucalyptus nitens. La Figura 12, indica que al cambiar la viga a I 14" (35 cm), es posible utilizar para la misma luz libre de 6.50 m mayores separaciones transversales del orden de 55 y 60 cm para el Pino radiata y combinado respectivamente.

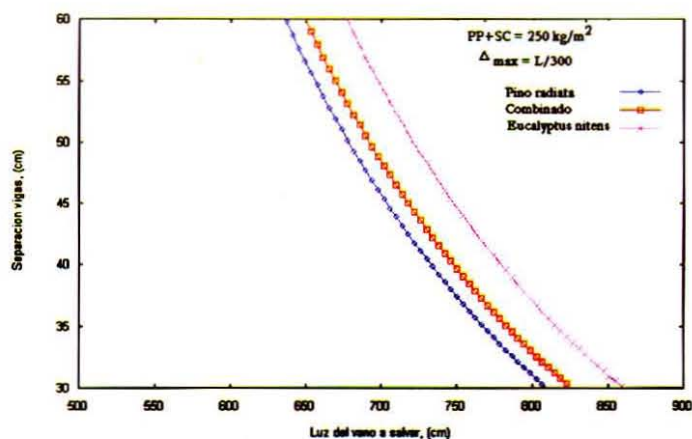


Figura 12. Ábaco de diseño viga compuesta I 14" alas LVL Pino radiata, Eucalyptus nitens y combinado.

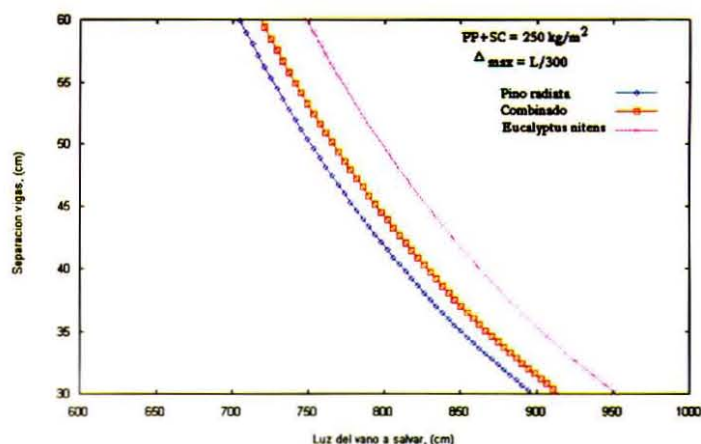


Figura 13. Ábaco de diseño viga compuesta I 16" alas LVL Pino radiata, Eucalyptus nitens y combinado.

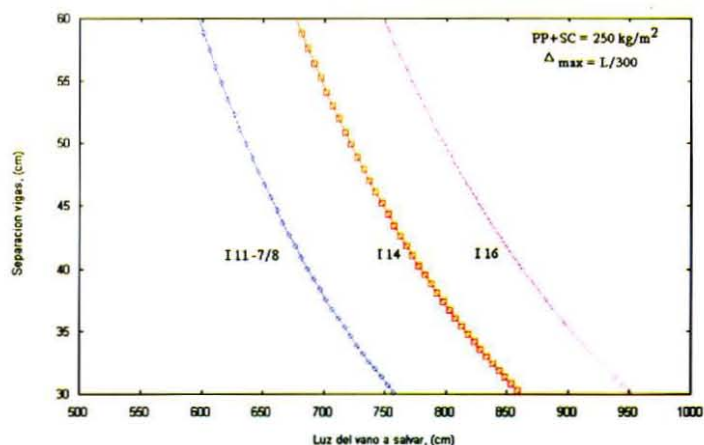


Figura 14. Ábaco de diseño para vigas compuestas con alas de LVL de Eucalyptus.

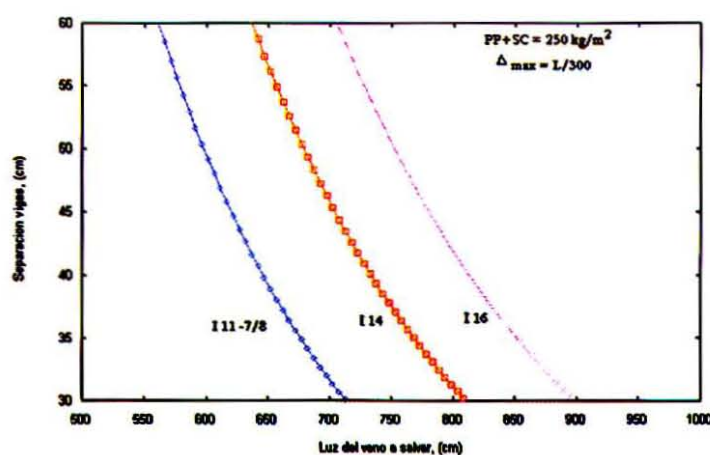


Figura 15. Ábaco de diseño para vigas compuestas con alas de LVL de Pino radiata.

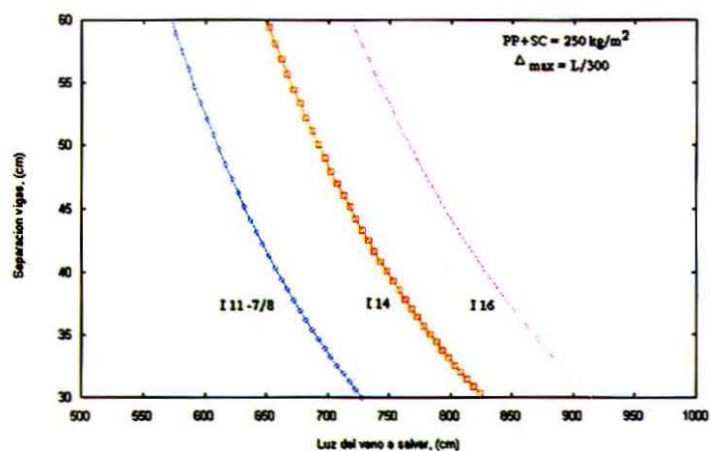


Figura 16. Ábaco de diseño para vigas compuestas con alas de LVL combinado.

Las Figuras 14, 15 y 16 indican que a medida que se aumenta la altura del elemento es posible aumentar la separación transversal de las vigas, manteniendo las condiciones de servicialidad del elemento bajo los valores admisibles indicados por la norma NCh1198.

6. CONCLUSIONES

De los análisis anteriores, se concluye que el diseño de vigas compuestas de LVL-OSB queda controlado por la condiciones de servicialidad y no por las condiciones de resistencia a la flexión. Se observa y se señala en el informe las diferencias existentes en la estimación de las luces máximas a salvar con respecto a valores indicados para vigas de la serie LP 42 de fabricación Norteamérica (Louisiana-Pacific Corporation).

Esta diferencia radica en la estimación de la rigidez flexional (EI), parámetro que influye en el desarrollo de las deformaciones longitudinales. En el caso particular de la presente investigación se considero la inercia flexional teórica únicamente de la sección transformada de la viga de LVL despreciando el aporte que entrega la colaboración del piso sobre la rigidez flexional y se considero el módulo de elasticidad corresponde al de los LVL de fabricación nacional.

Con relación a la capacidad resistente a la flexión en todos los casos estudiados las tensiones de trabajo son inferiores a las tensiones admisibles respectivas, lo cual indica que desde el punto de vista resistente a flexión este tipo de elementos no presenta problemas para los niveles de carga estudiados.

Queda aún por estudiar y comprender los mecanismos asociados (Leichti, 1990) al posible pandeo del alma, la influencia del tipo de unión ala-alma, las deformaciones a largo plazo, las perforaciones del alma, etc.

Finalmente el presente estudio preliminar demuestra que el empleo de este tipo de elementos compuestos es una alternativa técnicamente factible para la utilización en la construcción de pisos en viviendas, dadas sus propiedades y características resistentes a la flexión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- INFOR (2006). LVL: Desarrollo tecnológico de un producto de ingeniería en madera orientado al mercado de la construcción, proveniente de la utilización de trozas de Pino radiata y Eucalyptus nitens.
- Leichti. R. (1990). Prefabricated wood composite I-beams: a literature review. Wood and fiber Science, 2(1), pp. 62-79.
- LP I-Joist (2005). LPI 42 Product Overview. Floor & Roof Applications. Louisiana-Pacific Corporation.
- NCh 1537. Diseño Estructural de Edificios. Cargas Permanentes y Sobrecargas de uso. Santiago, Chile, 1986.
- NCh 1198.cR2004. Madera-Construcciones en Madera-Cálculo.

CAPÍTULO VII

LVL FACTORY PRE-FEASIBILITY STUDY

RWS – Engineering OY

1. SUMMARY

The total LVL consumption has been growing rapidly, unlike that of many other wood products. At present the global volume is about 4 million m³/a. During the last ten years the average annual growth has been about 15 %.

There are two main types of LVL, structural and non-structural. Non-structural LVL is produced and used mainly in Asia. The biggest volume of structural LVL is consumed in North America, about 2.6 million m³/a. Other structural LVL consuming areas are in Australia and in some European countries, both with an approximate volume of 0.15 million m³/a. The use of the structural LVL is growing now also in Japan.

The average structural LVL prices have been around 600 USD/ m³ in the recent years in North America. One main factor determining the price of LVL is its strength class. A higher strength means a higher price.

The structural LVL is mainly made of softwood veneers. In North America only 5% of all LVL is made of hardwoods, in Europe and Oceania all LVL is made of softwoods. Also hardwoods are commonly used in the Asian LVL production, but there the majority of the production is non-structural LVL.

It is common that veneer for LVL is graded according to its strength and only the strongest grades used for LVL. The rest is used for plywood. In North America the declining volume of softwood plywood has caused some companies to concentrate more on the production of veneer for LVL.

The availability of softwood for LVL should not be problematic in Europe and Oceania. The raw material situation is more complicated for the Asian production. Anyhow, the LVL production volume is still very small compared to the general log consumption in any area. According to a special test made with the Chilean radiata pine and eucalyptus nitens the LVL did not fulfil the strictest strength requirements. By selecting and grading the raw material more carefully suitable LVL for the lower segment of the North American structural LVL markets can be made. However, producing a full range of LVL products including medium and high strength classes, as made by the present suppliers, will require further product development and testing.

The technical and economical evaluations here are based on the idea, that a new project would be set up using dry veneer as its raw material. Suitable veneer would be bought from other companies. The veneer size defines the optimal technical solutions and the final production capacity. In this case the veneer size is chosen to be 8 x 4 ft.

The normal LVL technology can well be used with radiata pine veneers. The situation with eucalyptus nitens veneers is the same, but only if the veneers are of good quality e.g they must stay in one piece during the processing.

Cycle pressing was chosen as the defining production technology. Here the press is assumed to be 24 m long and have three openings. The production capacity with this equipment is about 60,000 m³/a, when the line is run 330 days per year, 24 hours per day.

Any length of LVL can be made with cycle pressing. In this case the maximum length is set to 18 m. The plant would make LVL billets with a thickness of 15...90 mm, width of 1,200 mm and any length up to 18,000 mm and cut to the final LVL products from these according to orders.

The raw material recovery would be slightly over 80 % with good quality veneer sheets. The plant would employ directly about 85 persons.

This kind of project is estimated to require a total fixed capital of 31 million USD. With an average sales price of 550 USD/m³, CIF USA, the annual turnover would be 28 million USD. The project would be profitable with a pay-back period of 6 years, IRR of 17 %, NPV of 7 million USD and a profit before taxes 6 % from the net sales (in the 5th year).

2. OBJECTIVES & SCOPE

The objective of this study is to clarify tentatively the technical and economical possibilities of utilizing Chilean softwood and hardwood raw materials for making high quality structural LVL products. The main market area for the products is thought to be North America.

The evaluation of the technical properties of LVL made of radiata pine and eucalyptus nitens is based on a test series made especially for this project in Chile. In these tests LVL was made of pure pine and pure eucalyptus and of a combination of these two raw materials.

The technical and economical analyses are based on the assumption that the raw material is bought as sorted dry veneer sheets. This is a common solution in the LVL industry as it is usual that only the strongest veneers are used for making LVL.

The ultimate objective is to prepare a reliable document about the opportunities and benefits which LVL business could offer to a company utilizing Chilean wood raw materials.

The report comprises the following main parts:

General LVL market information

LVL raw material analysis consisting of a description of commonly used wood species by main producing countries and a description of the results from the LVL tests made for this study.

- Description of a suitable technology for the planned LVL products including a tentative mill lay-out.
- Estimates for investment and production costs based on the chosen production capacity.
- Tentative profitability calculation showing the most important profitability indicators.

3. MARKET INFORMATION

The global consumption of LVL has been growing fast. Twenty years ago the total production was about 0.3 million m³/a, in 1995 it surpassed 1 million m³/a, and in 2005 it reached 4 million m³/a. However, LVL is not produced, or consumed evenly in all parts of the world.

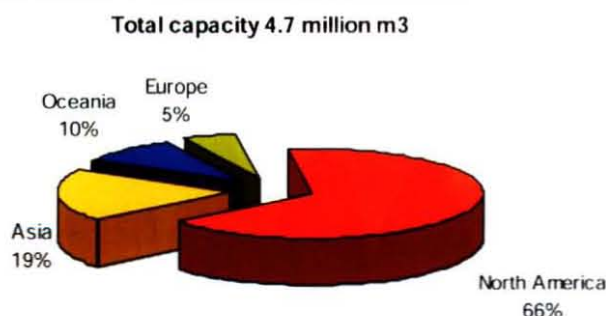


Figure 1. LVL production capacity in 2005.

The LVL consumption has grown rapidly in North America, Australia and Japan and to a lesser degree in Europe. China has increased the production very rapidly in the last years. There is notable LVL production also in New Zealand.

LVL is generally divided into two groups according to its end-use:

- Structural LVL
- Non-structural LVL

When used in structural applications, LVL must fulfill published strength values and the requirements of specific building codes and standards which vary from country to country. Typical end uses of structural LVL include load-bearing components in buildings. It is widely used also in wooden I-beam flanges.

Non-structural LVL is used for instance in window and door frames, stairs and furniture components. This type of LVL can have aesthetic requirements in which case the selection of face veneers is done according to their visual aspects.

LVL's success is based largely on the way it is made e.g. by gluing veneer sheets into long and wide LVL billets, which are then sawn to desired dimensions. In this way relatively small-diameter timber can be used to make lumber in big dimensions, the length is in many cases restricted only by the transport possibilities (for instance 12 to 24 m) and the width of the billet is typically 4 or 6 feet. The process distributes also effectively the natural strength reducing defects, such as knots along the LVL billet. So the LVL products can have higher strength values than sawn timber made from the same raw material.

The structural LVL dominates the market in North America. Only 4...5% of the total consumption is of the non-structural grades.

Japan has been the biggest consumption area of LVL in Asia. The consumption has been based mainly on the non-structural grades there. The share of non-structural LVL was 77% at the end of the 1990's in Japan. Since the year 2000 the use of structural LVL has increased rapidly as the result of changed legislation, which favors replacing solid sawn timber by engineered wood products. In the other parts of Asia the consumption of LVL is almost totally in the non-structural side.

In Oceania and Europe the consumption is similar to North America. Very little non-structural LVL is used.

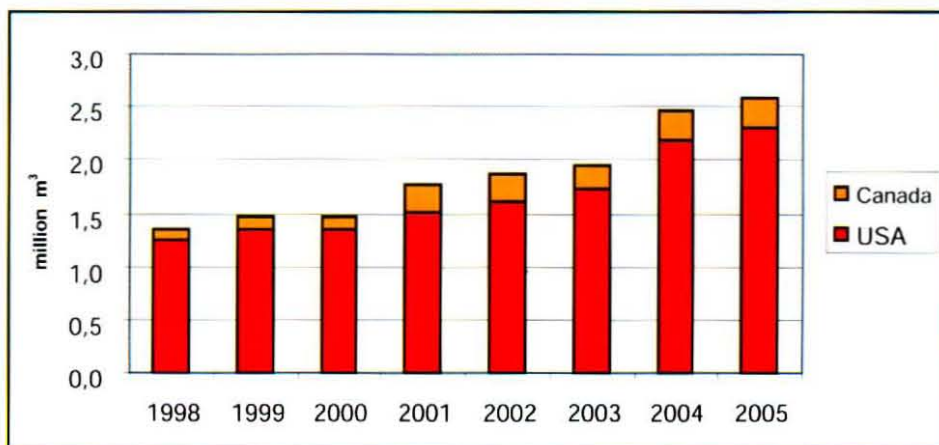


Figure 2. Production volumes of LVL in North America.

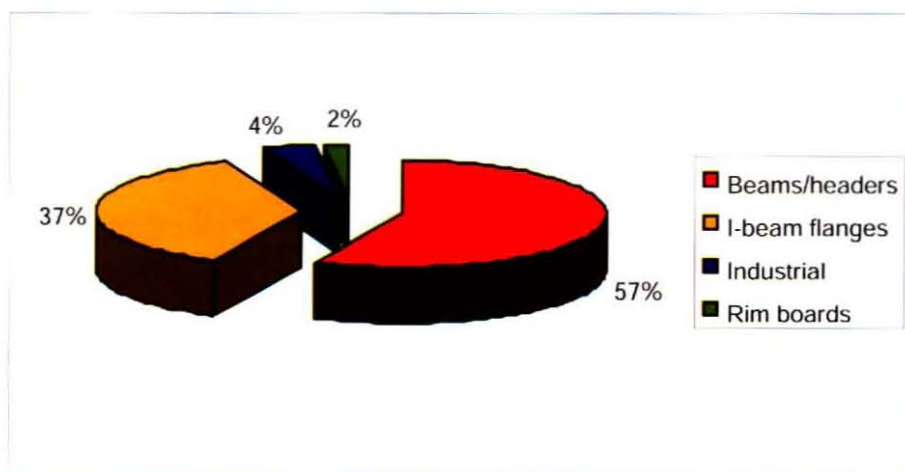


Figure 3. End-uses of LVL in North America, 2004.

Earlier the consumption of LVL followed closely the increase in the I-beam consumption in North America. Recently this connection has become less important. In the last five years the consumption in I-beams rose by 27 %, while LVL consumption in the other end-use sectors rose by 64 %.

Two main reasons for this change are found within the I-beam business. I-beams have already reached nearly 50 % market share in raised wood floors (new residential floors took

a 77 % share from all I-beam consumption in 2004). Recently stress graded dimension lumber has found more and more use in the production of the I-beam flanges.

LVL industry is trying to find new end-uses for the products. For instance vertical framing applications could mean a significant increase in the total consumption. This kind of product has been an important part of the European production for some time.

The LVL billets are produced in various thicknesses. In north America these include commonly 1" and 1¼" for rim boards, 1 3/8" and 1½" for wood I-joist flanges and 1½", 1¾", 3½" and 5¼" for headers and beams. The most used depths are 9½" and 11 7/8". The biggest challenge for a newcomer in the business is to arrange the distribution of the products up to the end users, the correct sizes and numbers along with the required documentation.

The prices of LVL depend on the specifications. In North America the most commonly used reference is the MOE value (modulus of elasticity in bending). A higher MOE grade means a higher price. Naturally the demand and supply balance reflects rapidly in the price levels.

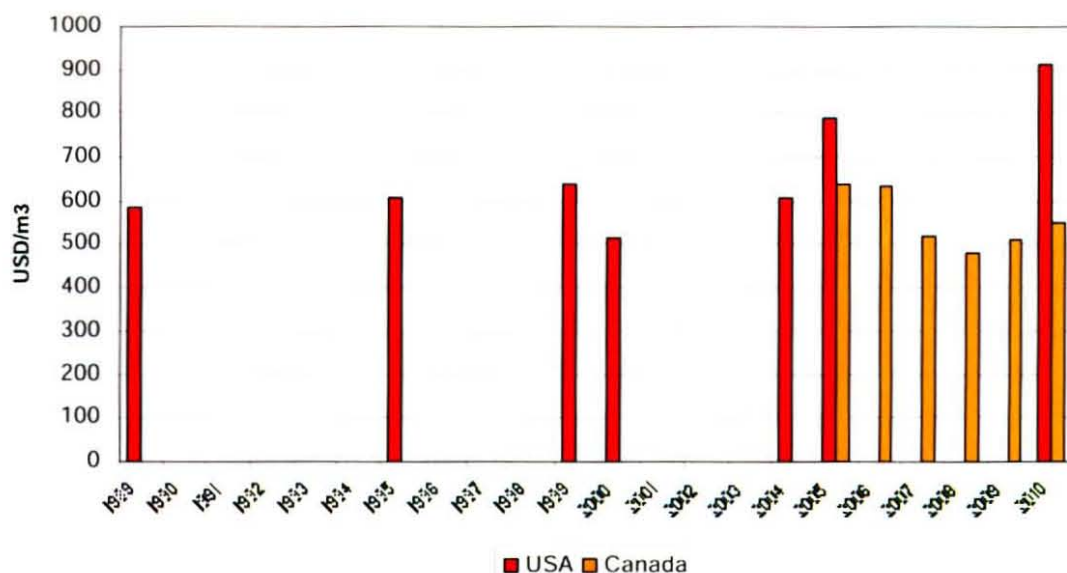


Figure 4. LVL prices in North America for medium strength classes and price projections up to 2010 (sources: Leonard Guss Associates, Inc., October 2005, RISI, April 2006)

The two forecasts in the figure 4 reflect different ideas of the future demand of LVL. In the last two years the demand/capacity ratio has been only 0.84 even though the building activity has been on a record level. Housing starts and generally the use of engineered wood products are predicted to start dropping already in the second half of this year. If LVL cannot find notable new applications the capacity utilization rate will drop and cause pressure on the prices. On the other hand, if new applications start consuming notable volumes, the scarcity of suitable veneer can start pushing the prices up.

4. RAW MATERIAL ANALYSIS

4.1 General raw materials for structural LVL

4.1.1 North America

The LVL production uses the same raw materials as the local plywood industry in North America. About 95 % of the raw material is coniferous. The most common wood species are:

- Douglas fir
- Southern yellow pine
- Lodgepole pine
- Western hemlock
- Firs
- Larch
- Yellow poplar
- Aspen
- Birch

It is typical that the LVL plants are not using all veneers that are peeled from a log. Dry veneers are classified according to their strength and the lowest qualities are used to make sheathing and sanded grade plywood, while the strongest are used for LVL.

The rapid growth of LVL has been influenced by concerns about the availability of suitable sawn timber in North America. The availability of logs from old growth forests was dramatically reduced by environmental pressure in the 1990's. The emphasis of structural plywood has moved from the Pacific north west to the southern states. In the latter part of the previous decade the prices of the southern pine logs reached and surpassed the log prices in the Pacific north west.

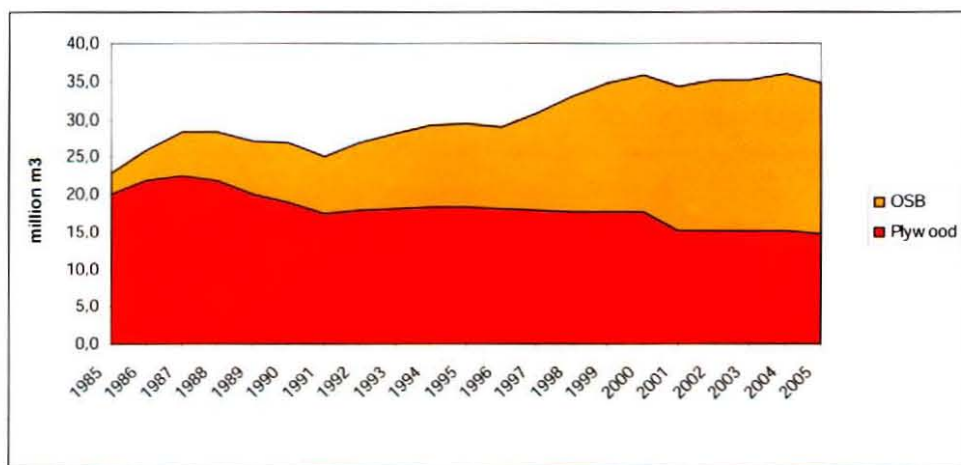


Figure 5. Development of structural panel production in North America.

The declining plywood production has had some important effects on the LVL production. Some veneer producers have focused more on the LVL production and less on the plywood production. On the other hand the production volume of LVL is rapidly approaching 20 % of the volume of structural plywood. Lately the veneer needed in LVL has been in tight supply.

This development can be expected to continue in the future. The LVL industry can react in various ways. Now one company is peeling *Eucalyptus grandis* veneer in Brazil and using the veneers in the North American LVL mills. Mixing stronger (imported) veneer with the domestic softwood veneers can mean that the use of the weaker veneer groups becomes possible. The industry can also introduce new products with lower strength values for instance for short span header beams.

4.1.2 Asia

The Japanese production of LVL dropped in the end of last decade to below 0.1 million m³/a. The production of structural LVL is dominated by one company. It is importing its raw materials, Russian larch, NZ radiate pine etc. Generally the veneer production for local plywood industry has rapidly moved towards using softwood and the import of softwood logs has increased in Japan.

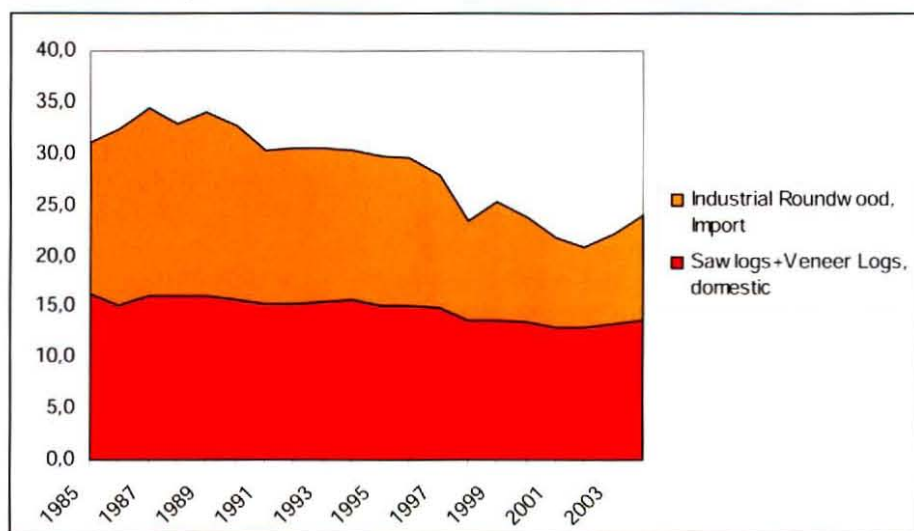


Figure 6. Japanese wood supply.

The Japanese companies have started the production of LVL or veneer for LVL in other countries. These include directly owned units and joint ventures.

The growing stock is much larger than the current supply of logs would suggest in the Japanese forests. Once the forests mature the domestic supply could increase notably (for instance in Finland the production volume of domestic logs is more than two times bigger from a growing stock that is half of the Japanese one).

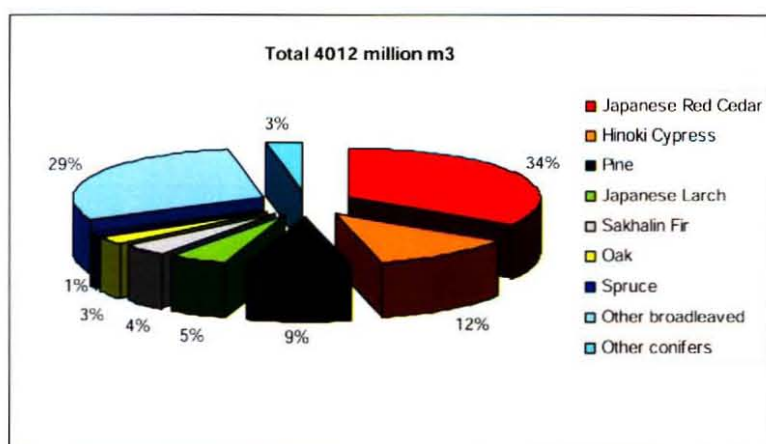


Figure 7. Japanese growing stock in 2004.

The total production of LVL has grown very rapidly in the recent years in China. The production has grown in five years from zero to 0.5 million m³/a. However, only 10...15 % from the total production is in structural grades. Most of the LVL is exported to Japan.

At least one production unit is making structural LVL for export to Japan from poplar and birch. Generally the Chinese plywood production has moved the emphasis from earlier imported tropical hardwood logs to local wood species, especially poplar, and to imported softwoods. Most of the Chinese LVL is made as a side product in plywood factories and the main raw material seems to be poplar.

The rapidly increased wood industry in China has a very insecure base in its wood raw material. The domestic wood supply seems to have fluctuated between 40 and 60 million m³/a during the past ten years. This supply could now be stabilizing at the level of 50 million m³/a. This could be expected to rise slowly, when the large plantations mature.

The domestic supply has not been enough for the Chinese industry. The import volume has become tenfold in ten years' time. Russia has become the most important origin of wood. The only Russian LVL plant uses pine from the Siberian forests. It can be expected that the wood supply in the Chinese industry will be critical at least in the short term.

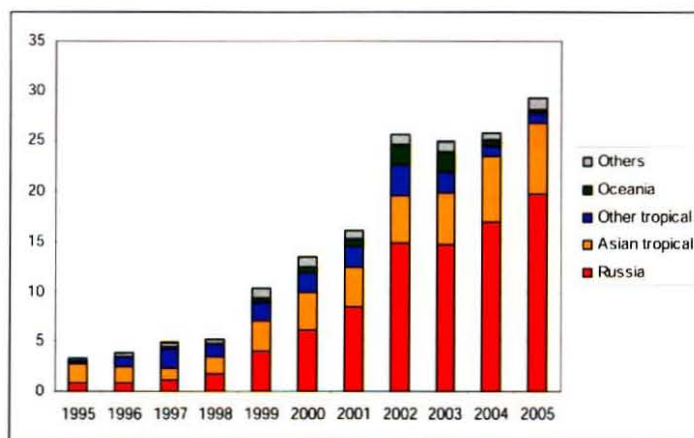


Figure 8. Chinese import of logs

4.1.3 Oceania

The wood supply is based on the plantation resources in New Zealand. At the end of last decade the supply from the natural forests was about 0.1 million m³/a compared to 30 million m³/a of plantation softwood.

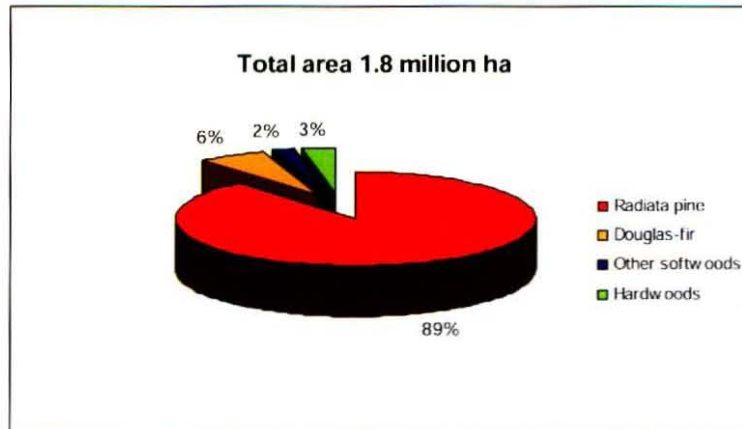


Figure 9. Forest plantations in New Zealand, 2004

The local LVL industry is making structural grades from radiata pine. Little of this is consumed at the domestic markets, export to Japan and Australia is taking the majority of the production. The radiata pine supply will be good also in the future. Log export from New Zealand has been 5...8 million m³/a in this decade.

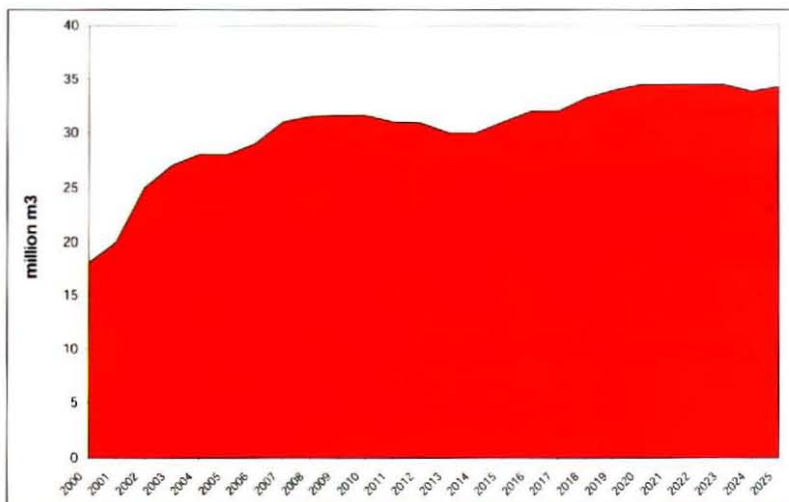


Figure 10. Projected wood supply in New Zealand.

The radiata pine and maritime pine are used to make structural LVL in Australia. The local market for these types of products is relatively big, about 0.15 million m³/a.

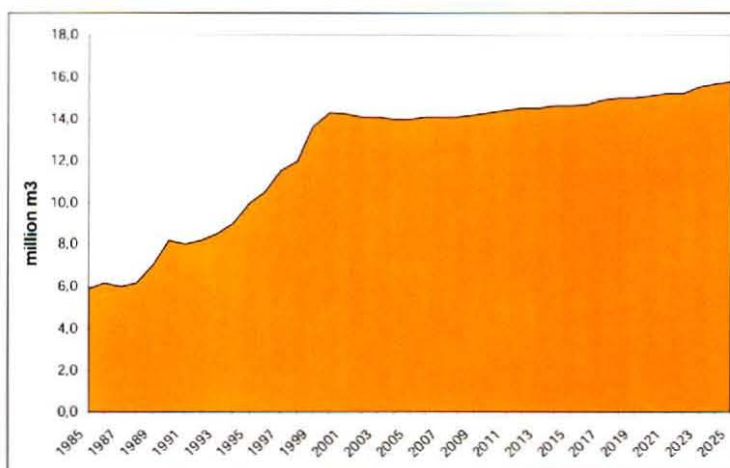


Figure 11. Supply of softwood from the Australian planted forests.

Generally the wood supply has shifted from the native hardwood forests to the plantation timber in Australia. At the end of the last decade the supply of the plantation softwood reached the industry demand stopping thus log import. Radiata pine covered half of the timber used in Australia in 2000.

The total area of the softwood plantations is now 1 million ha. The hardwood plantations cover 0.7 million ha. The future supply to the LVL production seems to be secured also in Australia.

4.1.4 Europe

One Finnish company using spruce raw material makes all European structural LVL. The production volume was about 0.15 million m³/a last year and the company started another production line at the end of 2005.

Generally the supply of spruce logs has tightened in Finland causing increasing import from Russia. At the same time the prices of spruce logs have risen.

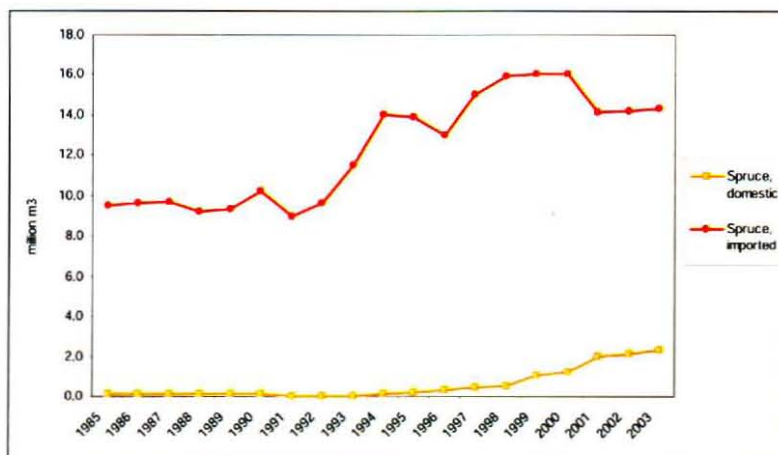


Figure 12. Supply of spruce logs to the Finnish industry.

The situation is not bad for the local LVL producers. The company is owned by small private forest owners who supply their timber to the company. Also the use of spruce logs for veneer products, LVL and plywood, is minor compared to its use for sawn timber in Finland.

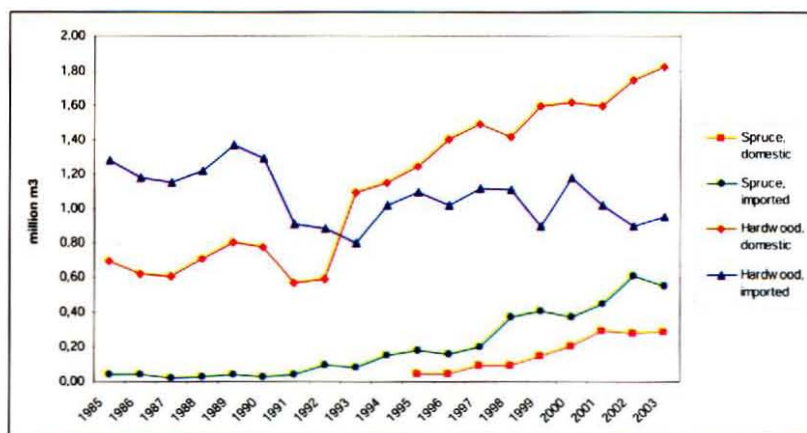


Figure 13. Use of veneer logs in Finland.

4.2 Chilean wood species as raw material for LVL

4.2.1 General strength requirement for structural LVL

Each major market area has its own set of requirements. APA and TECO are certifying the LVL products in North America. They can give approvals for various product types. The most common identification for various products is the modulus of elasticity in bending.

Table 1. PRL-501, performance standard for APA EWS laminated veneer lumber.

CHARACTERISTIC TEST VALUES FOR APA EWS PERFORMANCE RATED LVL						
APA EWS LVL Stress Classes	E	f_b	f_t	f_c	f_v edgewise	f_c edgewise
	psi					
2.1E – 3100F	2.1	6,510	4,620	5,700	900	1,420
2.0E – 2900F	2.0	6,090	3,990	5,225	900	1,255
1.9E – 2600F	1.9	5,460	3,570	4,845	900	1,170
1.8E – 2600F	1.8	5,460	3,570	4,560	900	1,170
1.5E – 2250F	1.5	4,725	3,150	3,705	695	960

E: modulus of elasticity, f_b : bending stress, f_t : axial tension, f_c : compression stress, f_v : shear stress

In practice each company is testing its products and specifying the strength values. So the products on the markets have for different strength properties numerical values, which differ from those shown on the table 1.

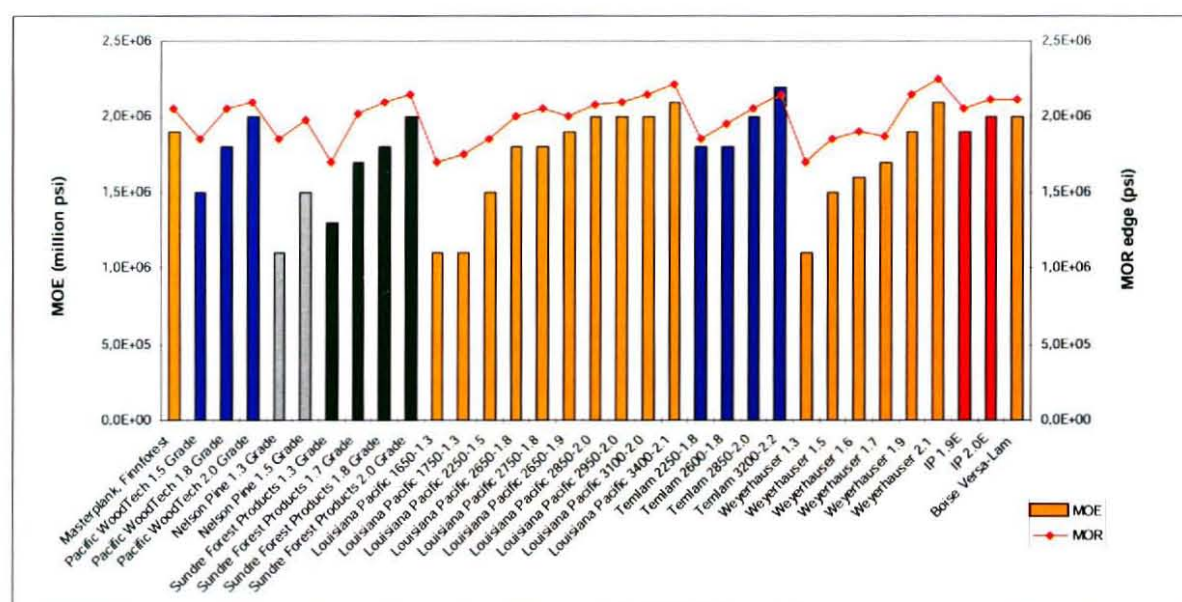


Figure 14. Some LVL approval values in North America.

The Japanese have their own LVL standards. These include products with a wide range of E-values and for each E-value three strength grades.

Table 2. Japanese requirements for bending tests.

JAS: "Structural Laminated Veneer Lumber", July 2000					
Young's modulus	MOE (10 ³ kg f/cm ²)		MOR (kg f/cm ²)		
	Average	Minimum	Special	Grade-1	Grade-2
180E	180	155	675	580	485
160E	160	140	600	515	430
140E	140	120	525	450	375
120E	120	105	450	385	320
110E	110	90	410	350	295
100E	100	85	375	320	270
90E	90	75	335	290	240
80E	80	70	300	255	215
70E	70	60	260	225	185
60E	60	50	225	190	160

In Europe the only local producer has two standard types of products approved. The Kerto S is for general structural uses including beams, the Kerto T is meant to be used as vertical framing timber.

Table 3. European structural LVL requirements.

EURONORM E₅						
Product	E	f_b	f_t	f_c	f_v	f_c
	MN/m²					
Kerto S	12,000	48	38	38	7	6
Kerto T	8,800	32	26	26	5	3.5

4.2.2 Test results

INFOR has had radiata pine and eucalyptus nitens LVL material tested according to the ASTM test methods. The veneers for the test material were peeled from the sapwood of 26 year old radiata pine trees and from the heartwood of 20 year old eucalyptus nitens trees.

The test LVL panels were pressed from all pine veneers, all eucalyptus veneers and of a combination of pine and eucalyptus veneers.

The test details are shown in the Appendix 1. The following three tables show how the results compare with the APA requirements. The "psi" units have been converted to N/mm², and the values printed with green color fulfill the APA strength requirements.

Table 4. Pinus radiata LVL test performance.

PINE						
APA EWS LVL Stress Classes	E	f_b	f_t	f_c	f_v edgewise	f_c edgewise
	N/mm²					
2.1E – 3100F	14,479	44.89	31.85	39.30	6.21	9.79
2.0E – 2900F	13,790	41.99	27.51	36.03	6.21	9.65
1.9E – 2600F	13,100	37.65	24.61	33.41	6.21	8.07
1.8E – 2600F	12,411	37.65	24.61	31.44	6.21	8.07
1.5E – 2250F	10,342	32.58	21.72	25.55	4.79	6.62

The pine test LVL did not quite reach the 1.5 grade. In the APA performance it lacked behind in modulus of elasticity in bending, in compression strength parallel to grain and in shear strength.

Table 5. Combi LVL test performance

COMBI						
APA EWS LVL Stress Classes	E	f_b	f_t	f_c	f_v edgewise	f_c edgewise
	N/mm²					
2.1E – 3100F	14,479	44.89	31.85	39.30	6.21	9.79
2.0E – 2900F	13,790	41.99	27.51	36.03	6.21	9.65
1.9E – 2600F	13,100	37.65	24.61	33.41	6.21	8.07
1.8E – 2600F	12,411	37.65	24.61	31.44	6.21	8.07
1.5E – 2250F	10,342	32.58	21.72	25.55	4.79	6.62

In the combi test results only the stiffness when bending the pieces flat, not on edge, did not fill the requirements of the 1.5 grade. It is possible that with a different construction throughout the panel thickness the test result would have been positive also in this respect. Now all eucalyptus veneers were arranged in the core, while they would have helped more near the surfaces.

Table 6. Eucalyptus LVL test performance.

APA EWS LVL Stress Classes	EUCA					
	E	f_b	f_t	f_c	f_v edgewise	f_c edgewise
	N/mm ²					
2.1E – 3100F	14,479	44.89	31.85	39.30	6.21	9.79
2.0E – 2900F	13,790	41.99	27.51	36.03	6.21	9.65
1.9E – 2600F	13,100	37.65	24.61	33.41	6.21	8.07
1.8E – 2600F	12,411	37.65	24.61	31.44	6.21	8.07
1.5E – 2250F	10,342	32.58	21.72	25.55	4.79	6.62

These tests indicate that it could be possible to certify the Chilean pine and eucalyptus LVL to the 1.3 and 1.5 grades. Now using eucalyptus nitens increased the strength values. The most important value, MOE increased only little.

Generally test results made with different standards cannot be directly compared. Thus nothing certain can be said of how the tested LVL panels would have performed in the Japanese or European tests. However, the results suggest that pine and combi could have reached the requirements of the class 90E-335F and eucalyptus those of 110E-410F in Japan and eucalyptus the requirements of Kerto T.

4.2.3 General comments

All tree species produce juvenile wood in the first years of growth. This zone of wood extends outward from the pith. The properties of wood change markedly in each successive year in young trees. During this transition period the characteristics of wood improve gradually until they become relatively constant. The transition period can extend typically from the age of 5 years to 20 years.

In juvenile wood the density, relative share of latewood, cell wall thickness etc. are lower than in the mature wood. The wood density is generally closely related to strength and stiffness. Hence, in order to achieve the maximum LVL strength the veneers should be classified based on density, and used optimally in the lay-up.

The characteristics of radiata pine are known to be highly variable. The density in the trees is affected by the environment, tree age and log position, management practices and genetics. Generally mature wood is found only in the outer rim of the first log in radiata pine.

The veneers were taken from sapwood for the test referred to in this report. This did not necessarily produce LVL panels with the highest possible strength properties. The industry practice is to sort the veneers according to their strength and select only the best veneers for high strength LVL. However, now it is not possible to know how much stronger LVL could have been made from the sample logs in this way. Another question is, could it be

possible to get higher strength veneer by selecting already the logs according to their expected density based on the growth site, genetics etc.

Eucalyptus seemed to increase in these tests the strength compared to pine. The difference was not big considering the variation within the test pieces. Anyhow in the density the difference was very clear. The average basic density in the pine test pieces was 458 kg/m³ and in the eucalyptus ones 576 kg/m³.

Buying only the strongest eucalyptus veneers can be difficult in practice as there is no real industrial-scale production of eucalyptus nitens veneers in Chile. A careful selection of the logs could, though, help in finding stronger raw material. On the other hand there is some information from unpublished tests that eucalyptus nitens at least from young stands is not at all stronger than radiata pine.

5. SUITABLE TECHNOLOGY

5.1 Initial data

This report is made with the assumption that the production unit is not peeling its own veneer. Suitable veneer is bought from other companies.

LVL can be made of veneer with different sizes. The equipment is dimensioned to use the chosen veneer size. In this case the veneer size is assumed to be 8 ft long and 4 ft wide i.e. the most common veneer size in Chile.

Thin veneer is not generally used to make LVL. Typical veneer thickness fall within the range of 2.5 to 4.2 mm.

LVL can be made either with a continuous press or with a cycle press. The technology presented in this report is based on using cycle pressing with a combination of a cold pre-press and a hot press. The technical solutions are similar to the lines, which have recently been delivered to major customers in various parts of the world.

This equipment can make pressed LVL billets with a thickness of 15...90 mm and trimmed width of 1,200 mm. The billets can be up to 18 m long and the desired dimensions are cut from the pressed billets.

The production is arranged in one line with a buffer storage for the pressed billets.

The modern units tend to have more capacity than the old lines. With the chosen veneer size and technology this could mean an annual production volume of 60,000 m³/a. This could be done with a 24 m long three opening hot press.

5.2 Veneer handling

A forklift is used to unload the veneer packs and to place them in a storage. Various grades of the veneer packs are then brought to the line according to the specifications of the product. The veneer packs can be turned so that the tight side of the veneer layers is arranged symmetrically around the centre line.

Four veneer packs can be used simultaneously to feed the line. Vacuum veneer feeders are used to lift one veneer at a time from each of the required packs.

The veneer sheets are aligned before they enter the scarfing saw. This makes it possible to have scarfs of similar length on both veneer ends. The veneers can also just be trimmed to make butt joints in the assembled billets. The butt joints can be used in the inner layers to make it possible to use higher pressing temperatures.

Undersized veneers are automatically dropped from the line. Broken or otherwise bad quality veneers can also be dropped at this stage. To keep the sequence at the lay-up correct a good quality replacement veneer is picked from a specially made pack.

5.3 Lay-up and pressing

One-sided glue spreading is used in this type of LVL line. Glue is spread on top of each veneer, except the face veneer. Glue can be spread with a curtain coater, spray or extruder.

All these systems require that the glue has a constant viscosity. This can be reached by automatic glue mixing, automatic level control of intermediate tanks and heat exchangers.

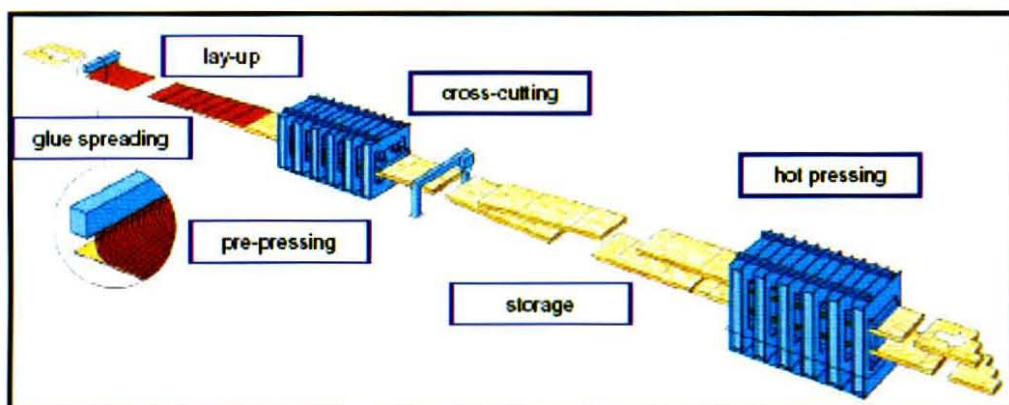


Figure 15. Principle of 2-opening LVL lay-up and pressing line with cycle pressing method

At lay-up the veneers are aligned so that the joints of adjacent layers are not on top of each other. The LVL billet is laid-up on a long wide-belt conveyor. This belt stands still, when a set of veneers starting from back up to face are dropped in a correct position. When the face veneer has been dropped, the billet is moved forward and the next sequence is started.

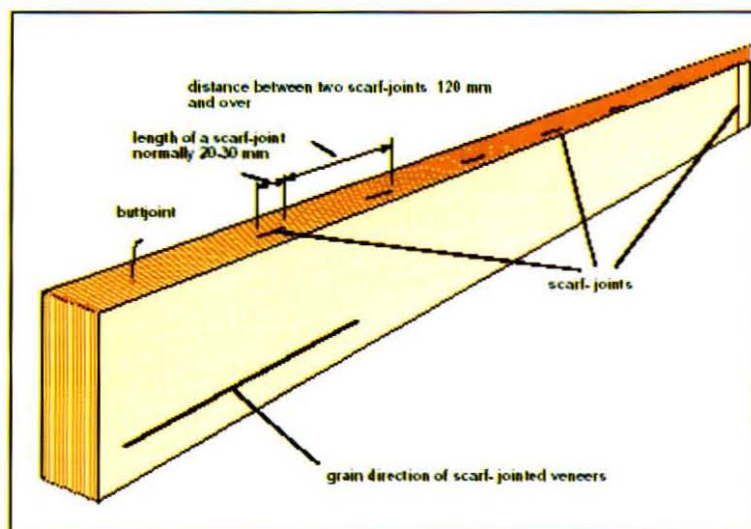


Figure 16. General construction of LVL.

The lay-up belt which runs through the pre-press takes care of the transport of the billet. The pre-press is closed when a layer of veneers is laid up and it is open when the belt moves the billet for the next lay-up batch.

In this way the pre-pressing time is made of short periods with the press standing open between the periods. In practice this has no effect on the end result compared to continuous pressing. The length of the press is chosen according to the requirements of the used glue and wood species. It can be for instance 30 m.

This type of pre-press is divided in sections with each section being able to open and close independently. In this way less time is lost when changing the thickness of the LVL billet as only the section containing two different billet thicknesses must be left open.

After pre-pressing the billet is directed to an edge trimming saw, which cuts both long edges of the billet. Then the continuous billet is cut to length according to the final size of the LVL product being made. At this stage the billet length is multiple of the final product plus some trimming margin.

Then the billets are directed to a three-deck storage conveyor in front of the hot press. During the hot pressing time enough billets are stored on each deck to cover the press length with no gaps between the billets.

The storage conveyors in front of and at the end of the hot press are hinged at the press platens. In this way the billets in the press can overhang from the press at both ends. This means that any length of a billet can be pressed in the system. When the pressing time is over the press opens and the billets on the three decks are moved forward the distance that is equal to the effective length of the hot press.

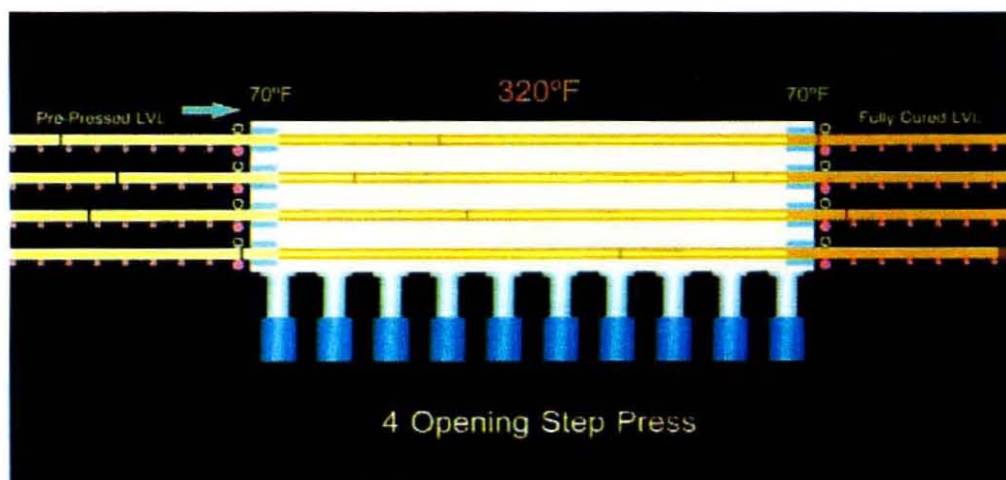


Figure 17. The principle of step pressing in a LVL hot press with four openings.

Nip rollers on both ends of the press move the billets forward in the hot press. The press platens have cold sections at the infeed end to prevent pre-cure of the glue and at the end to prevent overcure.



Figure 18. A three-opening LVL hot press

One-by-one the pressed billets are moved through a thickness measuring device and blow detector. Then they are lifted by a vacuum-cup hoist either directly to the billet handling line or to an intermediate storage.

5.4 Billet handling

In the billet handling the LVL beams are cut to their final sizes and the products are packed. Some products may need sanding or treating for instance with staining type sealers. These value-adding processes can be made in the same line.

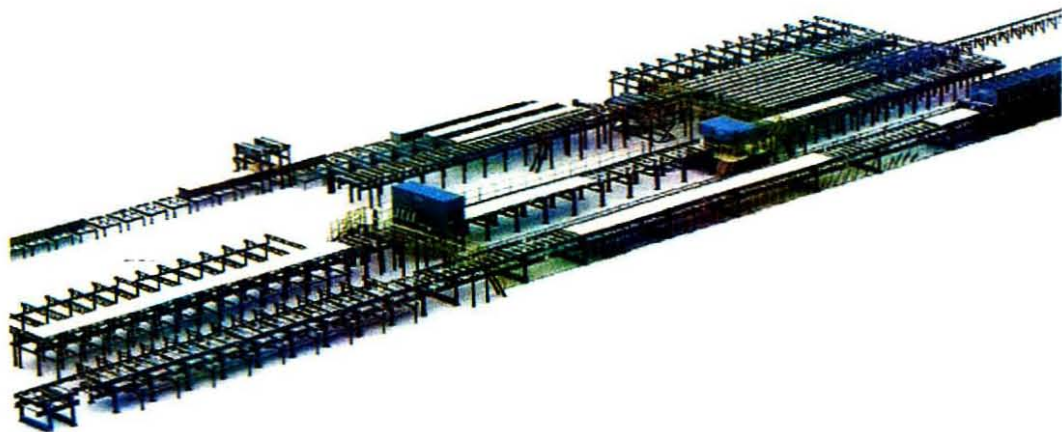


Figure 19. An example of billet handling line.

First the billets are cut to the final lengths of the LVL beams. This saw can also be used to cut samples for quality control or for cutting blown billets to shorter lengths facilitating so their removal.

If needed the billets can be sanded on both sides with a wide belt sander. After that the billets are ripped to size. The non-usable trimming strip is dropped from the line and reduced in a hogger into chips. The ripped LVL planks or beams are visually inspected, marked and then directed to stacking.

The ripped components which contain defects are directed to a remanufacturing line, where the defective part can be sawn away and the rest used to shorter products. The waste from this process goes to the hogger.

The stacked products are strapped. A bundle saw can be used to trim the ends of the packs or for further cutting the bundles into shorter lengths. Typically the packs receive a wrapping as the last step of the process.

Packs are moved with a bridge crane to stock. A side-loader can be also used for the handling of the packs.

5.5 Estimated wood recovery

The following recovery estimate shows typical values. Here the main assumption is that only good quality, sound sheets are bought. Low quality sheets, which break down during handling will lower the actual recovery rapidly. The shown values refer to real volumes, commercially used dimensions for veneer, actual product tolerances etc. have all their effect on the final recovery numbers in reality.

	m ³ /a	%
- Veneer to LVL line	72,100	100
- scarfing waste		
- rejected veneers		
- Billet to pre-press	69,200	96
- edge trimming loss		
- compression loss		
- Billet from hot press	61,600	85
- cut-to-size loss		
- rejects		
- LVL out	60,000	83

5.6 Labor

It is assumed that this line will operate 330 days per year and work 24 hours per day. Further, the plant is assumed to be run by operators which work in three shifts. To keep the line operating without breaks four operators are calculated for each position.

The following list shows a summary of the estimated labor requirements:

- Production operators	59
- Maintenance	10
- Administration	17
- TOTAL	86

5.7 Connection data

Estimates for the production machinery are gathered in the following summary:

- Electricity (connected power)	: 1,800 kW
- Compressed air	: 160 Nm ² /h
- Dust extraction	: 95,000 m ³ /h
- Heat energy (hot press)	: 2 Gj/h

6. INVESTMENT ESTIMATE

The main LVL line is assumed to be modern European equipment. The exchange rate of 1 EUR = 1.25 USD is used in this estimate. The price level is based on the May 2006 situation.

	Million USD
- LVL machinery	
- LVL line	
- automatic glue kitchen	
- dry wood waste chipping dust extraction	
- boiler	
- laboratory equipment	
- maintenance equipment	
- TOTAL	15.4
- Other costs	
- freight	
- spare parts	
- installation supervision	
- foundations, installation work	
- TOTAL	3.6
- Vehicles	0.2
- Construction	
- mill site, 5 ha	
- buildings, 15,000 m2	
- TOTAL	3.5
- Contingency, 10%	2.0
- TOTAL	<u>24.7</u>

7. TENTATIVE PROFITABILITY**7.1 Calculation method**

The tentative calculations have been made with a feasibility calculator, which uses a ten-year cash flow period. In this case the costs and price items are assumed to stay constant for the whole calculation period.

The cash inflow is equal to the net sales for each year and the cash outflow is made up of the investments, increase in working capital, variable and fixed costs as well as corporate tax. At the end of the calculation period the accumulated working capital is assumed to be returned to cash.

This calculator shows three main indicators for the feasibility of the project, internal rate of return, pay-back period and net present value. The sales price was chosen at 550 USD/m³, CIF USA. This is according to lower price projection in figure 4 and acknowledges that the products will be in the lower strength classes.

7.2 Calculation inputs

- | | |
|--|------------------------|
| - radiata pine veneer | 200 USD/m ³ |
| - eucalyptus nitens veneer | 200 USD/m ³ |
| - phenolic glue | 0.7 USD/kg |
| - electricity | 1.074 USD/kWh |
| - fuel oil | 0.85 USD/l |
| - helper level operator | 360 USD/month |
| - skilled level operator | 750 USD/month |
| - supervisor level | 1,500 USD/month |
| - technical personnel | 2,000 USD/month |
| - depreciations | |
| - vehicles | 5 years |
| - machinery | 10 years |
| - buildings | 20 years |
| - interest rate for fixed capital | 11 % |
| - interest rate for NPV-calculation | 11 % |
| - corporate tax | 17 % |
| - working capital | 5 days |
| - average inventory for veneer | 15 days |
| - accounts receivable | 60 days |
| - accounts payable | 15 days |
| - radiata pine veneer is assumed to have been peeled from un-pruned logs, higher (visual) quality veneers can find a more valuable use in plywood. | |
| - the LVL plant is assumed to be constructed and run-in so that the production would start 14 months after the project start and then reach full production in the 30th month. | |
| - all products are assumed to be sold to the export markets, the total transport and handling costs are estimated to be 80 USD/m ³ . | |
| - maintenance materials, packing materials, etc. are estimated to cost 15 USD/m ³ | |
| - general administration and overhead costs are estimated at 5% of the induced costs | |

7.3 Main results

As the C/D quality radiata pine and eucalyptus nitens veneers cost the same 200 USD/m³ only one feasibility calculation was made. In practice eucalyptus can improve the strength values and so increase the value of the product. On the other hand the recovery with these eucalyptus veneers can be lower even if only the best quality veneers are accepted to the LVL. The exact effect of these two things need to be defined in further studies.

The main indicators of the feasibility calculation are the next:

- total fixed capital	31.3 million USD
- IRR	17.2 %
- pay-back period	6.0 years
- net present value (with 11% interest rate)	7.2 million USD
- net sales	28.2 million USD
- profit before taxes (5 th year)	60 % from net sales

8. CONCLUSIONS

- LVL is one of the fast growing wood products. Its consumption is concentrated on few areas. North America is consuming about 85 % of the world's structural LVL. So this market is a natural target for a possible LVL production in Chile. Other smaller consumption areas are found in Australia, Japan and Europe.
- The structural LVL is made generally from softwoods. The availability of suitable, high strength veneer can become more difficult in the coming years in North America.
- According to the tests made now the Chilean radiata pine and eucalyptus nitens showed only moderate strength values. By selecting the raw material more carefully and grading the veneers according to density some improvement in this respect could be made. However, reaching the higher LVL strength levels will require intensive further product development and testing work.
- Radiata pine is a well known raw material for plywood. Thus its behavior in the LVL process can be predicted fairly accurately and it should not cause any technical problems with normal LVL machinery.
- Eucalyptus nitens is not used in industrial scale for making veneer. The known peeling tests indicate that it can be difficult to process into good quality veneer sheets. Even in this project, which is designed to use dried veneer sheets as its raw material, the properties of this eucalyptus species forms a risk, which can show as lower productivity and lower recovery than initially assumed in this report.
- With the used input information it seems that the project could be economically feasible. With the average sales price of 550 USD/m³ in the USA the project shows sound results.
- A possible LVL project in Chile has to also take into account the question of the distribution of the goods at the market. This side of the business is out of the scope of this study.



INFOR

Creando Valor Forestal Para Chile

SEDE BÍO BÍO

Camino a Coronel km 7,5

Concepción

Fono (41) 274 90 90

Fax (41) 274 90 74

SEDE DIAGUITAS

Pedro Pablo Muñoz 234

La Serena

Fono – Fax (51) 21 61 34

SEDE METROPOLITANA

Huérfanos 554

Santiago

Fono (02) 693 07 00

Fax (02) 638 12 86

SEDE LOS LAGOS

Fundo Teja Norte

Valdivia

Fono (63) 21 14 76

Fax (63) 21 89 68

SEDE PATAGONIA

Riquelme 147

Coyhaique

Fono – Fax (67) 23 35 85

e-mail: info@infor.cl

web: www.infor.cl