

Clasificación de tableros contrachapados chilenos para su uso estructural como revestimiento de techo según la NCh3617

Omar Gálvez Pavez¹, Nelson Maureira Carsalade², Cristian Reyes Riquelme³

RESUMEN

Se presentan los resultados de las pruebas realizadas para clasificar tableros contrachapados disponibles en el mercado chileno como estructurales pero que no poseen etiqueta que acredite tal uso. Estas pruebas se realizaron de acuerdo con los requisitos y ensayos establecidos para tableros que cumplen con una clasificación mínima de claro de luz destinados a un uso estructural como revestimiento de techo según la norma NCh3617. A partir de una muestra de 10 tableros por proveedor, se realizaron 40 ensayos de flexión para obtener la rigidez de flexión en los dos ejes de resistencia de los tableros. Esto permitió clasificarlos según el claro de luz que pueden soportar para un uso en revestimiento de techo, comparando los resultados con las capacidades de diseño establecidas en la norma APA D510F, multiplicadas por un factor de seguridad de 1,1. Los tableros contrachapados evaluados cumplen con los requisitos estructurales para una clasificación de claro de luz superior al mínimo establecido por la norma NCh3617 para uso estructural en techos. Sin embargo, los resultados de los ensayos de desempeño estructural en carga uniforme, carga estática concentrada y carga de impacto fueron insuficientes para 3 de los 5 proveedores, ya que no cumplieron los requisitos de los ensayos en la clasificación de claro de luz original. Por esta razón, se redujo la clasificación de claro de luz al valor inmediatamente inferior. Bajo esta nueva clasificación, los 3 proveedores cumplieron con los requisitos de los ensayos. En consecuencia, aunque los tableros contrachapados evaluados en este trabajo cumplen con los requisitos de la NCh3617 para su uso estructural en techos, no es posible caracterizarlos de esa manera, ya que no cumplen con los requisitos de producción ni con el timbre o etiquetado exigido por la misma norma.

Palabras clave: Claro de luz, rigidez a flexión, carga puntual, carga de impacto, presión uniforme.

ABSTRACT

The results of tests conducted to classify plywood boards available in the Chilean market as structural, despite lacking a label that certifies such use, are presented. These tests were performed in accordance with the requirements and tests established for boards that meet a minimum clear span classification intended for structural use as roof sheathing, according to standard NCh3617. From a sample of 10 boards per supplier, 40 bending tests were carried out to obtain the bending stiffness in the two axes of resistance of the boards. This allowed for classification based on the clear span they can support for use as roof sheathing, comparing the results with the design capacities established in standard APA D510F, multiplied by a safety factor of 1.1. The evaluated plywood boards meet the structural requirements for a clear span classification higher than the minimum established by standard NCh3617 for structural use in roofs. However, the results of the structural performance tests under uniform load, concentrated static load, and impact load were insufficient for 3 out of the 5 suppliers, as they did not meet the test requirements for the original clear span classification. For this reason, the clear span classification was reduced to the immediately lower value. Under this new classification, the 3 suppliers met the testing requirements. Consequently, although the plywood boards evaluated in this study comply with the requirements of NCh3617 for structural use in roofs, it is not possible to characterize them as such, since they do not meet the production requirements or the stamp or labeling required by the same standard.

Keywords: Clear span, bending stiffness, point load, impact load, uniform pressure.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, ogalvez@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, nmaureira@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Instituto Forestal de Chile, creyes@infor.cl

1. INTRODUCCIÓN

La madera ha sido uno de los materiales que se ha utilizado en la construcción desde tiempos prehistóricos, con evidencia de estructuras de madera que datan de hace más de 10.000 años. Su importancia en la construcción ha evolucionado con el tiempo, pero su uso ha sido constante [1]. Esto se debe a los diversos atributos que posee la madera [2], los que se pueden clasificar en tres tipos: funcionales, ambientales, económicos y de bienestar. La clasificación funcional se refiere a las características de material reutilizable, duradero, excelente aislante térmico, buen aislante acústico, breve tiempo de montaje y estabilidad estructural. Su atributo ambiental se debe a que reduce las emisiones de CO₂ es un recurso natural abundante, renovable y consume menos energía en su transformación. Es económico en comparación con la construcción en albañilería, hormigón y acero, además de aportar al PIB al proveer trabajo de mano de obra. Proporciona bienestar, ya que la construcción con este material genera menores residuos, tiene beneficios para la salud [3], aporta eficiencia energética en un -32% de consumo de energía interna.

En la actualidad, la madera se ha consolidado como un material clave en la construcción de viviendas en varios países alrededor del mundo. En la Unión Europea, podemos destacar a Escocia, que en el uso de madera como material para la construcción de viviendas alcanza hasta el 70%, mientras que en Finlandia esta cifra llega al 90% [4]. En América del Norte, Canadá y Estados Unidos el 90% de las viviendas están construidas con estructuras de madera [5]. Este alto porcentaje refleja una tradición profundamente arraigada y una infraestructura que apoya el uso extensivo de la madera. Además, todos estos países están vinculados al desarrollo y aplicación de nuevos sistemas constructivos con este material, concentrando en la actualidad la mayor cantidad de edificaciones de gran tamaño desarrollados con madera.

Es indudable que la evolución en las tecnologías de construcción en madera se relaciona con la mayor disponibilidad de recursos forestales que poseen y con las condiciones climáticas que han favorecido el desarrollo y perfeccionamiento de distintos sistemas constructivos en madera en estos países [6].

Chile consta de un total de 6.499.574 viviendas construidas con madera como material principal, de las cuales el 29.9% de ellas son viviendas con estructura de madera de baja altura (casas) [7]. Sus recursos forestales son aproximadamente 18.056.618 hectáreas de superficie de bosques (nativos, forestales y mixtos) [8] correspondiente alrededor del 24% del territorio nacional.

Debido a esto, en Chile existe una amplia gama de productos de ingeniería en madera, elaborados a partir de piezas de madera aserrada, chapas, partículas o fibras de madera, unidas con adhesivos u otros métodos de fijación. Estos productos superan significativamente algunas limitaciones de la madera maciza, destacándose por su mayor uniformidad en las propiedades mecánicas, estabilidad dimensional, y la posibilidad de fabricarse en grandes dimensiones [9].

En los productos de madera utilizados en la ingeniería de la construcción encontramos una amplia variedad, clasificados según su uso en estructural y no estructural. Dentro de estos productos, la industria de tableros y chapas es una de las que más ha evolucionado dentro de la industria forestal chilena. Hasta mediados de la década de 1980, la industria estaba orientada principalmente a la producción de tableros de fibra dura (hardboard, HB), aglomerados y contrachapados de especies nativas. A partir de 1986, el crecimiento del sector comenzó a ser significativo, alcanzando en la actualidad una oferta industrial de siete tipos de tableros, además de la producción de chapas. En el año 2021, el nivel de producción de la industria de tableros y chapas fue el más alto desde que se tiene registro, con 3,57 millones de m³. Esto representa un crecimiento anual promedio de aproximadamente 8,1% en los últimos 35 años y de 2,4% entre 2010 y 2021. Esto ha permitido que Chile se sitúe como el segundo mayor exportador de tableros de la región, después de Brasil [10].

Dentro de la producción de tableros y chapas, los contrachapados son el tipo de tableros de mayor producción en Chile. El año 2021 la producción de estos tableros llegó a 1,49 millones de m³, alcanzando un 39% de participación en las exportaciones madereras, siendo el tipo de tablero con el mayor número de establecimientos productivos en operación con participación de 15 plantas.

Los tableros contrachapados, también conocidos como plywood, son tableros construidos de láminas de madera llamadas chapas, unidas bajo presión con adhesivo para crear un tablero con una unión entre chapas tanto o más resistente, que la madera maciza. La madera contrachapada es producida de un número impar de capas con la dirección de la fibra de cada capa ortogonalmente dispuestas a las adyacentes. Las capas exteriores y todas las capas impares generalmente tienen la dirección de la fibra orientada de forma paralela a la

dimensión longitudinal del tablero. Las capas con dirección de la fibra alternada igualan las deformaciones, reducen el rajado y minimizan los cambios dimensionales y la distorsión de los tableros [11]. La presentación más común es el formato 1,22m x 2,44m, en espesores que van desde los 9 mm hasta los 25 mm. El principal uso del tablero contrachapado se da en la industria de la construcción, especialmente en la obra gruesa [12].

Entre las soluciones que ofrece el mercado chileno para los tableros contrachapados se destaca el uso estructural, pudiendo ser aplicado como recubrimiento en paredes, pisos o techos [13]. En una encuesta realizada por el Instituto Forestal a 132 empresas del sector de la construcción, que se dedican a actividades como el diseño de proyectos constructivos, la construcción y la venta de viviendas habitacionales y no habitacionales, se señala que los tableros OSB estructurales concentran la mayor demanda en productos de madera de uso estructural en techos [14]. Esto podría deberse a que los tableros OSB estructurales disponibles en el mercado chileno cuentan con etiquetas que describen su uso estructural, mientras que los tableros contrachapados disponibles en el mercado carecen de dicha información. Esto implica que no se proporciona información sobre el espaciamiento máximo recomendado entre los apoyos para un uso específico, ni se ofrece una clasificación basada en el desempeño estructural o una referencia clara de la especie de madera utilizada en su fabricación.

Esto se debe a que hasta el 2021 en Chile no existía normativa obligatoria que regule la producción de contrachapados, por lo que cada fábrica produce bajo sus propios esquemas, y eso hace que el producto resultante no esté caracterizado mecánicamente. Dado a que el proceso de laminado es de diferentes calidades en estas fábricas es necesario definir calidades de chapas y, dependiendo de estas calidades, ir creando los productos, que pueden ser contrachapados de alta calidad o mediana calidad o una calidad que se ajuste al mínimo requerido [15].

En el año 2010, el Departamento de Comercio de Estados Unidos publicó la norma PS1-09 denominada madera contrachapada estructural. Esta es una norma voluntaria que establece requisitos para la producción de los principales tipos y grados de madera contrachapada estructural y proporciona una base para un entendimiento común entre productores, distribuidores y usuarios del producto [16].

La norma PS1-09 regula distintos temas, entre los que destacan: tipo de adhesivo y su desempeño frente a la humedad, clasificación de chapas, elaboración de los paneles, dimensiones y tolerancias, marcado y embalaje de la madera contrachapada estructural para uso en construcción y otros usos industriales. También, incluye métodos de prueba para determinar el nivel de cumplimiento de la norma y se proporciona un programa de certificación de calidad mediante el cual las agencias calificadas pueden inspeccionar, tomar muestras y realizar las pruebas pertinentes, para aprobar o rechazar las partidas de producción [17].

La norma PS1-09 de Estados Unidos se utilizó como base para redactar un anteproyecto de norma chilena en materia de tableros contrachapados. En febrero de 2022, el Instituto Nacional de Normalización publicó la NCh3617 “Madera contrachapada estructural - Requisitos y ensayos”. Aunque su aplicación es de carácter voluntario por el momento, surge como una iniciativa regulatoria del Ministerio de la Vivienda para el mejoramiento de estándares relacionados al uso de la madera en edificaciones en Chile [18].

La NCh3617 establece los requisitos para los principales tipos y clases de madera contrachapada estructural. La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) considera esta norma como un método, no tiene poder regulatorio para hacer cumplir sus disposiciones. Sin embargo, toda norma oficializada tiene poder legal y debe ser cumplida.

Es por lo descrito anteriormente que esta investigación se plantea como punto inicial para establecer si los tableros contrachapados cumplen con los mínimos exigidos en la NCh3617:2022 como requerimiento para ser catalogados como estructurales. La aceptación de la madera contrachapada con desempeño aprobado según esta norma se basa en las pruebas de resistencia, rigidez y desempeño de adherencia del panel. Los paneles seleccionados para las pruebas deberán tener un grado cercano al mínimo.

Como la NCh3617:2022 exige un número considerable de muestras para realizar ensayos de desempeño estructural, esto presenta una limitante debido a la cantidad de muestras que esta tesis puede obtener por recursos asociados a está.

Es por eso que esta tesis se centrara en caracterizar tableros contrachapados producidos y disponibles en el mercado chileno, mediante ensayos de desempeño estructural existentes en la Norma NCh3617, mediante una clasificación por claro de luz, para uso de revestimiento en Techo.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis de esta investigación es “Los tableros contrachapados producidos y comercializados en el mercado chileno cumplen con los requisitos estructurales establecidos en la norma NCh3617:2022, *Madera contrachapada estructural - Requisitos y ensayos*. Para clasificación de tableros contrachapados estructurales por claro de luz en uso de revestimiento para techo”.

Objetivos generale: Evaluar los tableros contrachapados disponibles en el mercado chileno para determinar su capacidad de cumplir con una clasificación mínima por tramo de luz, para su uso como revestimiento en techo, basándose en ensayos de desempeño estructural frente a cargas uniformes, cargas estáticas concentradas y cargas de impacto.

Objetivos específicos:

- I. Evaluar los tableros seleccionados por el grosor, humedad y dimensiones del producto y determinar sus propiedades mecánicas mediante ensayos según la NCh3617.
- II. Establecer relaciones entre la rigidez a la flexión del tablero y el claro de luz máximo que este puede soportar.
- III. Evaluar el desempeño estructural de los tableros seleccionados con la clasificación de claro de luz obtenida por la NCh3617.

3. ANTECEDENTES GENERALES DE TABLEROS

3.1. Definición de tableros

Son productos manufacturados compuestos por múltiples capas de madera o derivados de la madera, unidas mediante adhesivos bajo presión y calor. Estas capas pueden estar dispuestas en diferentes orientaciones para mejorar las propiedades mecánicas del tablero, como la resistencia, la rigidez y la estabilidad dimensional. Los tableros de madera se utilizan ampliamente en la construcción y la fabricación de muebles debido a su versatilidad, durabilidad y capacidad para soportar cargas en aplicaciones tanto estructurales como no estructurales [19].

3.2. Tablero Estructural

Es aquel compuesto a partir de madera que se utiliza sin recubrimiento para ciertos usos en la industria de la construcción y el embalaje, pudiendo ser sometido a fuertes solicitaciones físicas y mecánicas. Se diferencia del tablero no estructural por sus propiedades elástica que le permite mantener su rigidez por largos periodos. Se seleccionan según atributos clave identificados en la etiqueta del tablero de acuerdo con la NCh3617.

3.3. Tablero Contrachapado

Las chapas son laminas delgadas de madera cuyo espesor es inferior a 5 mm, obtenidas por procesos de foliado, pudiendo ser unidas entre sí de formas deferentes. Se utiliza la denominación “unión de costado” cuando la línea de unión es paralela a la dirección de la fibra de las chapas y “unión a tope” cuando es perpendicular. Su clasificación se realiza en función de su aplicación final.

Los tableros contrachapados se conforman con capas de chapas de madera superpuestas, unidas bajo presión por un adhesivo para crear un tablero con una unión o más resistente que la madera maciza. En general, dichas chapas se disponen en número impar de capas con dirección de la fibra de cada capa en ángulo de 90 grados. Las capas externas y todas las capas impares tienen dirección de la fibra orientada paralela a la dimensión longitudinal del tablero [20].

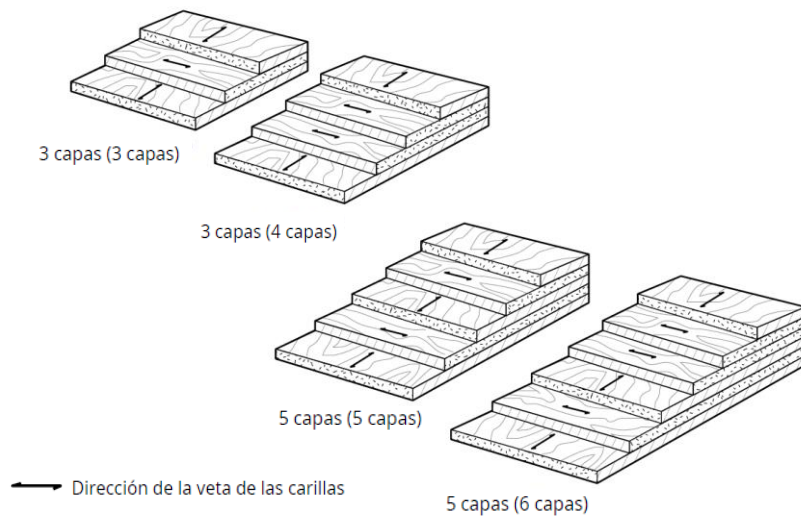


Figura 1: Tablero contrachapado cantidad y orientación de las chapas.

Fuente: APA D510F-2020

3.4. Fabricación de tableros contrachapados

Para la fabricación de tableros contrachapados la madera debe pasar por una serie de procesos, comenzando con la obtención de materia prima que es el árbol, procediendo con el corte y traslado a fábrica. En la fábrica el primer paso es el descortezado, quitar la corteza de los troncos, eliminando elementos innecesarios. Una vez limpios los troncos, estos se acondicionan por cocción o evaporado, lo cual tiene por objetivo ablandar la madera para lograr un corte suave, para garantizar bajo consumo de energía y desgaste de cuchillos. La etapa siguiente es donde se obtiene la chapa lo cual es mediante foliado. Posteriormente a la obtención de las chapas estas se seleccionan y se establecen el ancho y longitud.

Luego estas pasan al proceso de secado, la cual tiene por objetivo acondicionar la chapa a una humedad óptima, seguido de esto es posible que algunas chapas requieran parchados, debido a algún defecto físico de estas (rasgaduras, huecos). El procedimiento que continua es el encolado, armado y prensado de las chapas. Para posteriormente aplicar un lijado para tener un acabado de calidad. Finalizando control de calidad, embalaje y almacenamiento [21].

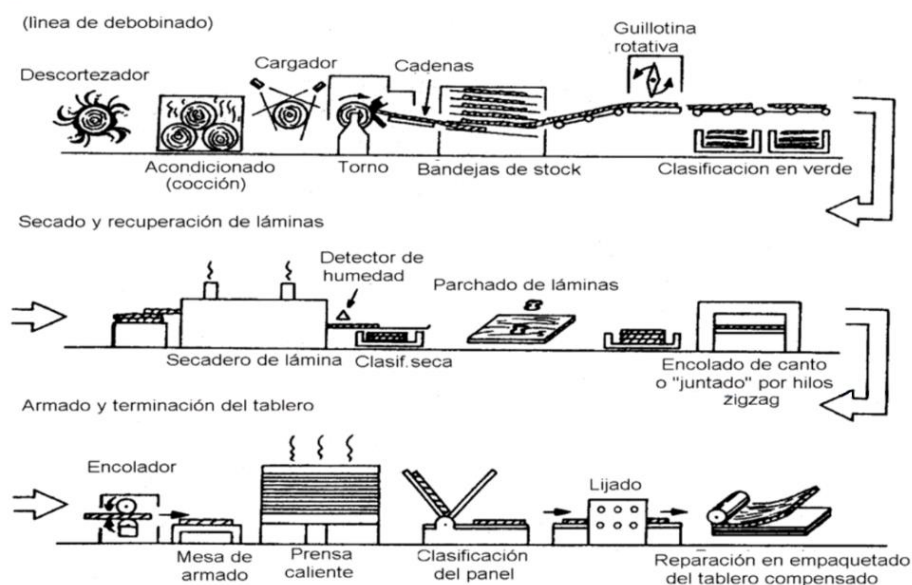


Figura 2: Proceso de fabricación Tablero Contrachapado.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=LW90usbURwA>

Una característica de los tableros estructurales de madera contrachapada es el eje de resistencia asociado con su fabricación. La construcción en capas en las que estas están orientadas a 90 grados entre sí, crea propiedades diferentes en las dos direcciones principales (ver figura 3). La orientación de la capa frontal y posterior determina el eje de fuerza, es decir el eje de resistencia está en la dirección larga del Tablero [22].

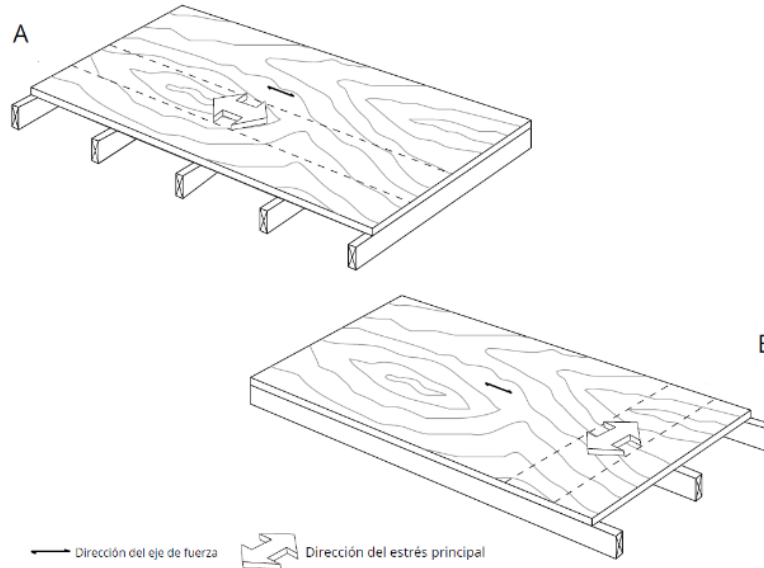


Figura 3: Tablero estructural de madera típico con dirección del eje de resistencia (A) perpendicular a o a través de los soportes y (B) paralelo a los soportes.

Fuente: APA D510F-2020

3.5. Usos del contrachapado estructural

Como material estructural los tableros contrachapados se utilizan en la construcción y revestimiento de Muros, Techos y pisos. Además, en sistemas de encofrado en la construcción de hormigón, empleándolos como moldes temporales para dar forma al concreto hasta que este adquiera su resistencia final. Otro uso es en mobiliario y carpintería. Esto se debe a su alta resistencia y capacidad de soportar cargas [23].

3.6. Estándares normativos

Las normas de fabricación de tableros estructurales de madera son principalmente de dos tipos prescriptivas o basadas en rendimiento. En el pasado, las normas sobre madera contrachapada eran principalmente de tipo prescriptivo. El enfoque estándar prescriptivo proporciona una receta para la colocación de paneles, especificando las especies de enchapado y el número, espesor y resistencia nominal deseados. Un enfoque alternativo es utilizar estándares basados en el desempeño. Dichas normas especifican los niveles de desempeño requeridos para usos finales comunes en lugares de aspecto de fabricación de la construcción. Los estándares de desempeño permiten que la madera contrachapada se clasifique de manera similar para el uso en el mercado de la construcción.

La NCh3617 “Madera contrachapada estructural- Requisitos y ensayos” establece los requisitos para los principales tipos y clases de madera contrachapada estructural.

Esta norma cubre los requisitos de desempeño, el desempeño de las uniones adhesiva, las calidades, la construcción y mano de obra de los paneles, las dimensiones y tolerancias, el marcado y el contenido de humedad de la madera contrachapada estructural. La norma clasifica el contrachapado estructural por clasificación de adherencia, clasificación de claro de luz, categoría de rendimiento y grado. Proporciona métodos de prueba, un glosario de términos y definiciones comerciales y un programa de certificación de calidad mediante el cual las agencias inspeccionan, toman muestras y prueban productos para verificar su conformidad con esta norma. En apéndices no obligatorios se proporciona información sobre la practicas de industria para la preinspección, el historial de la norma, el etiquetado y los atributos del formaldehído [24]

3.7. Clasificación por claro de luz

Los grados de revestimiento llevan números en sus marcas comerciales llamados clasificaciones de extensión. Estos indican el espaciamiento máximo recomendado de centro a centro en pulgadas de soporte, sobre el cual se deben colocar los tableros en una construcción normal que cumpla con el código. Las clasificaciones de luz se aplican cuando la dimensión del tablero largo o el eje de resistencia atraviesa los soportes, a menos que el eje de resistencia este identificado de otra manera en el tablero. A manera de conversión los claros se especifican típicamente de manera individual para muros (Wall 24) y pisos sencillos (Floor 24 c.a.c), mientras que los pisos, entresijos y techo a menudo se combina en formato de fracción. Por ejemplo, una clasificación por claro de 32/16 designa un claro de luz para techo de 32 pulgadas y un claro de luz para entresijo de 16 pulgadas. (NCh3617) [25].

4. METOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presentan las diferentes metodologías para cumplir con los objetivos planteados anteriormente. La investigación se enfoca en evaluar los tableros contrachapados disponibles en el mercado chileno basándose en los requisitos de calificación de ensayos para tableros con clasificación de tramo de luz (Span-rated) descrito en el apéndice 5.8.6 de la NCh3617, descritas en el diagrama de flujo de la Figura 4. Esta evaluación se realizó en el Laboratorio de Madera Estructural, perteneciente al Instituto Forestal de Chile, sede San Pedro de la Paz, Concepción.

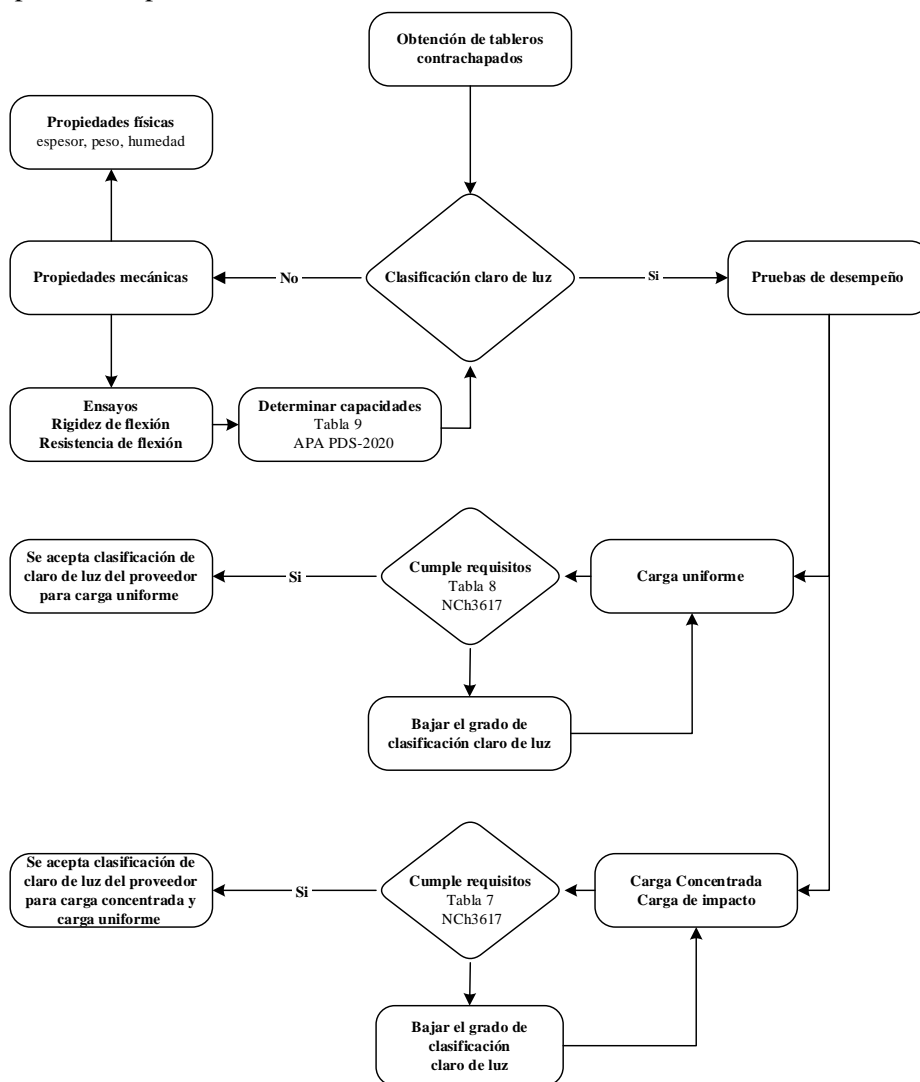


Figura 4: Diagrama de flujo metodología.

Fuente: Elaboración propia (2024)

4.1. Obtención de tableros a ensayar

Se utilizaron tableros contrachapados elaborados y comercializados en el mercado chileno, provenientes de 5 proveedores distintos. Estos tableros fueron adquiridos por el Instituto Forestal, las características y representación de estos se presentan en la siguiente Tabla 1 y Figura 5:

Tabla 1: Especificación de tableros.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Espesor (mm)	Cantidad
Proveedor 1	12	50
Proveedor 2	12	50
Proveedor 3	12	50
Proveedor 4	15	50
Proveedor 5	18	50



Figura 5: Tableros contrachapados utilizados en los ensayos.

Fuente: Elaboración propia (2024)

4.2. Clasificación por claro de luz

Para determinar el claro de luz de los tableros por proveedor seleccionados, se sometieron muestras a ensayos de flexión para establecer las propiedades mecánicas según los procedimientos de la sección 6.2.3 de la NCh3617.

4.2.1. Ensayos de flexión de tablero

Los requerimientos de la NCh3617 estipulan que este procedimiento de ensayo proveerá los datos básicos relacionados con la resistencia y rigidez de un tablero. Para lo anterior, se seguirán las indicaciones generales de la Norma ASTM D3043 Método C [26].

Este ensayo utiliza de una máquina de prueba que aplica momentos flectores debido a pares de fuerza en los extremos opuestos del tablero de prueba a través de marcos de carga que flectan el tablero fuera de su plano (Figura 6). En la configuración de la máquina los marcos de carga giratorios son fijos entre si durante la prueba. Entre los marcos de carga, la deflexión del tablero se mide utilizando la desviación de la línea central del tablero respecto a la línea de calibre fija. Los ensayos se realizaron en la máquina de ensayos Panel bending Tester – Offline, la cual es una maquina semiautomática controlada por computadora y diseñada para realizar pruebas consistentes con los requisitos de pruebas de flexión establecidas en la norma ASTM D3043 Método C (Figura 7).

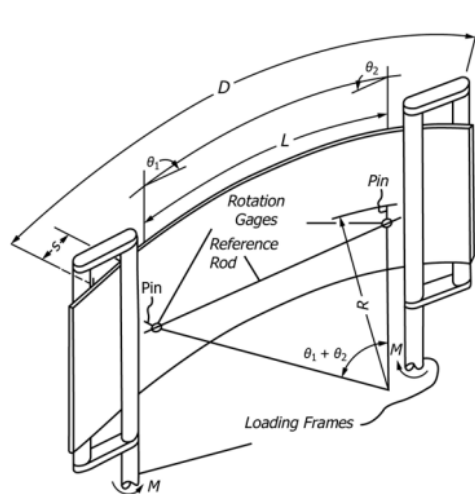


Figura 6: Esquema prueba de flexión
Fuente: ASTM D3043 Método C

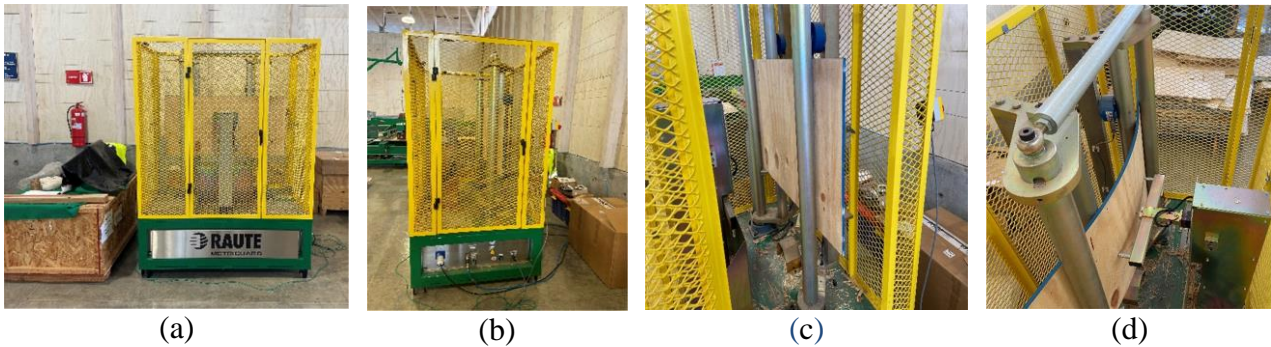


Figura 7: Máquina de ensayos Panel Bending Tester-Offline. (a) Vista frontal, (b) Vista lateral, (c) Vista frontal-45°-lateral, (d) Vista frontal-45°-lateral-45°-elevación.

4.2.2. Preparación de las probetas

Como lo señalan los procedimientos del ensayo en la NCh3617, para evaluar las propiedades mecánicas, los tableros seleccionados por proveedor se dimensionarán en 4 probetas de 48 x 24 pulgada, 2 en la orientación paralela al eje de resistencia y 2 ortogonal a él, como se puede apreciar en la Figura 8.

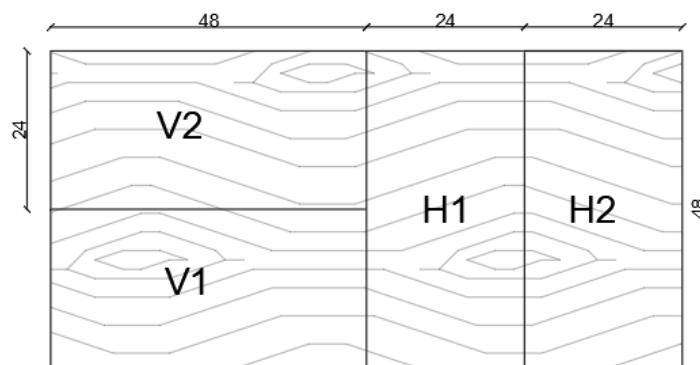


Figura 8: Esquema de obtención de probetas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

4.2.3. Propiedades físicas

Las propiedades físicas que deben ser medidas a cada una de las probetas son sus dimensiones (ancho y largo según Figura 8, más grosor), peso y contenido de humedad.

El grosor o espesor de las probetas debe ser medido en cuatro puntos, cada uno en los puntos medios de los lados de la probeta rectangular, registrando el promedio de ellos como grosor característico. Las mediciones deben ajustarse a lo indicado en la sección 5.10.2 de tolerancias de espesor en la NCh3617. Para medir se utilizó un Micrómetro digital marca Mitutoyo, modelo 293-821-30, con recorrido de 0 a 25 mm y graduación o sensibilidad de 0.001 mm (Figura 9)



Figura 9: Medición de espesor con micrómetro.
Fuente: Elaboración propia (2024)

El peso de cada probeta a ensayar debe ser medido, registrando el promedio de todas las probetas por proveedor (Figura 10). Para medir el peso se utilizó una balanza de sobre piso marca PESAMATIC modelo SKW.



Figura 10: Medición de peso con balanza de sobre piso.
Fuente: Elaboración propia (2024)

El contenido de humedad de los tableros debe ser medido según lo establecido en la sección 5.11 para contenido de humedad en la NCh3617. Para esto se ocupó un horno marca MEMMERT modelo UN30 (Figura 11).



a)



b)

Figura 11: Ensayo de humedad. a) Muestras de ensayo. b) Secado en horno.
Fuente: Elaboración propia (2024)

4.2.4. Procedimientos de resultados para la clasificación

La rigidez de flexión del tablero, o EI del tablero, se define por la ecuación (1). En la rigidez flexural EI , E es el modulo de elasticidad aparente del material e I es el momento de inercia de la sección transversal sometida a flexión. para efectos de clasificación del panel por claro de luz es relevante conocer su rigidez flexural por unidades de ancho, EI/B , donde B es el ancho de la probeta en la dirección del eje de momento flector aplicado. En las especificaciones de la APA D510F 2020 se relaciona la clasificación por claro de luz del panel con la rigidez por unidad de ancho de la probeta ensayada, EI/B (Tabla 2). El valor de EI es tabulado y se determina dividiendo el EI obtenido directamente de las pruebas del Método C ASTM D3043 por un factor de seguridad de 1,1. Con lo anterior se busca considerar de manera conservadora cualquier deformación por corte que generalmente representa una pequeña fracción del total.

$$EI = M \cdot R \quad (1)$$

Siendo

$$R = (L^2/8\Delta) + (\Delta/2) \quad (2)$$

Donde:

EI = Rigidez de flexión del tablero

M = Momento de flexión

R = Radio de curvatura del tablero

L = longitud de deflexión

Δ = Desviación

Tabla 2: Rigidez a la flexión del tablero.

Fuente: Extracto Tabla 9 APA D510F 2020

Capacidad de diseño del tablero	
Clasificación claro de luz	Rigidez a la flexión del tablero EI (lbf-pulg ² /pies de ancho del tablero)
W24	66.000
24/0	86.000
32/16	125.000
40/20	250.000
48/24	440.000

4.3. Desempeño estructural

4.3.1. Ensayo de cargas uniformes

El ensayo de carga uniforme de la sección 6.2.2 de la NCh3617, permite determina el desempeño mecánico de tableros de uso estructural bajo cargas que se comportan como uniformes tales como la nieve el viento y cargas de ocupación. Las probetas de los tableros se prueban en posición horizontal dentro de un cámara vacío soportados por miembros espaciados igual a la clasificación de claro de luz de los tableros. La carga uniforme es aplicada por presión de aire como vacío que es arrastrado bajo la probeta de ensayo y se medirá la deformación de las probetas según lo establecido por los requerimientos del ensayo en el punto de deflexión máxima mediante sensores láser marca BANNER modelo LM150KIQP (Figura 12). Los ensayos se realizaron en un cámara de vacío que cuenta con las especificaciones de sección 6.2.2. de la NCh3617. (En el ANEXO B apartado 2. Se puede apreciar en detalle la especificación del ensayo)

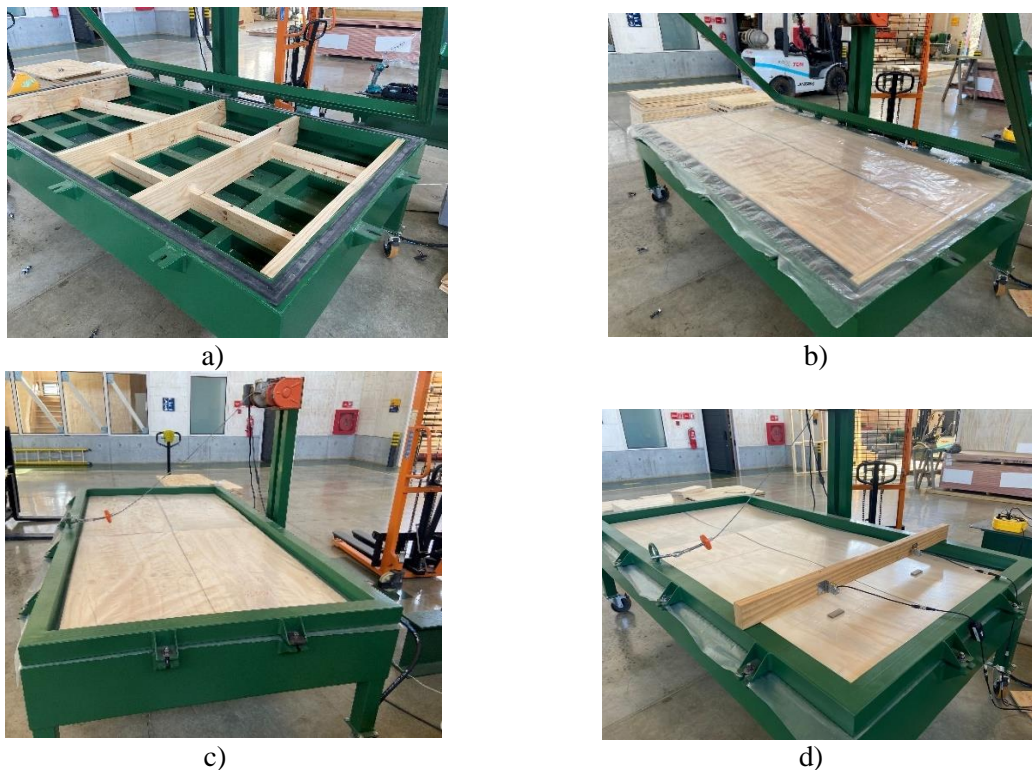


Figura 12: Ensayo de carga uniforme. a) Miembros de soporte en cámara de vacío. b) Preparación del ensayo. c) Cámara de vacío presurizada. d) realización del ensayo.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Preparación de las probetas

Las probetas seleccionadas serán representativas del producto que se está probado con un largo perpendicular al elemento estructural igual a dos veces el espaciado de centro a centro por la clasificación de claro de luz y un ancho de 24 pulgadas (Figura 13).



Figura 13: Probetas de ensayos carga uniforme. a) Vista 1. b) vista 2

Fuente: Elaboración propia (2024)

Requerimientos del ensayo

Se deben ensayar un máximo de 20 probetas tomadas de al menos 10 tableros. Se evaluaron 10 probetas tomadas de al menos 5 tableros. Para cada condición de probeta usada en los ensayos, estas fueron evaluadas para capacidad de carga uniforme de acuerdo a la sección 6.2.2 de la NCh3617. Los criterios de resistencia se encuentran en la Tabla 3. Si se necesitan ensayos adicionales, estos también consistirían en 10 probetas y se combinarán los resultados de los dos conjuntos de 10 probetas. Solo se permitirá una serie de ensayos adicionales. Si los resultados combinados cumplen o exceden la tasa mínima de aprobación, la muestra se acepta.

La deflexión promedio del conjunto de probetas no podrá ser mayor que aquella especificada en la Tabla 3. El ensayo inicial estuvo formado por 10 probetas. Si el valor promedio está bajo el requisito, la muestra se acepta. Si el valor promedio está sobre el requisito, ensayar una serie adicional. Si el valor promedio, basado en los resultados combinados está sobre el requisito, la muestra se rechaza.

El ensayo inicial de carga máxima está formado por 10 probeta. La carga promedio no podrá ser menor que el requisito pertinente a la Tabla 3. Si todos los valores cumplen o exceden el requisito, la muestra se acepta. Si uno de los valores está bajo el requisito, ensayar una serie adicional. Si dos o más valores están bajo el requisito la muestra se rechaza. Si se ensayan diez probetas adicionales, la tasa de aprobación combinada será al menos 95%.

Tabla 3: Criterios de desempeño de carga uniforme para tableros probados.

Fuente: Extracto de Tabla 8 de la NCh3617

Clasificación por claro de luz - uso final	Condición de exposición de ensayo ^(a)	Criterio de desempeño ^(b)	
		Deflexión promedio bajo carga	Carga uniforme máxima (kPa)
Techo - 16	Seco	1,7 mm a 1.68 kPa	7.2
Techo - 20		2,0 mm a 1.68 kPa	
Techo - 24		2,5 mm a 1.68 kPa	
Techo - 32		3,2 mm a 1.68 kPa	
Techo - 40		4,2 mm a 1.68 kPa	
Techo - 48		5,1 mm a 1.68 kPa	
Techo - 54		5,7 mm a 1.68 kPa	
Techo - 60		6,4 mm a 1.68 kPa	

(a) Seco estará como se haya recibido o acondicionado según ASTM E661.

(b) El eje de resistencia del tablero será colocado a lo largo de los soportes del ensayo

4.3.2. Ensayo de cargas concentradas y de impacto

Los ensayos para desempeño bajo carga estática concentrada y carga de impacto referidos en la sección 6.2.1 de la NCh3617 se basan en estipulaciones generales de ASTM E661 [26]. Este método de prueba cubre los procedimientos para determinar la desviación y el daño del tablero contrachapado usado como revestimiento de techo. Las probetas de los tableros se prueban en posición horizontal y se someten a cargas concentradas y de impacto aplicadas en la superficie superior del tablero el cual es soportado por un marco con miembros espaciados igual a la clasificación de claro de luz de los tableros. La carga estática concentrada es aplicada a través de un disco de carga de 76 mm de diámetro, en la ubicación a medio camino entre los miembros del marco y a 2.5 pulgadas del borde no soportado (Figura 14.a), se registra la deflexión del tablero para la carga que debe soportar mediante los requerimientos del ensayo. El ensayo de carga de impacto es repetitivo y se realiza mediante la caída libre de una bolsa de cuero, cuyo peso se puede ajustar y la altura de caída se va incrementa según los requerimientos del ensayo. El impacto se aplica a medio camino entre los miembros del marco y a 6 pulgadas del borde no soportado. Después de cada impacto, se aplica una carga estática concentrada para registrar la deformación alcanzada tras el daño causado. (Figura 14.b). El ensayo de carga estática concentrada como en el de carga de impacto se realizaron en la máquina de ensayos Panel Performance Tester – Offline (Figura 15), la cual es una maquina semiautomática controlada por computadora diseñada para realizar pruebas consistentes con los requisitos de pruebas estáticas concentrada, cargas de impacto y deflexión. (En el ANEXO B apartado 3. Se puede apreciar en detalle la especificación del ensayo).

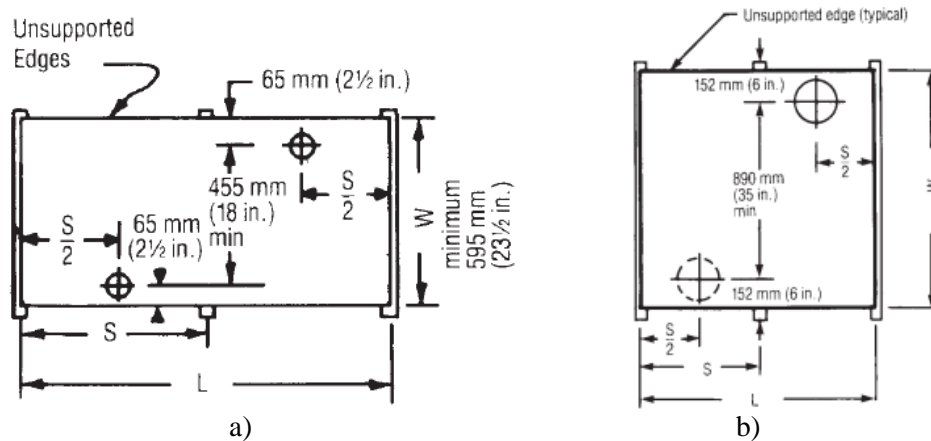


Figura 14: Esquema de ensayos. a) Carga estática concentrada. b) Carga de impacto.
Fuente: ASTM E661-03

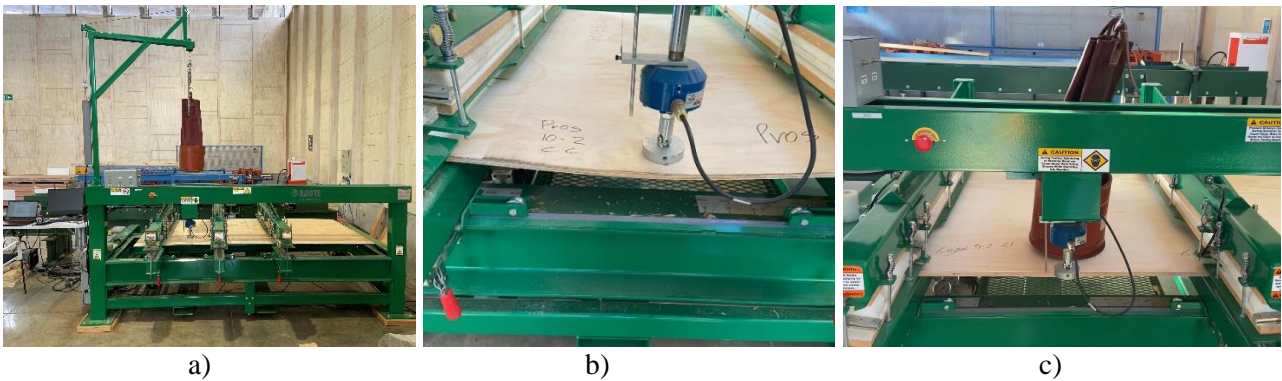


Figura 15: Ensayos carga estática concentrada y carga de impacto. a) Panel Performance Tester – Offline Carga. b) Carga estática concentra. c) Carga de impacto.
Fuente: Elaboración propia (2024)

Preparación de la muestra

Debido a que la maquina Panel Performance Tester – Offline, puede ejecutar ensayos con un tablero completo, los ensayos de carga concentrada y carga de impacto se distribuyeron en el tablero como se muestra en la Figura 16, respetando los procedimientos de ensayos de la sección 6.2.1.3 la NCh3617.

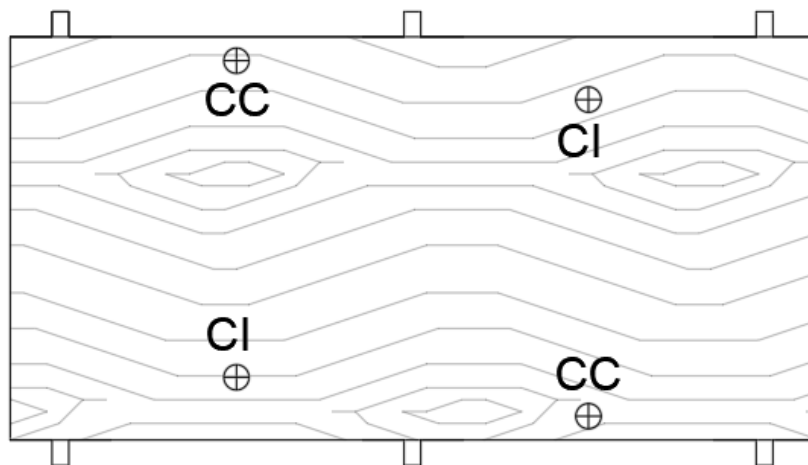


Figura 16: Distribución de ensayos de carga concentrada y carga de impacto.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Requerimientos del ensayo

Se deben ensayar un máximo de 20 probetas tomadas de al menos 10 tableros. Se evaluaron 10 probetas tomadas de al menos 5 tableros, para cada condición de exposición de prueba para cargas concentradas y cargas de impacto de acuerdo a los requerimientos del ensayo. Los requisitos y criterios de aceptación se encuentran en la Tabla 4. Si se necesitan ensayos adicionales, estos también consistirán en 10 probetas y se combinarán los resultados de los dos conjuntos de 10 probetas. Solo se permitirá una serie de ensayos adicionales. Si los resultados combinados cumplen o exceden la tasa mínima de aprobación, la muestra se acepta.

La serie de ensayos de deflexión está formada por 10 probetas. La deflexión promedio no podrá ser mayor que el requisito pertinente de la Tabla 4. Si no más de un valor esta sobre el requisito, la muestra se acepta. Si dos o tres valores están sobre el requisito, ensayar una serie adicional. Si cuatro o más valores están sobre el requisito, la muestra se rechaza. Si se ensayan diez probetas adicionales, la tasa de aprobación combinada será al menos 85%.

Carga máxima: la serie de ensayos inicial está formada por 10 probetas. La carga promedio no podrá ser menor que el requisito pertinente de la Tabla 4. Si todos los valores cumplen o exceden el requisito, la muestra es aceptada. Si uno de los valores está bajo el requisito, ensayar una serie adicional. Si dos o más valores están bajo el requisito, la muestra se rechaza. Si se ensayan diez probetas adicionales, la tasa de aprobación combinada será al menos 95%.

Tabla 4: Criterios de desempeño de ensayo de impacto y estática concentrada.

Fuente: Extracto de Tabla 7 de la NCh3617

Clasificación por claro de luz - uso final	Condición de explosión de ensayo ^(a)	Criterio de desempeño		
		Carga máxima		Deflexión bajo carga de 200 lbf ^(c)
		Estática (lbf)	Después del impacto ^(b) (ldf)	
Techo - 16	seco	400	300	0,438
Techo - 20				0,469
Techo - 24				0,500
Techo - 32				
Techo - 40				
Techo - 48				
Techo - 54				
Techo - 60				

(a) Seco estará dentro del ± 3 por ciento de contenido de humedad de fabricación

(b) El impacto será 75 lbf·ft para clasificación por claro de luz hasta 24, 90 lbf·ft para 32, 120 lbf·ft para 40 y 150 lbf·ft para 48 y mayor.

(c) Los criterios aplican para carga estática concentrada. No aplican después de impacto

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Clasificación por claro de luz

La clasificación por claro de luz permite asignar un espaciamiento máximo entre líneas de soporte de tableros contrachapados. Esto corresponde a una indicación para el constructor que use estos paneles. Adicionalmente,

esto permite discriminar la metodología para evaluación del desempeño, por lo tanto, clasificar o no al tablero para uso estructural.

5.1.1. Propiedades de las probetas

Para procesar los resultados de los ensayos de flexión, se requiere conocer las propiedades geométricas y peso de las probetas, las que se indican en la Tabla 5. Estas propiedades, junto con las mediciones experimentales, permiten determinar la rigidez y resistencia a flexión de los tableros contrachapados (Anexo A). Esta información permite clasificar los tableros para un claro de luz específico en uso como cubierta de techo.

Tabla 5: Espesores y pesos de probetas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Tamaño de la probeta (in x in)	Espesor promedio (in)	Peso promedio (lb)
1	24 x 48	0.47	9.7
2	24 x 48	0.48	9.4
3	24 x 48	0.49	10.7
4	24 x 48	0.59	12.0
5	24 x 48	0.73	14.7

5.1.2. Ensayos de humedad

La Tabla 6 muestra los resultados promedio obtenidos en los ensayos de humedad por proveedor. Los resultados detallados para cada probeta de cada proveedor se encuentran en el ANEXO A.

Tabla 6: Humedad promedio de los proveedores.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Humedad (%)
1	11.6
2	11.8
3	10.1
4	10.6
5	10.3

Los resultados obtenidos por los proveedores cumplen con el requerimiento de la sección 5.11 de la NCh3617 para contenido de humedad, que estipula “El contenido de humedad de los tableros al momento de salir de la fábrica no exceda el 18% de humedad”. El contenido de humedad no condiciona o restringe la clasificación por claro de luz. Sin embargo, es recomendable que la madera no supere el 18% de humedad para que no afecte su rendimiento y durabilidad.

5.2. Clasificación del desempeño estructural

La clasificación por claro de luz permite discriminar la metodología para clasificar a los tableros contrachapados de cada proveedor según desempeño estructural. Dicha metodología requiere de la ejecución de ensayos de flexión, de carga uniforme, carga estática concentrada y carga de impacto. La clasificación por desempeño estructural utiliza esta información, con criterios de aceptación que varían de acuerdo a la clasificación previa por claro de luz.

5.2.1. Ensayos de flexión

La Tabla 7 registra el valor referencial obtenido mediante lo establecido en la sección 5.8.6.5 de la NCh3617 para rigidez de flexión del tablero por proveedor y la clasificación a claro luz debido a la capacidad del tablero y lo requerido en la Tabla 2. Los resultados detallados de cada probeta se encuentran en el ANEXO A.

Tabla 7: Resumen de resultados ensayos de flexión.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Rango de clasificación (lb·in ² ·ft)	Clasificación
1	140.627	125.000-250.000	32/16
2	127.380	125.000-250.000	32/16
3	157.482	125.000-250.000	32/16
4	226.416	125.000-250.000	32/16
5	365.100	250.000-440.000	40/20

5.2.2. Ensayos de carga uniforme

La Tabla 8 registra los resultados de los ensayos de carga uniforme por proveedor y la clasificación por claro de luz a la que soporto. Los resultados detallados se encuentran en el ANEXO A.

Tabla 8: Resumen de resultados de ensayos de carga uniforme.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Clasificación claro de luz (in)	Estatus NCh3617
1	32	No cumple
	24	Cumple
2	32	Cumple
3	32	Cumple
4	32	Cumple
5	40	Cumple

Los proveedores fueron ensayados con carga uniforme según la clasificación de claro de luz obtenida en el apartado anterior. El proveedor 1 no cumplió con los requisitos para la clasificación de claro de luz impuesta, por lo que fue evaluado bajo una clasificación de claro de luz menor, cumpliendo así con los requisitos. Por su parte, los proveedores 2, 3, 4 y 5 sí cumplieron con la clasificación de claro de luz impuesta en el apartado anterior.

5.2.3. Ensayos de carga estática concentrada y carga de impacto

La Tabla 9 registra los resultados de los ensayos de carga concentra y de carga de impacto por proveedor y la clasificación de claro de luz que soporto. Los resultados detallados se encuentran en el ANEXO A.

Tabla 9: Resumen de ensayos de carga estática concentrada y carga de impacto.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Clasificación claro de luz (pulgadas)	Status Carga estática concentrada	Status Carga de impacto
1	24	Cumple	Cumple
2	32	No cumple	Cumple
	24	Cumple	Cumple
3	32	No cumple	Cumple
	24	Cumple	Cumple
4	32	Cumple	Cumple
5	40	Cumple	Cumple

Los resultados obtenidos en los ensayos de carga estática concentrada y carga de impacto se realizaron según la clasificación de claro de luz obtenida en el apartado anterior, excepto para el proveedor 1, que fue evaluado con la clasificación de claro de luz en la cual cumplía con los requisitos de carga uniforme. Los resultados mostraron que los proveedores 1, 4 y 5 cumplieron con la clasificación de claro de luz bajo la cual fueron ensayados. Sin embargo, los proveedores 2 y 3 no cumplieron en los ensayos de carga estática concentrada, por lo que fueron evaluados con un claro de luz menor, cumpliendo así con los requisitos tanto en carga estática concentrada como en carga de impacto.

6. CONCLUSIONES

Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados seleccionados por proveedor que son: dimensiones y peso de probetas, resistencia a flexión y rigidez flexural. Esta última permitió clasificar a los tableros de cada proveedor según claro de luz, esto es, distancia máxima entre apoyos de los tableros para que puedan ser considerados de uso estructural en cubierta de techo, bajo los requisitos de la norma NCh3617.

Los resultados de los ensayos de flexión de los tableros permitieron relacionar la rigidez flexural con el claro de luz máximo que puede soportar. Esto permitió clasificar según claro de luz máxima a cada uno de los proveedores cuyos tableros fueron estudiados, resultando en 32" (81 cm) para proveedores 1, 2, 3 y 4; y 40" (102cm) para el proveedor 5. Es importante destacar que los espesores de tableros proporcionados por cada proveedor no eran los mismos, siendo de 12mm los de proveedores 1, 2 y 3; 15mm los del proveedor 4 y 18 mm los del proveedor 5.

Al evaluar el desempeño estructural según la clasificación de claro de luz previamente establecida, se obtuvo como resultado que los proveedores 4 y 5 cumplieron con dicha clasificación, mientras que los proveedores 1, 2 y 3 no lo hicieron.

El valor referencial considerado por la NCh3617 Of 2022 para rigidez de flexión de las muestras de tableros contrachapados de un proveedor, es el que define el intervalo de confianza del 90 %; es decir, el 90% de los tableros tienen rigidez mayor o igual que la rigidez de referencia para la clasificación por claro de luz. Esto resulto ser poco exigente en los casos de estudio, ya que 3 de los 5 proveedores (proveedor 1,2 y 3) no cumplieron el requisito para la evaluación de desempeño estructural por claro de luz a 32" (81 cm). Sin embargo, si se aumenta la exigencia para la definición del valor de referencia, por ejemplo, al 95%, los tableros del proveedor 1 si cumplen con dicho requisito para la evaluación de desempeño estructural por claro de luz a 24" (61 cm). Una mayor exigencia en el valor referencial permitiría considerar la falta de cumplimiento de estándares de fabricación por parte de los proveedores chilenos.

Debido a que no existe un estándar o protocolo exigido al proceso de fabricación de tableros contrachapados de proveedores chilenos, es posible que los productos sean heterogéneos en sus propiedades, con amplia dispersión estadística de estas. Esto podría dificultar el utilizar procedimientos uniformados que se especifican

en las normativas como la NCh3617 Of. 2022. En respuesta a lo anterior, se proponen dos caminos para resolver esta posible inconsistencia. El primero es aumentar la exigencia (cumplimiento mayor al 90%) en la determinación del valor referencial para la clasificación por claro de luz de los tableros. La segunda sugerencia sería establecer protocolos y exigencias de estándares de fabricación de tableros contrachapados que deban cumplir todos los proveedores chilenos. Esto impulsaría a la industria de la madera chilena a evolucionar y producir tableros contrachapados que cumplan con la norma NCh3617, permitiendo ofrecer en el mercado un producto estructural certificado y etiquetado.

Este estudio se limitó a evaluar la calidad de los tableros contrachapados en términos de desempeño estructural para una clasificación de claro de luz en aplicaciones de techos, dejando una brecha de investigación en cuanto al rendimiento en otros usos. También se presentó la limitación de haber evaluado solo a 5 proveedores del mercado chileno. Por lo tanto, para dar continuidad a esta iniciativa de investigación, se requiere evaluación de muestras de todos los fabricantes nacionales (15, según *La industria de tableros y chapas 2022*. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 186 [11]). Además, se requeriría contar con una cantidad de muestras estadísticamente representativa de tableros en todos los espesores disponibles. Lo anterior para justificar un cambio de exigencias de fabricación normativo y, con ello, tener un impacto real en la industria y mercado nacional chileno.

7. REFERENCIAS

- [1] Woods, S. (2016, July 18). *A history of wood from the Stone Age to the 21st Century*. *Architect Magazine*. https://www.architectmagazine.com/technology/products/a-history-of-wood-from-the-stone-age-to-the-21st-century_o
- [2] Pontificia Universidad Católica de Chile. (n.d.). *Infografía madera: Propiedades* [Archivo PDF]. Madera UC. https://madera.uc.cl/images/Ciclo_de_vida_de_la_madera/infografia-madera-propiedades.pdf
- [3] Centro de Desarrollo Tecnológico. (n.d.). **Construcción sustentable: ¿Por qué la madera es beneficiosa para la salud?** Portal CDT. <https://www.cdt.cl/construccion-sustentable-por-que-la-madera-es-beneficiosa-para-la-salud/>
- [4] Fournier Zepeda, R., 2008. Construcción Sostenible y Madera: Realidades, Mitos y Oportunidades. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.
- [5] Wiegand, E. 2019. Towards a tall Woodem Built Enviromental: The impact of policy instruments on the first generations of pioneers projects. IDBS CISL, University of Cambrige.
- [6] U.S. Census Bureau, 2019. Characteristics of New Housing. <https://www.census.gov/construction/chars/.html>
- [7] Varela, F., 2017. Situación actual de la madera en Chile en el contexto de la construcción en edificación. Proyecto de Título para optar al Título profesional de Constructor Civil. Universidad Mayor, Facultad de Ciencias, Escuela de construcción Civil. 84p.
- [8] Gysling, J., Kahler, C., Soto, D., Mejías, W., Poblete, P., Álvarez, V., Bañados, J. C., Baeza, D., & Pardo, E. (2021). *Madera y construcción: Hacia una simbiosis estratégica*. Instituto Forestal. <https://wef.infor.cl/fortalecimiento/fortalecimiento.html#documentos.html>
- [9] Soto, D., Mejías, W., Gysling, J., & Bañados, J. C. (2022). *Productos de Ingeniería en Madera en Chile, 2022*. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 256. ISBN 978-956-318-248-4.
- [10] Soto, D., Gysling, J., & Pardo, E. (2022). *La industria de tableros y chapas 2022*. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 186. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/32500/32500.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [11] U.S. Department of Commerce. (2018). *Performance standard for wood structural panels, Voluntary Product Standard PS 2*. Washington, DC
- [12] Ramage, M.H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D.U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P.F. y Scherman, O., 2017. The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (1), 333–359.
- [13] SODIMAC. (2024). ¿Como elegir un tablero contrachapado? SODIMAC. <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/page/como-elegir-un-tablero-contrachapado>
- [14] Gysling, J. C., Kahler, C. G., Soto, D. A., Paz, X. L., Álvarez, V. G., Pardo, E. V., Poblete, P. H., Mejías, W. C., Bañados, J. C. M., Baeza, D. R., & Vergara, D. P. (2020). *El mercado de la madera aserrada para uso estructural en Chile*. Instituto Forestal. <https://wef.infor.cl/index.php/construccion-en-madera/documentos-tecnicos>
- [15] Wagner, M. 2018. Chile: Tableros contrachapados, un producto en alza. Cámara Forestal de Bolivia, noviembre de 2018. Disponible en: <https://cfb.org.bo/noticias/economiacomercio/chile-tableros-contrachapados-un-producto-en-alza.html>.
- [16] National Institute of Standards and Technology. (2022). *DOC PS 1-09 structural plywood. Voluntary product standards program*.
- [17] U.S. Department of Commerce. (2019). *Structural plywood, Voluntary Product Standard PS 1*. Washington, DC.

- [18] INN. (2022). Norma chilena oficial NCH3617:2022. Madera contrachapada estructural – Requisitos y ensayos. <https://www.inn.cl/node/3181>
- [19] Maloney, T. M. (1993). *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. Miller Freeman Publications.
- [20] Thomas Herzog, Julius Natterer, Roland Schweitzer, Michael Volz, Wolfgang Winter (2012). *Tinber Construction Manual* (pp. 36-42). Munich Press. <https://books.google.cl/books?id=uWvRAAAQBAJ>
- [21] Quizhpe Vimos, P. A. (2017). *Análisis de factibilidad para una fábrica de plywood como estrategia de sustitución de importaciones. Caso de estudio IMPORQUIVI CIA. LTDA*. [Trabajo de titulación, Universidad del Azuay].
- [22] APA – The Engineered Wood Association. (2020). *Panel Design Specification* (Form No. D510F).
- [23] *Plywood Design Specification*. (2015). American Plywood Association. Retrieved from <https://www.apawood.org>
- [24] Instituto Nacional de Normalización (INN). (2022). *NCh3617: Madera contrachapada estructural - Requisitos y ensayos*. Instituto Nacional de Normalización
- [25] ASTM International. (2006). *ASTM D3043-00: Standard test methods for testing structural panels in flexure*. ASTM
- [26] ASTM International. (2003). *ASTM E661-03: Test method for performance of wood and wood-based floor and roof sheathing under concentrated static and impact loads*. ASTM International

ANEXO A. Resultados de ensayos

Tabla A1: Resultados de espesor y peso de probetas para ensayos de flexión proveedor 1

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Esp. 1 (mm)	Esp. 2 (mm)	Esp. 3 (mm)	Esp. 4 (mm)	Esp. Promedio (mm)	Esp. Promedio (in)	Peso (lb)
1	1-1 V	12.87	11.91	11.95	11.94	12.17	0.48	9.5
	1-2 V	12.23	11.97	12.11	11.94	12.06	0.47	9.6
	2-1 V	11.96	12.04	11.98	11.99	11.99	0.47	9.6
	2-2 V	11.94	11.93	11.91	11.96	11.94	0.47	9.5
	3-1 V	11.89	11.96	11.90	11.90	11.91	0.47	10.1
	3-2 V	12.07	11.97	11.93	12.06	12.01	0.47	10.1
	4-1 V	12.03	11.95	12.09	11.97	12.01	0.47	9.3
	4-2 V	11.93	11.93	11.94	11.95	11.94	0.47	9.3
	5-1 V	12.05	11.97	12.08	11.96	12.01	0.47	10.4
	5-2 V	11.97	11.90	11.96	11.84	11.92	0.47	10.3
	6-1 V	12.04	11.94	12.06	11.98	12.01	0.47	9.7
	6-2 V	11.92	12.02	11.85	11.95	11.93	0.47	9.5
	7-1 V	11.94	11.96	11.85	11.99	11.94	0.47	9.4
	7-2 V	12.05	11.99	12.07	11.17	11.82	0.47	9.6
	8-1 V	12.02	11.99	12.01	11.99	12.00	0.47	9.2
	8-2 V	11.84	11.95	11.92	10.56	11.57	0.46	9.3
	9-1 V	12.37	12.34	12.33	12.20	12.31	0.48	9.7
	9-2 V	12.31	12.22	12.32	12.26	12.28	0.48	9.6
	10-1 V	12.35	12.30	12.33	12.28	12.31	0.48	9.7
	10-2 V	12.30	12.24	12.30	12.33	12.29	0.48	9.7
	1-1 H	12.08	11.90	11.90	12.35	12.06	0.47	9.7
	1-2 H	11.92	12.02	12.03	12.00	11.99	0.47	9.6
	2-1 H	12.20	12.03	12.03	12.00	12.07	0.48	9.5
	2-2 H	12.10	12.05	12.05	12.02	12.06	0.47	9.6
	3-1 H	12.13	11.90	11.83	12.12	12.00	0.47	9.9
	3-2 H	12.08	11.90	11.90	12.35	12.06	0.47	9.7
	4-1 H	10.70	11.80	11.80	11.90	11.55	0.45	9.2
	4-2 H	12.00	12.13	11.95	11.99	12.02	0.47	9.1
	5-2 H	11.95	12.03	12.04	11.98	12.00	0.47	9.8
	5-1 H	11.92	12.02	12.03	12.00	11.99	0.47	10.4
	6-1 H	11.97	12.02	12.07	12.02	12.02	0.47	9.6
	6-2 H	11.98	11.95	12.03	11.96	11.98	0.47	9.6
	7-1 H	11.70	12.00	11.97	12.01	11.92	0.47	9.9
	7-2 H	11.94	11.97	11.98	11.94	11.96	0.47	9.6
	8-1 H	11.96	11.93	12.00	11.98	11.97	0.47	9.3
	8-2 H	12.00	11.92	11.97	11.95	11.96	0.47	9.4
	9-1 H	12.34	12.25	12.26	12.27	12.28	0.48	9.9
	9-2 H	12.40	12.21	12.27	12.25	12.28	0.48	9.7
	10-1 H	12.34	12.25	12.26	12.24	12.27	0.48	9.8
	10-2 H	12.36	12.23	12.28	12.24	12.28	0.48	9.7



Tabla A2: Resultados de espesor y peso de probetas para ensayos de flexión proveedor 2

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Esp. 1 (mm)	Esp. 2 (mm)	Esp. 3 (mm)	Esp. 4 (mm)	Esp. Promedio (mm)	Esp. Promedio (in)	Peso (lb)
2	1-1 V	12.19	12.58	12.34	12.47	12.39	0.49	9.8
	1-2 V	12.27	12.55	12.36	12.52	12.43	0.49	9.7
	2-1 V	12.07	12.21	12.15	12.02	12.11	0.47	9.5
	2-2 V	12.03	11.91	12.34	11.97	12.06	0.47	9.7
	3-1 V	12.02	12.12	12.18	11.82	12.04	0.47	9.3
	3-2 V	12.08	11.83	12.21	11.92	12.01	0.47	9.5
	4-1 V	12.44	12.37	12.32	12.37	12.37	0.49	8.9
	4-2 V	12.39	12.53	12.35	12.37	12.41	0.49	9.0
	5-1 V	12.06	12.03	12.03	11.92	12.01	0.47	8.7
	5-2 V	11.88	11.97	11.98	11.90	11.93	0.47	8.7
	6-1 V	12.16	11.84	11.93	12.09	12.00	0.48	9.3
	6-2 V	12.42	11.90	11.81	12.11	12.06	0.48	9.4
	7- 1 V	11.59	11.91	11.83	11.91	11.81	0.47	9.2
	7-2 V	11.92	11.75	11.60	11.53	11.70	0.45	9.7
	8-1 V	12.07	11.76	12.38	12.12	12.08	0.48	8.6
	8-2 V	12.40	12.10	12.30	12.11	12.23	0.48	8.7
	9-1 V	12.25	12.12	12.25	12.19	12.20	0.48	9.2
	9-2 V	12.10	12.07	11.96	12.06	12.05	0.47	9.2
	10-1 V	12.20	12.19	12.08	12.33	12.20	0.49	9.1
	10-2 V	12.27	12.22	12.07	12.35	12.23	0.49	9.2
	1-1 H	12.42	12.19	12.31	12.67	12.40	0.50	10.7
	1-2 H	12.88	12.65	12.65	12.56	12.69	0.49	11.1
	2-1 H	12.09	12.22	11.94	12.14	12.10	0.48	9.7
	2-2 H	12.10	12.23	12.09	12.08	12.12	0.48	10.1
	3-1 H	12.52	12.06	12.63	12.22	12.36	0.48	10.0
	3-2 H	12.41	12.35	12.60	12.39	12.44	0.49	10.1
	4-1 H	12.19	12.28	12.07	11.95	12.12	0.47	9.4
	4-2 H	12.07	12.06	12.14	11.99	12.06	0.47	9.6
	5-1 H	12.14	12.06	12.25	12.21	12.16	0.48	9.2
	5-2 H	12.20	12.23	12.20	12.73	12.34	0.50	9.0
	6-1 H	12.04	11.66	12.00	11.75	11.86	0.46	9.4
	6-2 H	12.36	11.81	12.13	12.29	12.15	0.48	9.4
	7-1 H	11.66	11.72	11.59	11.73	11.68	0.46	9.2
	7-2 H	11.72	11.71	11.81	11.94	11.79	0.47	9.1
8-1 H	12.38	12.58	12.09	12.36	12.35	0.49	9.3	
8-2 H	12.19	12.46	12.06	12.29	12.25	0.48	9.1	
9-1 H	11.84	11.20	12.19	11.95	11.79	0.47	9.3	
9-2 H	12.08	12.14	11.79	12.00	12.00	0.47	9.1	
10-1 H	12.02	12.18	12.11	12.19	12.12	0.48	9.0	
10-2 H	12.17	12.20	12.32	11.39	12.02	0.45	9.3	

Tabla A3: Resultados de espesor y peso de probetas para ensayos de flexión proveedor 3

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Esp. 1 (mm)	Esp. 2 (mm)	Esp. 3 (mm)	Esp. 4 (mm)	Esp. Promedio (mm)	Esp. Promedio (in)	Peso (lb)
3	1-1 V	15.00	14.66	15.04	14.96	14.92	0.59	11.4
	1-2 V	15.06	14.93	14.86	15.07	14.98	0.59	11.6
	2-2 V	15.24	14.86	14.88	15.18	15.04	0.60	11.7
	2-1 V	14.74	14.91	15.39	15.19	15.06	0.60	11.6
	3-2 V	15.12	14.90	14.85	14.88	14.94	0.59	12.0
	3-1 V	14.90	14.81	15.01	14.86	14.90	0.58	11.9
	4-2 V	14.77	15.14	15.14	14.86	14.98	0.59	12.0
	4-1 V	14.77	14.80	15.01	15.10	14.92	0.59	12.0
	5-1 V	14.28	15.14	15.20	14.80	14.85	0.58	11.7
	5-2 V	14.19	14.66	14.84	15.04	14.68	0.59	11.6
	6-1 V	15.45	14.86	15.22	14.83	15.09	0.58	12.3
	6-2 V	15.28	14.88	14.91	14.99	15.01	0.59	12.5
	7-1 V	14.47	14.37	15.12	14.81	14.69	0.58	11.7
	7-2 V	15.17	14.28	14.95	14.82	14.80	0.58	11.7
	8-1 V	14.19	14.60	15.00	14.18	14.49	0.56	11.4
	8-2 V	14.25	14.04	14.86	14.61	14.44	0.58	11.4
	9-1 V	14.49	14.95	15.08	14.81	14.83	0.58	12.0
	9-2 V	14.48	15.18	15.27	14.86	14.95	0.58	12.0
	10-1 V	15.22	15.19	15.21	15.26	15.22	0.60	12.4
	10-2 V	14.91	15.25	15.25	15.14	15.14	0.60	12.5
	1-1 H	14.84	15.25	15.21	14.92	15.05	0.59	12.0
	1-2 H	15.25	14.80	14.89	15.02	14.99	0.59	11.7
	2-1 H	15.53	15.20	15.02	15.11	15.22	0.60	12.1
	2-2 H	15.16	15.44	15.14	15.15	15.22	0.60	12.0
	3-1 H	15.34	14.95	15.15	14.89	15.08	0.59	12.0
	3-2 H	15.29	14.90	15.24	15.06	15.12	0.59	11.9
	4-1 H	15.17	15.26	14.99	15.02	15.11	0.59	12.5
	4-2 H	14.83	14.84	14.69	14.75	14.78	0.58	12.3
	5-1 H	15.23	15.01	15.26	15.13	15.16	0.60	12.3
	5-2 H	14.67	15.57	14.78	14.87	14.97	0.59	12.0
	6-1 H	14.91	14.46	14.92	14.77	14.77	0.58	12.0
	6-2 H	14.68	15.11	14.93	14.55	14.82	0.57	11.4
	7-1 H	14.97	14.79	15.07	14.33	14.79	0.56	12.3
	7-2 H	15.30	14.32	15.29	15.13	15.01	0.60	12.6
	8-1 H	14.70	14.93	14.29	15.18	14.78	0.60	12.1
	8-2 H	14.93	14.99	14.79	14.92	14.91	0.59	11.8
	9-1 H	14.89	14.91	15.06	15.15	15.00	0.60	12.9
	9-2 H	15.06	15.03	15.12	14.97	15.04	0.59	12.7
	10-1 H	15.39	15.01	15.02	14.98	15.10	0.59	11.3
	10-2 H	15.07	15.40	15.14	14.93	15.13	0.59	11.6



Tabla A4: Resultados de espesor y peso de probetas para ensayos de flexión proveedor 4

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Esp. 1 (mm)	Esp. 2 (mm)	Esp. 3 (mm)	Esp. 4 (mm)	Esp. Promedio (mm)	Esp. Promedio (in)	Peso (lb)
4	1-2 V	12.27	12.57	12.54	12.31	12.42	0.48	9.4
	1-1 V	12.43	12.18	12.35	12.37	12.33	0.49	9.5
	2-1 V	11.93	12.38	12.25	11.83	12.10	0.47	9.2
	2-2 V	12.01	11.79	12.20	12.15	12.04	0.48	9.2
	3-1 V	12.23	12.30	12.18	12.19	12.23	0.48	10.9
	3-2 V	12.12	12.26	12.23	12.18	12.20	0.48	11.0
	4-2 V	12.47	12.62	12.42	12.29	12.45	0.48	11.0
	4-1 V	12.35	12.45	12.49	12.32	12.40	0.49	11.0
	5-2 V	12.55	12.65	12.31	12.37	12.47	0.49	12.8
	5-1 V	12.50	12.35	12.38	12.35	12.40	0.49	11.0
	6-2 V	12.25	12.10	11.94	12.03	12.08	0.47	10.5
	6-1 V	12.22	12.10	12.08	12.15	12.14	0.48	10.4
	7-2 V	12.38	12.14	12.22	12.12	12.22	0.48	10.2
	7-1 V	12.49	12.10	12.22	12.17	12.24	0.48	10.2
	8-2 V	12.73	12.65	12.86	12.61	12.71	0.50	9.9
	8-1 V	12.86	12.58	12.54	12.61	12.65	0.50	10.1
	9-2 V	13.09	12.72	12.51	12.42	12.68	0.49	11.5
	9-1 V	13.38	12.47	12.47	12.54	12.72	0.49	11.5
	10-2 V	13.42	13.39	13.47	13.44	13.43	0.53	11.8
	10-1 V	13.46	13.48	13.37	13.55	13.47	0.53	11.6
	1-1 H	12.25	12.34	12.17	12.43	12.30	0.49	9.9
	1-2 H	12.41	12.46	12.21	12.49	12.39	0.49	9.8
	2-1 H	12.16	11.88	12.04	12.16	12.06	0.48	9.8
	2-2 H	12.21	12.20	11.94	12.33	12.17	0.49	9.4
	3-1 H	12.29	12.40	12.28	14.42	12.85	0.57	11.4
	3-2 H	12.28	12.11	11.92	12.34	12.16	0.49	11.3
	4-1 H	12.46	12.49	12.50	12.25	12.42	0.48	10.6
	4-2 H	12.54	12.32	12.46	12.44	12.44	0.49	10.7
	5-1 H	12.36	12.49	12.50	12.53	12.47	0.49	10.8
	5-2 H	12.38	12.60	12.58	12.47	12.51	0.49	10.8
	6-1 H	12.04	12.16	12.19	12.16	12.14	0.48	10.7
	6-2 H	12.50	12.42	12.97	12.22	12.53	0.48	10.9
	7,1 H	12.16	12.18	12.27	12.13	12.18	0.48	10.9
	7-2 H	12.16	12.15	12.12	12.11	12.13	0.48	10.8
	8-1 H	12.52	12.71	12.70	12.52	12.61	0.49	11.0
	8-2 H	12.92	12.77	12.60	12.60	12.72	0.50	11.0
	9-1 H	12.87	13.30	12.85	12.72	12.93	0.50	11.3
	9-2 H	12.69	12.80	12.85	12.72	12.76	0.50	11.4
	10-1 H	13.53	13.52	13.38	13.59	13.50	0.54	11.5
	10-2 H	13.41	13.60	13.29	13.45	13.43	0.53	11.5



Tabla A5: Resultados de espesor y peso de probetas para ensayos de flexión proveedor 5

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Esp. 1 (mm)	Esp. 2 (mm)	Esp. 3 (mm)	Esp. 4 (mm)	Esp. Promedio (mm)	Esp. Promedio (in)	Peso (lb)
5	1-1 V	18.40	18.45	18.01	18.51	18.34	0.73	15.6
	1-2 V	18.52	18.10	17.95	18.32	18.22	0.72	15.4
	2-1 V	18.01	18.07	18.36	18.31	18.19	0.72	13.4
	2-2 V	18.17	18.38	18.42	18.02	18.25	0.71	13.5
	3-2 V	18.29	18.35	18.44	18.19	18.32	0.72	14.5
	3-1 V	18.27	18.13	18.45	18.61	18.37	0.73	14.6
	4-2 V	18.60	18.27	18.22	18.23	18.33	0.72	13.8
	4-1 V	18.57	18.69	18.26	18.19	18.43	0.72	14.2
	5-2 V	18.29	18.51	18.46	18.32	18.39	0.72	15.7
	5-1 V	18.25	18.31	18.30	18.69	18.39	0.74	15.5
	6-2 V	18.45	18.47	18.58	18.39	18.47	0.72	14.9
	6-1 V	18.30	18.34	18.61	18.58	18.46	0.73	14.8
	7-2 V	18.46	18.68	18.24	18.40	18.44	0.72	13.8
	7-1 V	18.37	18.48	18.08	18.56	18.37	0.73	13.8
	8-1 V	18.49	18.40	18.72	18.84	18.61	0.74	14.9
	8-2 V	18.82	18.52	18.55	18.62	18.63	0.73	14.8
	9-1 V	18.83	18.75	18.56	18.40	18.63	0.72	14.2
	9-2 V	18.76	18.43	18.58	18.56	18.58	0.73	14.1
	10-2 V	18.16	18.41	18.71	18.11	18.35	0.71	15.3
	10-1 V	18.25	18.15	18.27	18.43	18.28	0.73	15.4
	1-1 H	18.36	18.23	18.43	18.04	18.27	0.71	15.8
	1-2 H	18.19	18.11	18.21	17.82	18.08	0.70	15.2
	2-1 H	18.24	18.00	18.35	18.14	18.18	0.71	13.3
	2-2 H	18.25	17.94	18.39	18.04	18.15	0.71	13.8
	3-1 H	18.44	18.33	18.39	18.33	18.37	0.72	14.7
	3-2 H	18.62	18.31	18.51	18.17	18.40	0.72	14.8
	4-1 H	18.51	18.32	18.49	18.05	18.34	0.71	14.2
	4-2 H	18.74	18.39	18.60	18.31	18.51	0.72	14.1
	5-1 H	18.53	18.25	18.42	18.44	18.41	0.73	15.6
	5-2 H	18.56	18.39	18.49	18.21	18.41	0.72	15.5
	6-1 H	18.57	18.40	18.56	18.47	18.50	0.73	15.3
	6-2 H	18.68	18.34	18.43	18.40	18.46	0.72	15.1
	7-1 H	18.73	18.53	18.55	18.50	18.58	0.73	17.1
	7-2 H	18.84	18.55	18.71	18.68	18.70	0.74	13.7
	8-1 H	18.99	18.56	18.80	18.59	18.74	0.73	14.7
	8-2 H	18.78	18.49	18.54	18.60	18.60	0.73	14.1
	9-1 H	18.81	18.40	18.62	18.57	18.60	0.73	14.7
	9-2 H	18.53	18.49	18.37	18.63	18.50	0.73	15.0
	10-1 H	19.02	18.62	18.97	18.54	18.78	0.73	14.8
	10-2 H	18.86	18.60	18.77	18.59	18.70	0.73	14.7

Tabla A6: Resultados de ensayos de humedad proveedor 1

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Peso (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso constante (g)	Contenido de humedad (%)
1	1	129.3	11.942	150	150	115.5	11.9
	2	147.6	11.938	150	150	132.4	11.4
	3	147.4	12.020	150	150	132.4	11.3
	4	141.8	12.002	150	150	126.8	11.8
	5	138.6	12.302	150	150	124.0	11.7
	6	140.0	12.368	150	150	125.2	11.8
	7	136.8	12.354	150	150	123.1	11.2
	8	133.2	12.030	150	150	118.8	12.2
	9	136.6	12.070	150	150	122.7	11.3
	10	132.8	11.900	150	150	119.0	11.6

Tabla A7: Resultados de ensayos de humedad proveedor 2

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Peso (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso constante (g)	Contenido de humedad (%)
2	1	124.5	12.725	150	150	111.5	11.7
	2	124.9	12.275	150	150	111.8	11.7
	3	135.5	11.984	150	150	120.4	12.5
	4	122.1	11.743	150	150	109.6	11.5
	5	134.5	12.012	150	150	120.0	12.1
	6	124.8	12.438	150	150	111.6	11.9
	7	121.0	11.857	150	150	107.5	12.6
	8	124.6	11.642	150	150	111.4	11.9
	9	131.7	12.292	150	150	118.4	11.3
	10	125.0	11.776	150	150	112.2	11.4

Tabla A8: Resultados de ensayos de humedad proveedor 3

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Peso (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso constante (g)	Contenido de humedad (%)
3	1	168.2	12.576	150	150	151.4	11.0
	2	131.9	12.138	150	150	120.2	9.7
	3	132.5	12.583	150	150	118.6	11.8
	4	137.4	12.324	150	150	125.0	9.9
	5	126.1	12.272	150	150	114.2	10.4
	6	159.8	12.407	150	150	145.5	9.9
	7	154.1	12.321	150	150	140.0	10.0
	8	144.6	12.182	150	150	134.6	7.4
	9	149.4	12.157	150	150	135.4	10.3
	10	142.9	12.238	150	150	129.0	10.8

Tabla A9: Resultados de ensayos de humedad proveedor 4

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Peso (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso constante (g)	Contenido de humedad (%)
4	1	168.0	15.410	150	150	152.2	10.3
	2	161.2	15.097	150	150	146.0	10.4
	3	161.6	15.192	150	150	146.1	10.7
	4	161.9	15.215	150	150	146.6	10.4
	5	168.6	15.236	150	150	153.4	9.9
	6	183.6	14.951	150	150	166.0	10.6
	7	183.2	15.398	150	150	165.6	10.6
	8	157.0	14.942	150	150	142.1	10.4
	9	186.9	14.923	150	150	167.9	11.3
	10	156.0	14.611	150	150	140.3	11.2

Tabla A10: Resultados de ensayos de humedad proveedor 5

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Peso (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso constante (g)	Contenido de humedad (%)
5	1	221.5	18.340	150	150	199.2	11.2
	2	240.1	18.638	150	150	217.6	10.3
	3	196.7	18.112	150	150	178.9	10.0
	4	192.6	18.100	150	150	174.7	10.2
	5	221.1	18.503	150	150	199.1	11.0
	6	209.3	18.356	150	150	191.6	9.2
	7	205.9	18.492	150	150	185.2	11.2
	8	208.8	18.422	150	150	188.4	10.9
	9	223.2	18.452	150	150	204.5	9.1
	10	220.6	18.408	150	150	201.4	9.5

Tabla A11: Resultados de los ensayos de rigidez de flexión y resistencia de flexión del proveedor 1.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta vertical	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Carga máxima (lb)	Probeta Horizontal	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Resistencia de flexión (lb·in)
1	1-1 V	143097	920.5	1-1 H	36292	4241
	1-2 V	157770	1192.2	1-2 H	36292	3968
	2-1 V	188178	947.9	2-1 H	52386	8915
	2-2 V	191488	1155.9	2-2 H	53583	7429
	3-1 V	176766	1232.3	3-1 H	58165	9338
	3-2 V	161384	1038.4	3-2 H	60012	9294
	4-1 V	169671	1159.4	4-1 H	43778	4895
	4-2 V	169079	1122.6	4-2 H	50561	5410
	5-1 V	176569	1050.3	5-1 H	69921	8966
	5-2 V	183739	797.4	5-2 H	69921	8966
	6-1 V	203637	729.2	6-1 H	49166	6885
	6-2 V	211918	628.3	6-2 H	49997	9343
	7-1 V	141956	631.1	7-1 H	61174	8560
	7-2 V	144908	717.5	7-2 H	58714	6929
	8-1 V	125533	862.6	8-1 H	55416	9325
	8-2 V	107902	1045.6	8-2 H	59194	8211
	9-1 V	157517	938.0	9-1 H	49014	6325
	9-2 V	150369	878.0	9-2 H	52801	6542
	10-1 V	156046	958.9	10-1 H	60142	9718
	10-2 V	162874	952.8	10-2 H	61923	7822

Tabla A12: Resultados de los ensayos de rigidez de flexión y resistencia de flexión del proveedor 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta vertical	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	carga máxima (lb)	Probeta Horizontal	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Resistencia de flexión (lb·in)
2	1-1 V	186019	530.9	1-1 H	30954	5676
	1-2 V	197906	554.0	1-2 H	32590	5670
	2-1 V	196460	698.3	2-1 H	37676	7179
	2-2 V	209929	700.4	2-2 H	42339	6384
	3-1 V	207297	969.6	3-1 H	45075	7394
	3-2 V	206842	1057.2	3-2 H	44235	5792
	4-1 V	117416	963.5	4-1 H	37640	5676
	4-2 V	114756	1284.6	4-2 H	39535	5938
	5-1 V	145909	950.5	5-1 H	42118	5216
	5-2 V	115083	498.5	5-2 H	43299	6309
	6-1 V	187486	543.8	6-1 H	36293	4489
	6-2 V	151238	489.2	6-2 H	35769	5157
	7-1 V	123954	682.0	7-1 H	34992	4643
	7-2 V	113468	562.2	7-2 H	34562	4978
	8-1 V	97523	549.8	8-1 H	38745	6199
	8-2 V	112843	447.8	8-2 H	39793	5104
	9-1 V	145173	1099.7	9-1 H	35496	4707
	9-2 V	137440	1016.9	9-2 H	36292	6199
	10-1 V	155025	897.7	10-1 H	34125	5570
	10-2 V	156149	777.3	10-2 H	35313	5463

Tabla A13: Resultados de los ensayos de rigidez de flexión y resistencia de flexión del proveedor 3

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta vertical	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	carga máxima (lb)	Probeta Horizontal	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Resistencia de flexión (lb·in)
3	1-1 V	171030	651.7	1-1 H	54278	9439
	1-2 V	171853	783.7	1-2 H	50074	8651
	2-1 V	177135	606.2	2-1 H	45378	4087
	2-2 V	175447	1364.8	2-2 H	46726	5884
	3-1 V	161594	1254.8	3-1 H	97955	14564
	3-2 V	185981	1517.3	3-2 H	91084	13401
	4-1 V	174152	1160.3	4-1 H	65614	7026
	4-2 V	165705	1277.5	4-2 H	68152	6833
	5-1 V	184267	1188.4	5-1 H	72242	10104
	5-2 V	171991	1421.7	5-2 H	68181	9188
	6-1 V	221620	1421.7	6-1 H	63186	6575
	6-2 V	209373	1457.0	6-2 H	67438	6977
	7-1 V	192476	1297.8	7-1 H	72001	9163
	7-2 V	205523	1406.8	7-2 H	73047	8084
	8-1 V	164115	1365.7	8-1 H	100235	13151
	8-2 V	179441	1486.2	8-2 H	101987	11358
	9-1 V	176785	1221.8	9-1 H	93511	10995
	9-2 V	196876	1528.4	9-2 H	88846	10581
	10-1 V	154531	829.9	10-1 H	91181	10340
	10-2 V	155941	800.8	10-2 H	75468	11385

Tabla A14: Resultados de los ensayos de rigidez de flexión y resistencia de flexión del proveedor 4

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta Vertical	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	carga máxima (lb)	Probeta Horizontal	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Resistencia de flexión (lb·in)
4	1-1 V	269508	1430.7	1-1 H	101477	6907
	1-2 V	281031	1117.4	1-2 H	96602	6245
	2-1 V	211568	1699.5	2-1 H	87886	11282
	2-2 V	253958	1693.1	2-2 H	89019	10764
	3-1 V	301995	1608.0	3-1 H	91819	4733
	3-2 V	275016	1627.6	3-2 H	85652	6568
	4-1 V	367322	847.0	4-1 H	125958	14608
	4-2 V	356671	842.2	4-2 H	81462	8758
	5-1 V	323126	635.2	5-1 H	155057	12405
	5-2 V	315782	492.1	5-2 H	81068	10331
	6-1 V	195531	318.3	6-1 H	65974	5739
	6-2 V	201979	327.0	6-2 H	48498	5524
	7-1 V	218857	505.7	7-1 H	52716	9379
	7-2 V	226158	463.2	7-2 H	84954	10793
	8-1 V	225926	407.3	8-1 H	96645	9747
	8-2 V	196924	386.3	8-2 H	75133	8729
	9-1 V	340440	609.9	9-1 H	114800	9415
	9-2 V	332231	698.7	9-2 H	96754	7331



	10-1 V	254795	1549.4	10-1 H	64878	11472
	10-2 V	240989	1752.6	10-2 H	77375	15068

Tabla A15: Resultados de los ensayos de rigidez de flexión y resistencia de flexión del proveedor 5

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta vertical	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	carga máxima (lb)	Probeta Horizontal	Rigidez de flexión (lb·in ² ·ft)	Resistencia de flexión (lb·in)
5	1-1 V	411992	1232.5	1-1 H	586086	36244
	1-2 V	442741	1701.6	1-2 H	406126	26004
	2-1 V	359768	944.0	2-1 H	301596	13220
	2-2 V	336399	1155.4	2-2 H	386905	18429
	3-1 V	499042	1738.3	3-1 H	198228	11278
	3-2 V	506677	1797.1	3-2 H	214385	12974
	4-1 V	397310	1329.2	4-1 H	275246	8902
	4-2 V	426116	1501.0	4-2 H	289136	9250
	5-1 V	479637	1208.2	5-1 H	404110	23122
	5-2 V	551435	1364.9	5-2 H	425582	23673
	6-1 V	421109	1607.1	6-1 H	385892	21549
	6-2 V	430849	1418.1	6-2 H	359644	29267
	7-1 V	341192	1402.0	7-1 H	250814	12891
	7-2 V	324895	1248.7	7-2 H	281333	13149
	8-1 V	495233	1350.4	8-1 H	390536	13027
	8-2 V	519875	1748.9	8-2 H	374733	10212
	9-1 V	504606	1284.2	9-1 H	310471	13821
	9-2 V	482488	1325.9	9-2 H	300383	17731
	10-1 V	300109	1133.1	10-1 H	233879	10425
	10-2 V	350189	1298.9	10-2 H	235203	9325



Tabla A16: Resultados de ensayo de carga uniforme proveedor 1, claro de luz 32 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	uso final	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa
1	1-1	32	Techo	6.2	No cumple	Cumple
	1-2			7.3	No cumple	Cumple
	2-1			2.8	Cumple	Cumple
	2-2			2.2	Cumple	Cumple
	3-1			5.1	No cumple	Cumple
	3-2			5.7	No cumple	Cumple
	4-1			4.7	No cumple	Cumple
	4-2			5.2	No cumple	Cumple
	5-1			-	-	-
	5-2			-	-	-
	6-1			-	-	-
	6-2			-	-	-
	7-1			-	-	-
	7-2			-	-	-
	8-1			-	-	-
	8-2			-	-	-
	9-1			-	-	-
	9-2			-	-	-
	10-1			-	-	-
	10-2			-	-	-



Tabla A17: Resultados de ensayo de carga uniforme proveedor 1, claro de luz 24 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	uso final	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa.
1	1-1	24	Techo	0.8	Cumple	Cumple
	1-2			1.3	Cumple	Cumple
	2-1			1.4	Cumple	Cumple
	2-2			2.1	Cumple	Cumple
	3-1			2.2	Cumple	Cumple
	3-2			1.9	Cumple	Cumple
	4-1			1.3	Cumple	Cumple
	4-2			0.8	Cumple	Cumple
	5-1			4.6	No cumple	Cumple
	5-2			2.0	Cumple	Cumple
	6-1			2.1	Cumple	Cumple
	6-2			3.7	No cumple	Cumple
	7-1			9.1	No cumple	Cumple
	7-2			2.1	Cumple	Cumple
	8-1			1.1	Cumple	Cumple
	8-2			2.1	Cumple	Cumple
	9-1			2.4	Cumple	Cumple
	9-2			2.7	No cumple	Cumple
	10-1			2.1	Cumple	Cumple
	10-2			3.0	No cumple	Cumple



Tabla A18: Resultado de ensayo carga uniforme proveedor 2, claro de luz 32 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	uso final	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa
2	1-1	32	Techo	2.4	Cumple	Cumple
	1-2			2.2	Cumple	Cumple
	2-1			2.9	Cumple	Cumple
	2-2			2.9	Cumple	Cumple
	3-1			3.3	Cumple	Cumple
	3-2			2.8	Cumple	Cumple
	4-1			3.1	Cumple	Cumple
	4-2			2.4	Cumple	Cumple
	5-1				Cumple	Cumple
	5-2			2.8	Cumple	Cumple
	6-1			3.4	Cumple	Cumple
	6-2			4.2	No cumple	Cumple
	7-1			3.5	No cumple	Cumple
	7-2			4.3	No cumple	Cumple
	8-1			4.2	No cumple	Cumple
	8-2			4.6	No cumple	Cumple
	9-1			3.5	No cumple	Cumple
	9-2			3.6	No cumple	Cumple
	10-1			2.4	Cumple	Cumple
	10-2			4.0	No cumple	Cumple



Tabla A19: Resultado de ensayo carga uniforme proveedor 3, claro de luz 32 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa
3	1-1	Techo-32	4.9	No cumple	Cumple
	1-2		1.5	Cumple	Cumple
	2-1		3.8	No cumple	Cumple
	2-2		2.0	Cumple	Cumple
	3-1		3.9	No cumple	Cumple
	3-2		3.0	Cumple	Cumple
	4-1		3.2	Cumple	Cumple
	4-2		3.1	Cumple	Cumple
	5-1		4.8	No cumple	Cumple
	5-2		2.9	Cumple	Cumple
	6-1		3.0	Cumple	Cumple
	6-2		3.0	Cumple	Cumple
	7-1		3.6	No cumple	Cumple
	7-2		2.8	Cumple	Cumple
	8-1		2.8	Cumple	Cumple
	8-2		3.1	Cumple	Cumple
	9-1		4.0	No cumple	Cumple
	9-2		3.5	No cumple	Cumple
	10-1		3.4	Cumple	Cumple
	10-2		4.2	No cumple	Cumple



Tabla A20: Resultado de ensayo carga uniforme proveedor 4, claro de luz 32 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa
4	1-1	Techo-32	2.6	Cumple	Cumple
	1-2		3.4	Cumple	Cumple
	2-1		6.4	No cumple	Cumple
	2-2		7.2	No cumple	Cumple
	3-1		5.7	No cumple	Cumple
	3-2		5.7	No cumple	Cumple
	4-1		7.4	No cumple	Cumple
	4-2		1.3	Cumple	Cumple
	5-1		5.2	No cumple	Cumple
	5-2		1.7	Cumple	Cumple
	6-1		1.1	Cumple	Cumple
	6-2		1.3	Cumple	Cumple
	7-1		1.4	Cumple	Cumple
	7-2		2.5	Cumple	Cumple
	8-1		2.0	Cumple	Cumple
	8-2		1.3	Cumple	Cumple
	9-1		3.2	Cumple	Cumple
	9-2		2.3	Cumple	Cumple
	10-1		3.7	No cumple	Cumple
	10-2		1.2	Cumple	Cumple



Tabla A21: Resultado de ensayo carga uniforme proveedor 5, claro de luz 40 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Deformación para 1.68 Kpa (mm)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 7.2 Kpa
5	1-1	Techo-40	3.8	Cumple	Cumple
	1-2		3.9	Cumple	Cumple
	2-1		4.7	No cumple	Cumple
	2-2		5.1	No cumple	Cumple
	3-1		4.0	Cumple	Cumple
	3-2		3.2	Cumple	Cumple
	4-1		3.0	Cumple	Cumple
	4-2		3.0	Cumple	Cumple
	5-1		3.7	Cumple	Cumple
	5-2		3.7	Cumple	Cumple
	6-1		3.6	Cumple	Cumple
	6-2		3.3	Cumple	Cumple
	7-1		5.1	No cumple	Cumple
	7-2		3.9	Cumple	Cumple
	8-1		3.9	Cumple	Cumple
	8-2		4.1	Cumple	Cumple
	9-1		3.8	Cumple	Cumple
	9-2		3.5	Cumple	Cumple
	10-1		3.4	Cumple	Cumple
	10-2		2.9	Cumple	Cumple

Tabla A22: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 1, claro de luz 24 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
1	1-1	Techo-24	Seco Húmedo	0.350	Cumple	Cumple
	1-2			0.340	Cumple	Cumple
	2-1			0.300	Cumple	Cumple
	2-2			0.270	Cumple	Cumple
	3-1			0.260	Cumple	Cumple
	3-2			0.240	Cumple	Cumple
	4-1			0.210	Cumple	Cumple
	4-2			0.240	Cumple	Cumple
	5-1			0.320	Cumple	Cumple
	5-2			0.270	Cumple	Cumple
	6-1			0.320	Cumple	Cumple
	6-2			0.280	Cumple	Cumple
	7-1			0.220	Cumple	Cumple
	72			0.250	Cumple	Cumple
	8-1			0.210	Cumple	Cumple
	8-2			0.230	Cumple	Cumple
	9-1			0.210	Cumple	Cumple
	9-2			0.240	Cumple	Cumple
	10-1			0.234	Cumple	Cumple
	10-2			0.269	Cumple	Cumple

Tabla A23: Resultados de ensayo de carga de impacto proveedor 1, claro de luz 24 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)						Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima después de impacto 300 lbs
				Carga inicial sin impacto	Impacto 1 (6 in)	Impacto 2 (12 in)	Impacto 3 (18 in)	Impacto 4 (24 in)	Impacto 5 (30 in)		
1	1-1	Techo- 24	Seco Húmedo	0.249	0.245	0.251	0.260	0.259	0.265	Cumple	Cumple
	1-2			0.239	0.239	0.243	0.250	0.254	0.257	Cumple	Cumple
	2-1			0.196	0.200	0.203	0.200	0.206	0.210	Cumple	Cumple
	2-2			0.216	0.217	0.219	0.220	0.231	0.452	Cumple	Cumple
	3-1			0.167	0.165	0.167	0.170	0.186	0.190	Cumple	Cumple
	3-2			0.164	0.164	0.167	0.170	0.169	0.173	Cumple	Cumple
	4-1			0.159	0.161	0.163	0.160	0.164	0.165	Cumple	Cumple
	4-2			0.150	0.147	0.148	0.150	0.150	0.152	Cumple	Cumple
	5-1			0.183	0.183	0.189	0.190	0.190	0.194	Cumple	Cumple
	5-2			0.179	0.178	0.183	0.180	0.183	0.188	Cumple	Cumple
	6-1			0.194	0.191	0.198	0.200	0.201	0.203	Cumple	Cumple
	6-2			0.189	0.187	0.188	0.190	0.194	0.194	Cumple	Cumple
	7-1			0.196	0.167	0.171	0.170	0.172	0.177	Cumple	Cumple
	7-2			0.148	0.145	0.145	0.140	0.149	0.151	Cumple	Cumple
	8-1			0.143	0.147	0.146	0.150	0.148	0.151	Cumple	Cumple
	8-2			0.143	0.144	0.145	0.150	0.148	0.149	Cumple	Cumple
	9-1			0.147	0.154	0.157	0.150	0.157	0.155	Cumple	Cumple
	9-2			0.162	0.161	0.163	0.170	0.164	0.167	Cumple	Cumple
	10-1			0.178	0.177	0.180	0.180	0.184	0.190	Cumple	Cumple
	10-2			0.172	0.169	0.174	0.173	0.176	0.180	Cumple	Cumple

Tabla A24: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 1, claro de luz 24 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
2	1-1	Techo-32	Seco Húmedo	0.510	No cumple	Cumple
	1-2			0.460	Cumple	Cumple
	2-1			0.530	No cumple	Cumple
	2-2			0.630	No cumple	Cumple
	3-1			0.501	No cumple	Cumple
	3-2			0.502	No cumple	Cumple



Tabla A25: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 1, claro de luz 24 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
2	1-1	Techo-24	Seco Húmedo	0.259	Cumple	Cumple
	1-2			0.335	Cumple	Cumple
	2-1			0.305	Cumple	Cumple
	2-2			0.282	Cumple	Cumple
	3-1			0.323	Cumple	Cumple
	3-2			0.335	Cumple	Cumple
	4-1			0.265	Cumple	Cumple
	4-2			0.279	Cumple	Cumple
	5-1			0.370	Cumple	Cumple
	5-2			0.420	Cumple	Cumple
	6-1			0.262	Cumple	Cumple
	6-2			0.307	Cumple	Cumple
	7-1			0.298	Cumple	Cumple
	7-2			0.317	Cumple	Cumple
	8-1			0.304	Cumple	Cumple
	8-2			0.296	Cumple	Cumple
	9-1			0.230	Cumple	Cumple
	9-2			0.266	Cumple	Cumple
	10-1			0.297	Cumple	Cumple
	10-2			0.274	Cumple	Cumple

Tabla A26: Resultados de ensayo de carga de impacto proveedor 2, claro de luz 24 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)						Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima después de impacto 300 lbs
				Carga inicial sin impacto	Impacto 1 (6 in)	Impacto 2 (12 in)	Impacto 3 (18 in)	Impacto 4 (24 in)	Impacto 5 (30 in)		
2	1-1	Techo-24	Seco Húmedo	0.249	0.245	0.251	0.260	0.259	0.265	Cumple	Cumple
	1-2			0.239	0.239	0.243	0.250	0.254	0.257	Cumple	Cumple
	2-1			0.196	0.200	0.203	0.200	0.206	0.210	Cumple	Cumple
	2-2			0.216	0.217	0.219	0.220	0.231	0.452	Cumple	Cumple
	3-1			0.167	0.165	0.167	0.170	0.186	0.190	Cumple	Cumple
	3-2			0.164	0.164	0.167	0.170	0.169	0.173	Cumple	Cumple
	4-1			0.159	0.161	0.163	0.160	0.164	0.165	Cumple	Cumple
	4-2			0.150	0.147	0.148	0.150	0.150	0.152	Cumple	Cumple
	5-1			0.183	0.183	0.189	0.190	0.190	0.194	Cumple	Cumple
	5-2			0.179	0.178	0.183	0.180	0.183	0.188	Cumple	Cumple
	6-1			0.194	0.191	0.198	0.200	0.201	0.203	Cumple	Cumple
	6-2			0.189	0.187	0.188	0.190	0.194	0.194	Cumple	Cumple
	7-1			0.196	0.167	0.171	0.170	0.172	0.177	Cumple	Cumple
	7-2			0.148	0.145	0.145	0.140	0.149	0.151	Cumple	Cumple
	8-1			0.143	0.147	0.146	0.150	0.148	0.151	Cumple	Cumple
	8-2			0.143	0.144	0.145	0.150	0.148	0.149	Cumple	Cumple
	9-1			0.147	0.154	0.157	0.150	0.157	0.155	Cumple	Cumple
	9-2			0.162	0.161	0.163	0.170	0.164	0.167	Cumple	Cumple
10-1	0.178	0.177	0.180	0.180	0.184	0.190	Cumple	Cumple			
10-2	0.172	0.169	0.174	0.173	0.176	0.180	Cumple	Cumple			

Tabla A27: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 3, claro de luz 24 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
3	1-1	Techo-32	Seco Húmedo	0.571	No cumple	Cumple
	1-2			0.491	Cumple	Cumple
	2-1			0.477	No cumple	Cumple
	2-2			0.496	No cumple	Cumple

Tabla A28: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 3, claro de luz 24 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
3	1-1	Techo-24	Seco Húmedo	0.251	Cumple	Cumple
	1-2			0.251	Cumple	Cumple
	2-1			0.258	Cumple	Cumple
	2-2			0.233	Cumple	Cumple
	3-1			0.275	Cumple	Cumple
	3-2			0.281	Cumple	Cumple
	4-1			0.294	Cumple	Cumple
	4-2			0.300	Cumple	Cumple
	5-1			0.284	Cumple	Cumple
	5-2			0.293	Cumple	Cumple
	6-1			0.261	Cumple	Cumple
	6-2			0.253	Cumple	Cumple
	7-1			0.300	Cumple	Cumple
	7-2			0.298	Cumple	Cumple
	8-1			0.273	Cumple	Cumple
	8-2			0.275	Cumple	Cumple
	9-1			0.215	Cumple	Cumple
	9-2			0.228	Cumple	Cumple
	10-1			0.258	Cumple	Cumple
	10-2			0.212	Cumple	Cumple

Tabla A29: Resultados de ensayo de carga de impacto proveedor 3, claro de luz 24 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)						Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima después de impacto 300 lbs
				Sin impacto	Impacto 1 (6 in)	Impacto 2 (12 in)	Impacto 3 (18 in)	Impacto 4 (24 in)	Impacto 5 (30 in)		
3	1-1	Techo-24	Seco Húmedo	0.151	0.147	0.148	0.150	0.157	0.156	Cumple	Cumple
	1-2			0.174	0.172	0.177	0.180	0.180	0.180	Cumple	Cumple
	2-1			0.172	0.168	0.173	0.180	0.176	0.178	Cumple	Cumple
	2-2			0.157	0.156	0.157	0.160	0.163	0.164	Cumple	Cumple
	3-1			0.170	0.168	0.171	0.170	0.178	0.223	Cumple	Cumple
	3-2			0.192	0.192	0.191	0.200	0.206	0.313	Cumple	Cumple
	4-1			0.184	0.184	0.187	0.190	0.196	0.191	Cumple	Cumple
	4-2			0.187	0.193	0.190	0.190	0.195	0.195	Cumple	Cumple
	5-1			0.207	0.211	0.213	0.220	0.218	0.222	Cumple	Cumple
	5-2			0.183	0.186	0.185	0.190	0.189	0.191	Cumple	Cumple
	6-1			0.163	0.166	0.169	0.170	0.173	0.168	Cumple	Cumple
	6-2			0.170	0.174	0.177	0.180	0.179	0.183	Cumple	Cumple
	7-1			0.205	0.200	0.204	0.210	0.235	0.241	Cumple	Cumple
	7-2			0.193	0.196	0.194	0.200	0.199	0.204	Cumple	Cumple
	8-1			0.190	0.193	0.198	0.200	0.239	0.424	Cumple	Cumple
	8-2			0.186	0.183	0.185	0.190	0.194	0.191	Cumple	Cumple
	9-1			0.135	0.135	0.136	0.138	0.140	0.141	Cumple	Cumple
	9-2			0.165	0.163	0.166	0.170	0.174	0.179	Cumple	Cumple
10-1	0.157	0.158	0.161	0.161	0.164	0.165	Cumple	Cumple			
10-2	0.149	0.151	0.156	0.157	0.161	0.161	Cumple	Cumple			



Tabla A30: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 4, claro de luz 32 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
4	1-1	Techo-32	Seco Húmedo	0.388	Cumple	Cumple
	1-2			0.303	Cumple	Cumple
	2-1			0.297	Cumple	Cumple
	2-2			0.289	Cumple	Cumple
	3-1			0.324	Cumple	Cumple
	3-2			0.31	Cumple	Cumple
	4-1			0.346	Cumple	Cumple
	4-2			0.313	Cumple	Cumple
	5-1			0.329	Cumple	Cumple
	5-2			0.354	Cumple	Cumple
	6-1			0.353	Cumple	Cumple
	6-2			0.280	Cumple	Cumple
	7-1			0.382	Cumple	Cumple
	7-2			0.391	Cumple	Cumple
	8-1			0.454	Cumple	Cumple
	8-2			0.360	Cumple	Cumple
	9-1			0.333	Cumple	Cumple
	9-2			0.341	Cumple	Cumple
	10-1			0.365	Cumple	Cumple
	10-2			0.378	Cumple	Cumple

Tabla A31: Resultados de ensayo de carga de impacto proveedor 4, claro de luz 32 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)				Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima después de impacto 300 lbs
				Carga inicial sin impacto	Impacto 1 (6 in)	Impacto 2 (12 in)	Impacto 3 (18 in)		
4	1-1	Techo-32	Seco Húmedo	0.252	0.255	0.264	0.269	Cumple	Cumple
	1-2			0.202	0.209	0.205	0.210	Cumple	Cumple
	2-1			0.216	0.213	0.219	0.222	Cumple	Cumple
	2-2			0.203	0.206	0.211	0.209	Cumple	Cumple
	3-1			0.228	0.227	0.236	0.239	Cumple	Cumple
	3-2			0.212	0.206	0.207	0.216	Cumple	Cumple
	4-1			0.212	0.215	0.211	0.220	Cumple	Cumple
	4-2			0.190	0.187	0.191	0.196	Cumple	Cumple
	5-1			0.215	0.216	0.22	0.23	Cumple	Cumple
	5-2			0.249	0.255	0.252	0.26	Cumple	Cumple
	6-1			0.255	0.252	0.257	0.26	Cumple	Cumple
	6-2			0.187	0.190	0.190	0.192	Cumple	Cumple
	7-1			0.264	0.264	0.27	0.25	Cumple	Cumple
	7-2			0.238	0.275	0.287	0.32	Cumple	Cumple
	8-1			0.291	0.287	0.291	0.48	Cumple	Cumple
	8-2			0.241	0.267	0.271	0.27	Cumple	Cumple
	9-1			0.253	0.255	0.261	0.360	Cumple	Cumple
	9-2			0.248	0.246	0.255	0.253	Cumple	Cumple
	10-1			0.233	0.237	0.242	0.256	Cumple	Cumple
	10-2			0.267	0.267	0.275	0.245	Cumple	Cumple



Tabla A32: Resultados de ensayo de carga estática concentrada proveedor 5, claro de luz 40 pulgadas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)	Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima 400 lbs
5	1-1	Techo-40	Seco Húmedo	0.352	Cumple	Cumple
	1-2			0.394	Cumple	Cumple
	2-1			0.350	Cumple	Cumple
	2-2			0.405	Cumple	Cumple
	3-1			0.510	Cumple	Cumple
	3-2			0.548	Cumple	Cumple
	4-1			0.452	Cumple	Cumple
	4-2			0.404	Cumple	Cumple
	5-1			0.426	Cumple	Cumple
	5-2			0.453	Cumple	Cumple
	6-1			0.404	Cumple	Cumple
	6-2			0.391	Cumple	Cumple
	7-1			0.341	Cumple	Cumple
	7-2			0.346	Cumple	Cumple
	8-1			0.337	Cumple	Cumple
	8-2			0.314	Cumple	Cumple
	9-1			0.427	Cumple	Cumple
	9-2			0.509	Cumple	Cumple
	10-1			0.395	Cumple	Cumple
	10-2			0.385	Cumple	Cumple

Tabla A33: Resultados de ensayo de carga de impacto proveedor 5, claro de luz 40 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Proveedor	Probeta	Uso final- Clasificación por claro de luz (Pulgadas)	Condición de Exposición de ensayo	Deformación para 200 lbs (in)						Status NCh3617	Status NCh3617 Carga Máxima después de impacto 300 lbs
				Carga inicial sin impacto	Impacto 1 (6 in)	Impacto 2 (12 in)	Impacto 3 (18 in)	Impacto 4 (24 in)	Impacto 5 (30 in)		
5	1-1	Techo-40	Seco Húmedo	0.263	0.263	0.274	0.275	0.276	0.276	Cumple	Cumple
	1-2			0.269	0.271	0.274	0.280	0.330	0.478	Cumple	Cumple
	2-1			0.274	0.269	0.278	0.284	0.281	0.483	Cumple	Cumple
	2-2			0.265	0.267	0.269	0.270	0.274	0.278	Cumple	Cumple
	3-1			0.366	0.375	0.365	0.377	0.379	0.387	Cumple	Cumple
	3-2			0.350	0.343	0.356	0.366	0.383	0.419	Cumple	Cumple
	4-1			0.317	0.314	0.322	0.322	0.328	0.382	Cumple	Cumple
	4-2			0.300	0.300	0.306	0.310	0.317	0.315	Cumple	Cumple
	5-1			0.279	0.284	0.284	0.291	0.638	0.712	Cumple	Cumple
	5-2			0.299	0.304	0.313	0.313	0.592	0.713	Cumple	Cumple
	6-1			0.276	0.275	0.278	0.492	0.583	0.623	Cumple	Cumple
	6-2			0.265	0.262	0.267	0.269	0.274	0.554	Cumple	Cumple
	7-1			0.307	0.305	0.307	0.311	0.317	0.320	Cumple	Cumple
	7-2			0.242	0.235	0.242	0.243	0.253	0.251	Cumple	Cumple
	8-1			0.213	0.214	0.213	0.216	0.216	0.216	Cumple	Cumple
	8-2			0.220	0.220	0.220	0.235	0.334	0.418	Cumple	Cumple
	9-1			0.333	0.329	0.341	0.341	0.349	0.479	Cumple	Cumple
	9-2			0.309	0.310	0.311	0.324	0.321	0.624	Cumple	Cumple
	10-1			0.285	0.286	0.291	0.297	0.297	0.307	Cumple	Cumple
	10-2			0.285	0.281	0.287	0.296	0.302	0.310	Cumple	Cumple

ANEXO B: Imágenes de ensayos

1. Ensayos de flexión

1.1. Proveedor 1



Figura B 1: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



Figura B 2: a) y b) Probeta para ensayo de flexión vertical al eje de resistencia



Figura B 3: a) y b) Probeta ensayadas en flexión vertical al eje de resistencia con falla en los costados



Figura B 4: a) y b) Probeta ensayadas en flexión horizontal al eje de resistencia con falla en el centro

1.2. Proveedor 2



a)

b)

Figura B 5: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 6: a) y b) Probeta para ensayo de flexión vertical al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 7: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 8: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia

1.3. Proveedor 3



a)

b)

Figura B 9: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 10: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 11: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 12: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia

1.4. Proveedor 4



a)



b)

Figura B 13: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)



b)

Figura B 14: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)



b)

Figura B 15: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)



b)

Figura B 16: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia

1.5. Proveedor 5



a)

b)

Figura B 17: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 18: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 19: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia



a)

b)

Figura B 20: a) y b) Probeta para ensayo de flexión horizontal al eje de resistencia

2. Carga uniforme

3.1. Proveedor 1, 2 y 3



Figura B 21: Distribución de los apoyos a claro de luz 24" (61 cm). a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

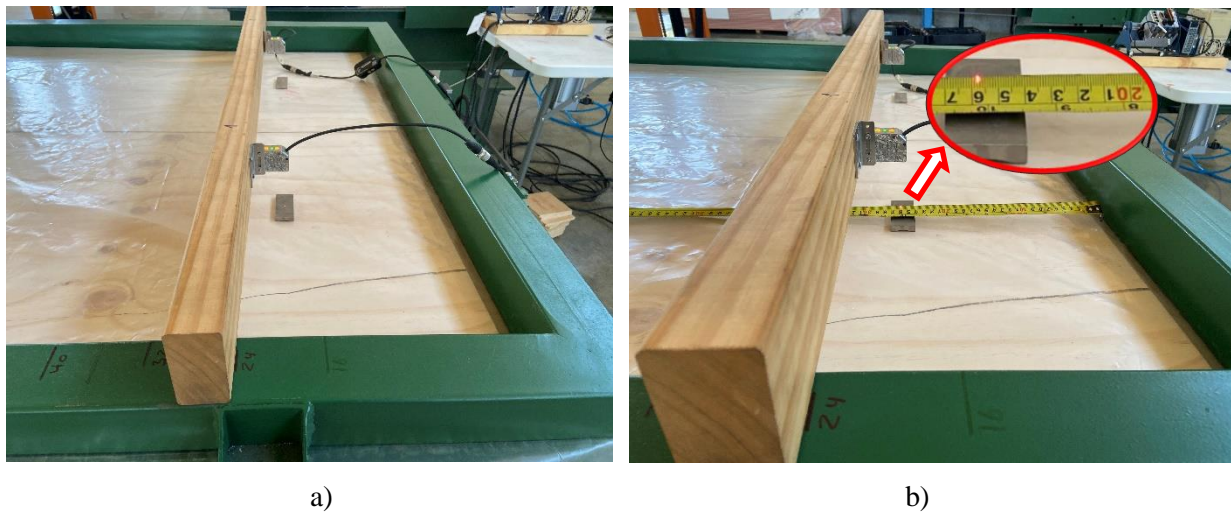


Figura B 22: Posición del sensor de para medir deformación a 25.7 cm. a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.2. Proveedor 4



Figura B 23: Distribución de los apoyos a claro de luz 32'' (81 cm). a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

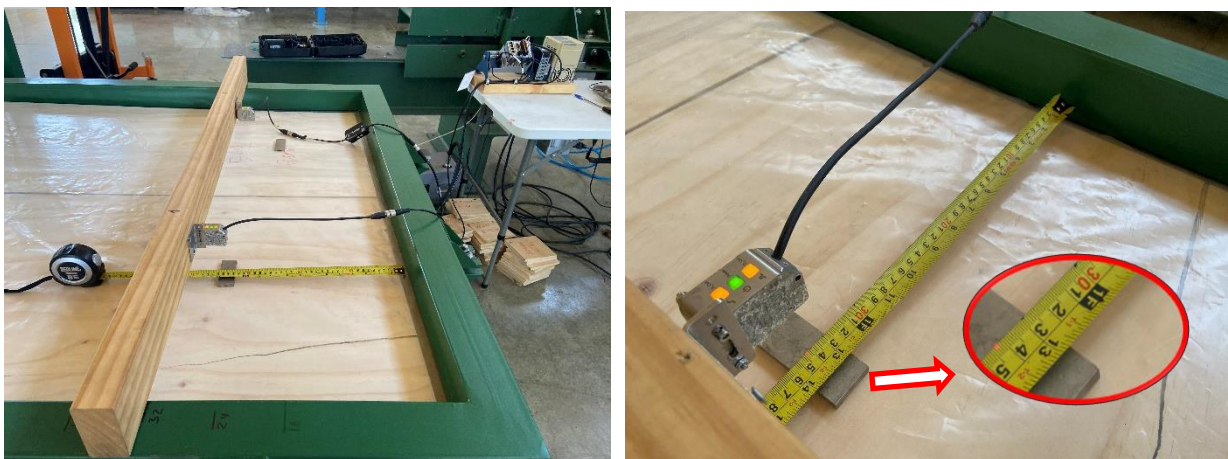


Figura B 24: Posición del sensor de para medir deformación a 34.3 cm. a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.3. Proveedor 5



Figura B 25: Distribución de los apoyos a claro de luz 40” (102 cm). a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

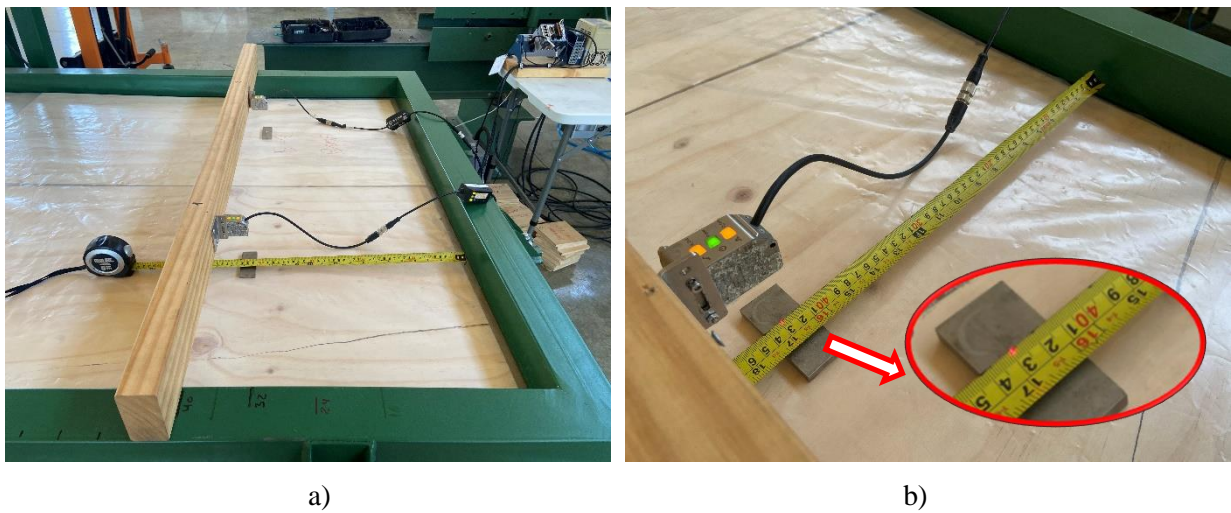


Figura B 26: Posición del sensor de para medir deformación a 43 cm. a) vista general b) vista específica.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.4. Tableros ensayados



a)



b)

Figura B 26: Tableros ensayos a 32". a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura B 26: Tableros ensayos a 40".

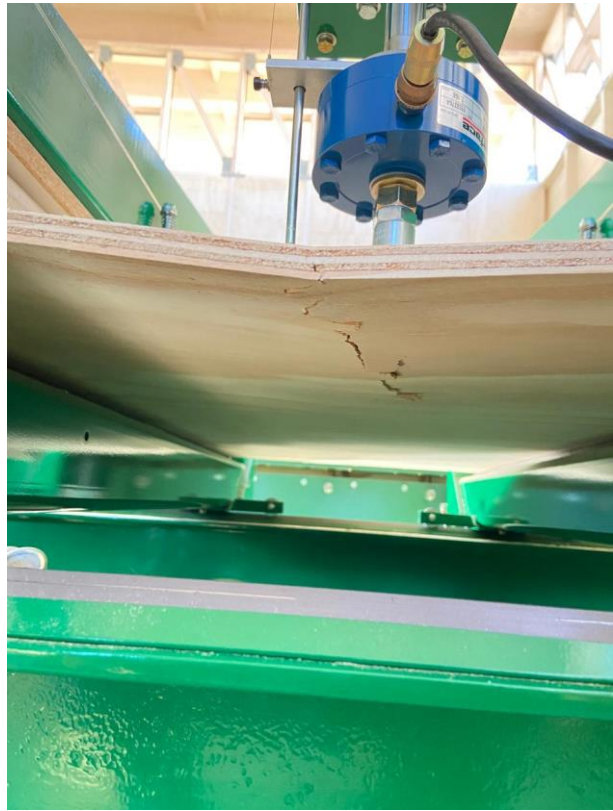
Fuente: Elaboración propia (2024)

3. Ensayo carga estaica concentrada y de impacto

3.1. Proveedor 1



a)



b)

Figura B 26: Tipo de falla después de carga de impacto. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)



a)



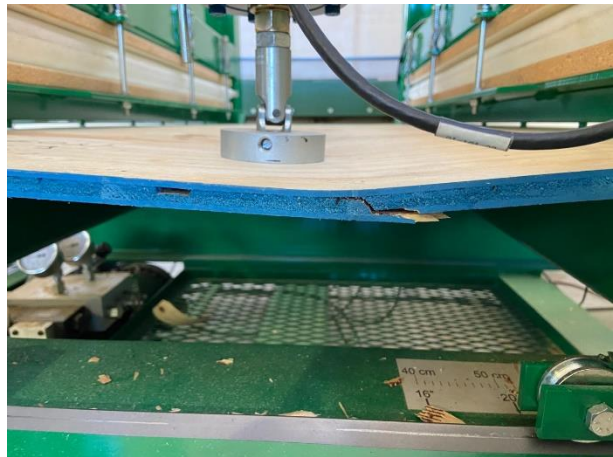
b)

Figura B 26: Ensayo carga estática concentrada. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.2. Proveedor 2


a)



b)



c)



d)

Figura B 26: Tipos de falla después de carga de impacto. a) vista 1 b) Falla en la tras cara del tablero. C)Falla en ambas caras del tablero. D) Falla completa del tablero, pero la carga aun la soporta.

Fuente: Elaboración propia (2024)



a)



b)

Figura B 26: Ensayo carga estática concentrada. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.3. Proveedor 3



Figura B 26: Tipo de falla después de carga de impacto. a) Falla en la tras cara del tablero b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

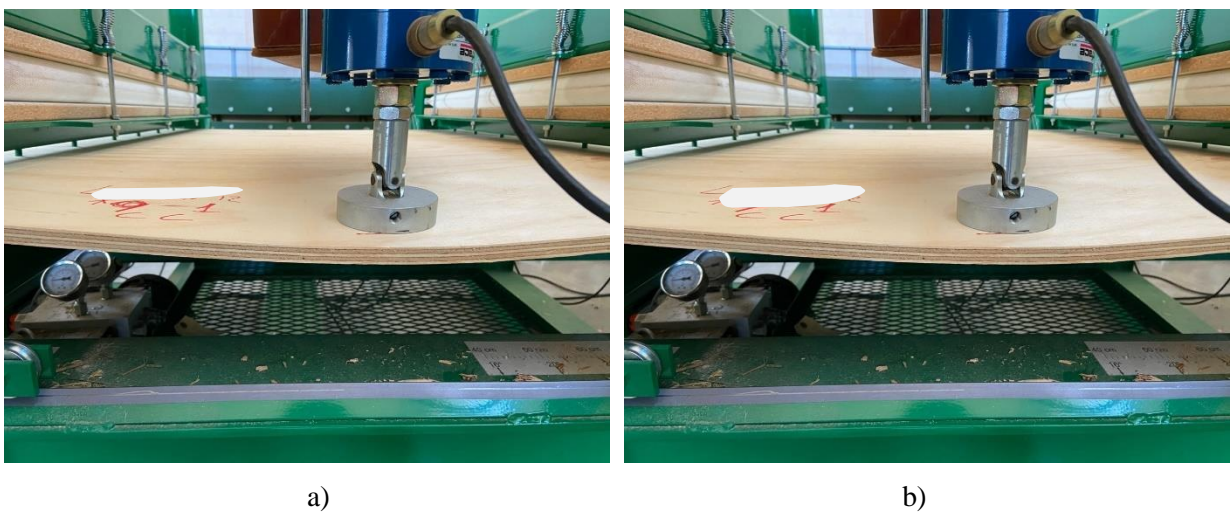


Figura B 26: Ensayo carga estática concentrada. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.4. Proveedor 4

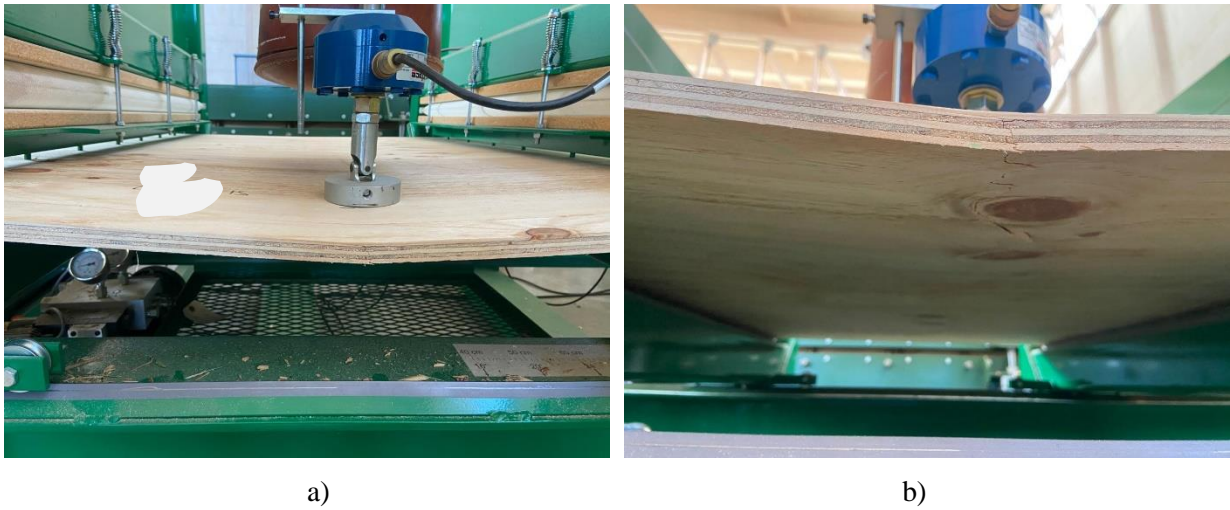


Figura B 26: Tipo de falla después de carga de impacto. a) Falla en la tras cara del tablero b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura B 26: Ensayo carga estática concentrada. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.5. Proveedor 5



a)



b)



c)



d)

Figura B 26: Falla en la tras cara del tablero después de carga de impacto. a) Vista 1 b) Vista 2 C)Vista 3 D)Vista 4.



a)



b)

Figura B 26: Ensayo carga estática concentrada. a) vista 1 b) vista 2.

Fuente: Elaboración propia (2024)