



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**“Influencia de la granulometría de la fibra de madera en la
calidad del tablero MDF”**

Trabajo de Titulación para optar al Título
De Ingeniería de Ejecución en Química,
Mención control.

Alumno:
Soraya Miranda Cartes

Profesor:
Cristian Pereira Aburto

2024

RESUMEN

Dentro de la industria de tableros la producción de tableros MDF han tenido un amplio crecimiento sobre todo para subproductos como molduras y su exportación hacia mercados estadounidense, según la FAO en parte este aumento se debe a la disminución de producción de madera aserrada.

Este proyecto busca determinar cómo un tamaño y distribución adecuado de la fibra, afectan directamente las propiedades mecánicas del producto final. A través de una metodología experimental, se realizaron pruebas que permitieron evaluar diferentes muestras de fibra con sus granulometrías y su impacto en características como la resistencia a la tracción y flexión, del MDF. Los resultados obtenidos evidencian que la granulometría influye en las propiedades mecánicas y por consiguiente a la calidad del tablero, lo que es fundamental para su aplicación en la industria del mueble y la construcción. Este estudio proporciona información valiosa para la optimización de procesos en la producción de MDF, destacando la relevancia de la investigación en el desarrollo de materiales más eficientes y sostenibles que pueden lograr disminuir tasas de reclamos generando una mayor fidelización del cliente y una relación comercial más sólida.

Índice

1.1.	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2.	OBJETIVOS.....	2
1.2.1.	Objetivo general	2
1.2.2.	Objetivos específicos.....	2
1.3.	ALCANCE	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		4
2.1.	TABLEROS MDF, DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	5
2.1.1.	Composición del tablero MDF.	5
2.2.	ELABORACIÓN DE LA FIBRA PARA TABLERO MDF	7
2.2.1.	Origen de la fibra utilizada en MDF.....	7
2.2.2.	Proceso de producción de fibra.	7
2.3.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA FIBRA	8
2.3.1.	Temperatura de calentamiento (presión de vapor)	8
2.3.2.	Tiempo de residencia en el precalentador.	9
2.3.3.	Separación de discos.....	9
2.3.4.	Presión diferencial entre el calentador y la carcasa del desfibrador.....	10
2.3.5.	Capacidad- producción de fibra.....	10
2.3.6.	Patrón/ modelo de disco y desgaste.....	10
2.4.	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS TABLEROS MDF	11
2.3.1.	Resistencia a la Tracción	12
2.3.2.	Resistencia a la Flexión:	14
CAPITULO III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL		15
3.1.	MATERIALES UTILIZADOS.....	16
3.2.1.	Equipos utilizados para medición granulométrica.....	16
3.2.2.	Equipos utilizados para pruebas de propiedades mecánicas.	17
3.3.	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	17
3.3.1.	Tipo de muestreo.	17
3.3.2.	Cantidad de muestra.	18
3.3.	PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN GRANULOMÉTRICA	19
3.3.1.	Preparación de la muestra.....	19

3.3.2. Técnica de medición.....	20
3.3.3. Procedimiento de medición.	20
3.5. REPETITIVIDAD.....	22
CAPITULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS.....	26
4.1. RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	27
4.3. COMPARACIÓN ENTRE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA Y ENSAYOS MECÁNICOS	30
4.3.1 Comparación distribución granulométrica y ensayo de tracción.....	30
4.3.2 Comparación distribución granulométrica y ensayo de Flexión.	31
4.4.1 Análisis estadístico de distribución de fibra por tamiz.....	32
4.4.1 Análisis estadístico distribución granulométrica y tracción.	33
CONCLUSIÓN.....	37
REFERENCIAS.....	38

Índice de figuras

Figura 2-1. Imagen de un tablero MDF.	5
Figura 2- 2. Proceso tipo de fabricación tablero MDF. Fuente INFOR.	6
Figura 2- 3. Comparación entre el Área de las fibras producido con Eucalyptus nitens y Pinus radiata. Fuente: Gorrini et al.2004.	7
Figura 2- 4. Diagrama de flujo del desfibrado de madera en la producción de MDF.	8
Figura 2- 5. Composición de un disco utilizado en la elaboración de tablero MDF. Fuente: Masisa 2012.	11
Figura 2- 6. Pieza de tableros utilizadas para ensayo de tracción.....	12
Figura 2- 7.Fotografía de ensayo de tracción.....	13
Figura 2- 8.Ensayo de flexión de tablero MDF utilizando equipo IMAL	14
Figura 3- 1. Criba Gilson Autosiever GA-6.....	16
Figura 3- 2. Imagen de tensómetro utilizado para medición de flexión y tracción.	17
Figura 3- 3. Fotografía toma de muestras.	18
Figura 3- 4. Fotografía sector pre prensa para toma de muestras.	19
Figura 3- 5. Imagen de tamices utilizados	20

Figura 3- 6. Diagrama de procedimiento para medición granulométrica.	20
Figura 3- 7. Muestra con su identificación y variables de proceso.....	21
Figura 3- 8. Resultados medición muestra 4: Gráfico Cribado.	23
Figura 3- 9. Resultados medición muestra 7: Gráfico Cribado.	23

Figura 4- 1. Resultado de distribución granulométrica. Gráfico comparativo de granulometría por muestra.....	28
Figura 4- 2. Gráfico de resultados de tracción por muestra comparados con el estándar.....	29
Figura 4- 3. Gráfico de resultados de flexión por muestra comparados con el estándar.	29
Figura 4- 4. Gráfico comparativo entre distribución granulométrica y ensayo de tracción. ...	30
Figura 4- 5. Gráfico comparativo entre distribución granulométrica y ensayo de flexión.	31

Tabla 3- 1. Variables de elaboración muestras de fibra.	21
Tabla 3-2. Resultado medición muestra 4.....	22
Tabla 3-3. Resultado medición muestra 7.....	22
Tabla 3-4. Errores absolutos medios muestra N° 4.....	24
Tabla 3-5. Errores absolutos medios muestra N° 7.....	24

Tabla 4-1. Resultados granulométricos de muestras de fibra.	27
Tabla 4-2. Resultados propiedades físico-mecánicas muestras analizadas.	28
Tabla 4-3. Resumen de las varianzas.	32
Tabla 4-4. ANOVA de la distribución por tamiz.....	33
Tabla 4- 5. Resumen de las varianzas.	34
Tabla 4-6. ANOVA de la distribución de fibras y resultados de tracción.	34
Tabla 4-7. Resumen de las varianzas.	35
Tabla 4-8. ANOVA de la distribución de fibras y resultados de flexión.....	35

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Chile se posiciona como el segundo mayor exportador de tableros en América Latina, después de Brasil. Dentro de la industria el MDF el 28,3% de la producción nacional de tableros, alcanzando un volumen de 1.008.000 m³ en 2021 (Infor, Boletín Estadístico 2022).

Los tableros MDF son productos elaborados a partir de fibras de madera unidas mediante adhesivos, con una densidad que varía entre 450 y 800 kg/m³. Este material es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, desde mueblería y carpintería hasta revestimientos interiores, debido a su versatilidad y propiedades mecánicas.

La fibra de madera, el componente principal del MDF, se obtiene a través de un proceso mecánico que reduce las astillas de madera hasta obtener fibras aptas para la fabricación de los tableros.

Estudios preliminares señalan que las fibras más grandes tienden a desplazarse hacia la superficie de la mezcla, generando tableros con una apariencia más lisa, pero con mayor porosidad y presencia de "shives" (fibras largas). En cambio, las fibras más pequeñas logran una mejor distribución interna, reducen la porosidad superficial y aumentan la homogeneidad del tablero. No obstante, el uso excesivo de fibras muy finas puede incrementar el consumo de adhesivos, afectando los costos de producción (Manual, Masisa, 2012).

A pesar de estas observaciones, la industria de tableros MDF en Chile no considera la granulometría como un factor crítico en el proceso de fabricación. Existe escasa información sobre cómo la granulometría de las fibras afecta no solo el aspecto visual del tablero, sino también sus propiedades mecánicas, como resistencia a la flexión y tracción.

1.2. **OBJETIVOS**

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la influencia técnica de la granulometría de la fibra de madera utilizada en la producción de tableros MDF, registrando las variables de proceso aplicadas durante su elaboración, con el fin de determinar su impacto en la calidad del producto final.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Realizar mediciones granulométricas de la fibra de madera que se utiliza en la producción de tableros MDF, documentando las variables de proceso utilizadas para su elaboración.
- Registrar estándares de calidad obtenidos en los ensayos mecánicos de flexión y tracción por los tableros fabricados con esa fibra.
- Identificar la existencia de características granulométricas de la fibra que influyen en la calidad final del tablero MDF. A través de un comparativo con las propiedades mecánicas.

1.3. **ALCANCE**

El proyecto "Influencia de la granulometría de la fibra de madera en la calidad del tablero MDF" se centrará en explorar la relación entre la granulometría de la fibra de madera, en este caso Pino Radiata y las propiedades físico-mecánicas de los tableros MDF que impactan en la calidad del producto final.

Para ello se recolectarán muestras de fibra en diferentes días de producción a lo largo de un mes, con ellas se realizarán mediciones granulométricas utilizando un equipo especial denominado criba Gilson, lo que permitirá un cálculo porcentual de la composición de la muestra, documentando las variables de proceso utilizadas para elaborar esa fibra. La investigación se centrará en la granulometría y su efecto en la calidad del tablero MDF, sin considerar otros factores que pueden influir en la calidad.

Posteriormente se categorizarán estos resultados en base a las propiedades de los tableros fabricados los días en que se realizó el muestreo. De esta forma se busca relacionar la granulometría de la fibra con la calidad del producto final.

Se estima que el tiempo total utilizado para realizar este proyecto será de 3 meses y con él se espera determinar qué tan significativa es la granulometría de la fibra de madera en la calidad del tablero MDF de esta manera confirmar o descartarla como una variable influyente en el proceso.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. TABLEROS MDF, DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los MDF son tableros formados por fibras de madera, aglutinadas en seco con adhesivos urea-formaldehído, prensados con inyección de calor. Recomendados de utilizar en ambientes secos, caracterizados por tener una superficie lisa y homogénea, es ideal para la aplicación como molduras, fresados y pintados. (Guillén et al., 2021).



Figura 2-1. Imagen de un tablero MDF.

2.1.1. Composición del tablero MDF.

Los materiales que intervienen en su fabricación son fibras de madera (La especie de madera más utilizadas en Chile es pino radiata), adhesivos, recubrimientos y aditivos. La composición típica suele ser un 80% de fibras, 10% de resinas sintéticas, 7% de agua y hasta un 1 % de parafinas.

- Las fibras se obtienen calentando partículas de madera y forzando su paso a través de los discos rotativos del desfibrador, posteriormente se secan, se encolan y se forma una manta de fibras a la que se aplica presión y calor para obtener el tablero.
- Los adhesivos que se utilizan dependen de las características y propiedades del tablero que se quiera obtener. Urea - formol (UF), Urea - melamina - formol (MUF), Fenol - formaldehído (PF); últimamente se ha empezado a hablar de las colas de isocianato (PMDI) para su posible utilización en las aplicaciones de exterior.
- Los aditivos son productos químicos que se incorporan durante su proceso de fabricación para mejorar algunas de sus propiedades. Los más usuales son las ceras y parafina, los productos ignífugos, los productos insecticidas, los productos fungicidas y los endurecedores. (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera- - Tableros de fibras MDF).

Las características de los tableros como el MDF pueden variar en función de diversos factores como la mezcla de fibras, el factor de prensado, las condiciones del prensado, el tratamiento y los aditivos.

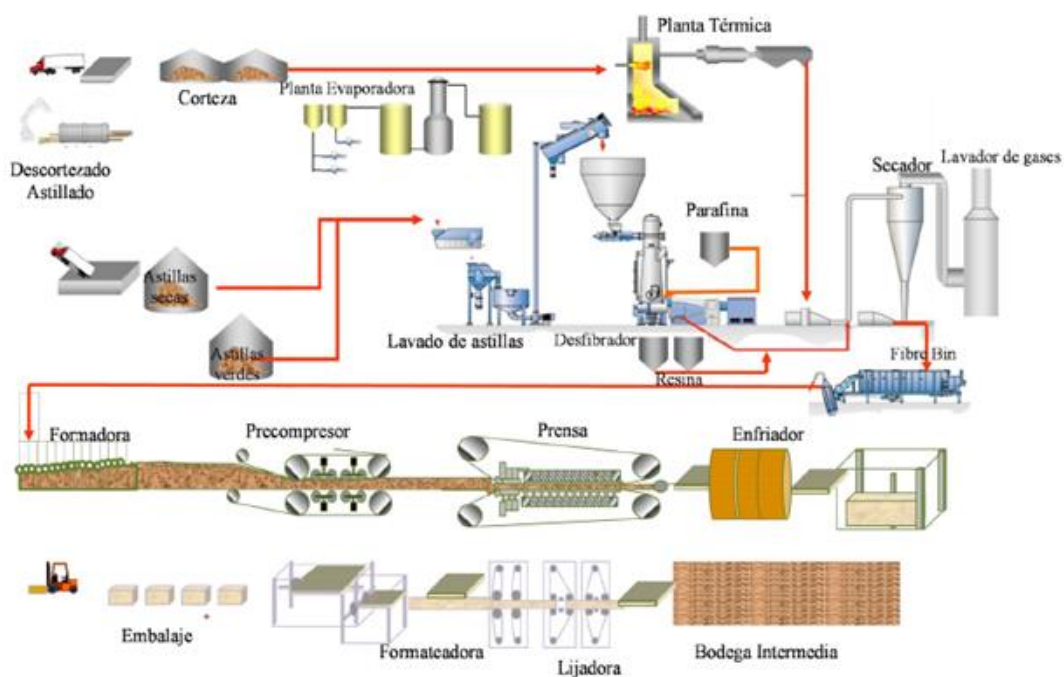


Figura 2- 2. Proceso tipo de fabricación tablero MDF. Fuente INFOR.

2.2. ELABORACIÓN DE LA FIBRA PARA TABLERO MDF

2.2.1. Origen de la fibra utilizada en MDF

Actualmente las plantas industriales que producen tableros MDF están optimizadas para trabajar con Pino radiata, lo que significa que los procesos de desfibrado y corte están diseñados específicamente para esta especie. Estudios han comprobado que las producciones con Pino radiata son más eficientes y de mayor calidad superficial. Así también produce una distribución más uniforme y adecuada para la fabricación de tableros. (Gorrini et al., 2004)

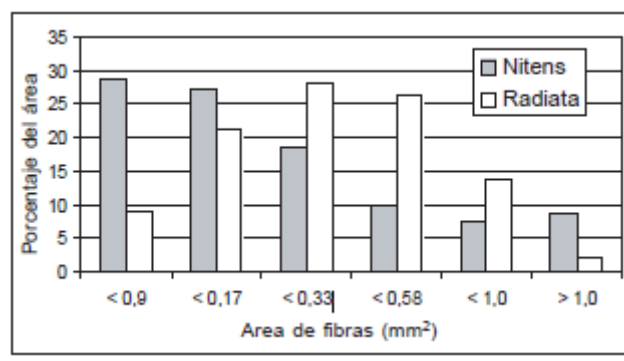


Figura 2- 3. Comparación entre el Área de las fibras producido con Eucalyptus nitens y Pinus radiata. Fuente: Gorrini et al.2004.

2.2.2. Proceso de producción de fibra.

La fibra de madera es elaborada en un proceso denominado “Desfibrado” que consiste en transformar los chips de madera, provenientes del proceso de lavado del chip, en fibras. El proceso comienza con el almacenamiento de los Chips en el vaporizador, luego en el precalentador son condicionados para enviarlos al desfibrador. Una vez en este, los chips se transforman en fibras.

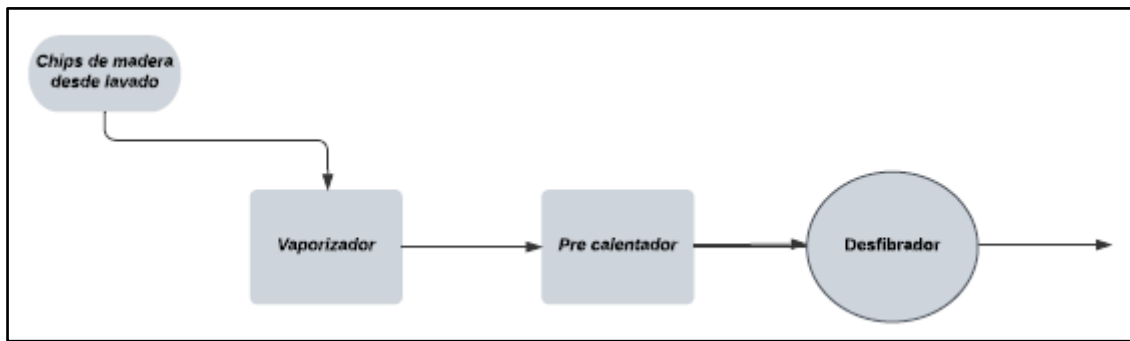


Figura 2- 4. Diagrama de flujo del desfibrado de madera en la producción de MDF.

2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA FIBRA

Existen seis parámetros claves que inciden en la calidad de la fibra y en las tasas de rendimiento a través del desfibrador que pueden modificarse dentro de ciertos rangos en el proceso de desfibrado:

2.3.1. Temperatura de calentamiento (presión de vapor)

Esta temperatura es controlada por la presión de vapor de entrada en el digestor. El digestor calienta el material proveniente del pre- calentador con un flujo de vapor presurizado de presión constante, este mantiene la presión y por lo tanto la temperatura. Un aumento de presión conduce a una hidrólisis aumentada que conduce a un ablandamiento de la lignina de la madera por lo que necesita menos energía para separar las uniones fibra-fibra, de este modo hay una menor carga en el motor principal del desfibrador, disminuyendo el costo de energía total del proceso. Sin embargo, altas temperaturas también generan mayor cantidad de carbonatos disueltos lo que genera descolorimiento y ennegrecimiento de la fibra de madera.

En resumen:

Mayor temperatura	Menor temperatura
Menor energía para separar las fibras	Mayor energía para separar las fibras
Decoloración de la fibra	Sin decoloración

2.3.2. Tiempo de residencia en el precalentador.

Este tiempo se modifica al ajustar la altura del dispositivo de control de nivel en el digestor. Un mayor nivel proporcionará un mayor tiempo de residencia en el digestor. El controlador mantiene el nivel de la astilla al ajustar la velocidad de la alimentación de astillas hacia el digestor desde el tornillo de carga de astillas. El nivel cambia mediante un dispositivo de elevación de forma automática. Este dispositivo mantiene el volumen de las astillas en el digestor al ajustar la velocidad del tornillo de alimentación.

En resumen:

Mayor tiempo de residencia	Menor tiempo de residencia
Menor energía para separar fibras	Mayor energía para separar fibras

2.3.3. Separación de discos.

Denominado GAP es la distancia entre los discos estacionario (estator) y rotatorio (rotor) en la carcasa del desfibrador, tiene un efecto directo sobre la energía utilizada durante el refinado. El consumo de energía, a su vez, influye en gran medida es la fineza o aspereza de la fibra que es producida. Mientras más angosta sea la separación de placa, mayor será el consumo de potencia y más fina será la fibra. Sin embargo, si la separación es demasiado angosta, la fibra quedará sobre- refinada, causando una excesiva cantidad de finos.

La distancia de los discos o abertura requerida para obtener una fibra de calidad depende de la tasa de rendimiento (cantidad de astilla que sea alimentada a la carcasa), de las condiciones de calentamiento y del grado de desgaste de los discos.

2.3.4. Presión diferencial entre el calentador y la carcasa del desfibrador

La presión diferencial entre la carcasa del refinador y el pre-calentador también va a influenciar la fineza de la fibra. Si la presión en la carcasa es menor que aquella desde el calentador hasta la carcasa. Esto ayuda a presionar la fibra entre los discos de pulido. Este régimen de flujo de fibra y vapor hace que el disco del rotor se desvíe hacia afuera, apartándose del estator. Con el objeto de obtener la calidad de fibra deseada, el ajuste de la separación de discos deberá ser angosto.

Si la presión en la carcasa es mayor que la del calentador, la presión de vapor va a ejercer oposición al flujo de fibras a través de los discos. La presión de la carcasa va a forzar al disco del rotor a desviarse hacia el interior, cerrando la abertura de discos.

2.3.5. Capacidad- producción de fibra

El rendimiento o la capacidad de la producción de fibra, está controlada por la velocidad del tornillo de descarga del digestor, el tornillo se opera variando su velocidad de descarga con respecto al nivel del depósito de fibra, ubicado posterior al secado de fibra.

El diferencial de presión entre la unidad de desfibrado y la salida del secador, permite el flujo de fibra sin problemas. Utilizando la energía específica como una guía para ajustar la separación de discos debería asegurar una consistente calidad de fibra en todas las tasas de rendimiento.

2.3.6. Patrón/ modelo de disco y desgaste.

Los discos de refinado son circulares y están estructurados de una serie de barras y canaletas que se extienden radialmente desde el centro. Las expansiones y contracciones de presión que se provocan a medida que las barras y canaletas opuestas pasan entre sí son las que jalan y separan las fibras. La mayoría de los diseños de discos también cuentan con barreras (trampas) en las canaletas. Éstas hacen más lento el paso de las fibras fuera del borde de los discos, dándoles tiempo extra para ser adecuadamente refinadas.

A medida que los discos funcionan, se van desgastando gradualmente debido a la intensidad de la acción de refinado. Esto puede verse acelerado con la presencia de materiales extraños, tales como suciedad, arena y piedras pequeñas, que resultan dañinos al ser introducidas con las astillas o si los dos discos se "topan" o frotan entre sí. A medida que los discos se desgastan, los bordes filudos de las barras se suavizan. Esto reduce su efectividad. Este desgaste significa que se necesitan mayores consumos de energía y separaciones de platos o placas más angostas a fin de mantener la calidad de fibra deseada. Finalmente, los discos requerirán ser reemplazados.

Las primeras señales que indican que deben cambiarse los segmentos son fibras con alto contenido de virutas sin desfibrar (Shives) y presión igual a cero en la cámara A del desfibrador. Cuando esto ocurre, se deben instalar nuevos segmentos.

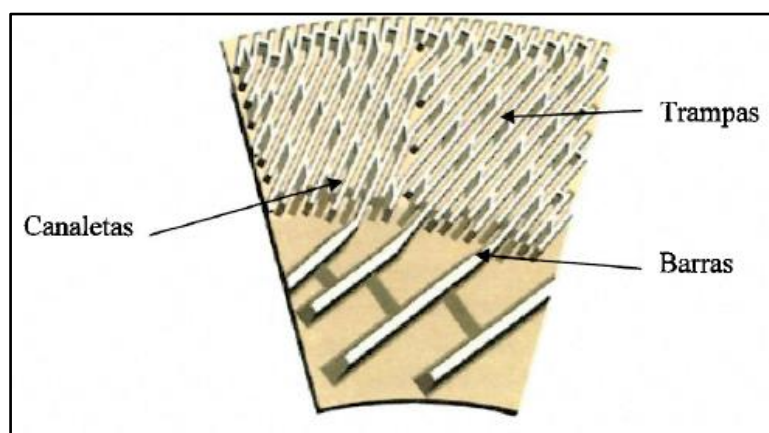


Figura 2- 5. Composición de un disco utilizado en la elaboración de tablero MDF. Fuente: Masisa 2012.

2.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS TABLEROS MDF

Los tableros MDF deben cumplir con variados estándares de calidad, estas propiedades son fundamentales para entender el comportamiento de los tableros MDF bajo diferentes condiciones ambientales

El criterio para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas consiste en la realización de un número de ensayos definidos en los instructivos de calidad respectivos de cada fabricante y donde las magnitudes de las propiedades físico-mecánicas medidas se deben encontrar dentro de un estándar definido por ellos.

Entre las propiedades físico podemos encontrar la humedad que es el contenido de humedad que el material alcanza en equilibrio con el ambiente y densidad, que es la masa del material por unidad de volumen

Mientras que las mecánicas que más se miden en la industria y que serán evaluadas en este proyecto se encuentran:

2.3.1. Resistencia a la Tracción

Es un ensayo normado bajo la norma UNE EN 319, la cual señala en sus fundamentos: *Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras de una probeta sometiénola a un esfuerzo de tracción uniforme repartido, hasta la rotura. La resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero se determina por la carga máxima aplicada en la relación con la superficie de la probeta.*

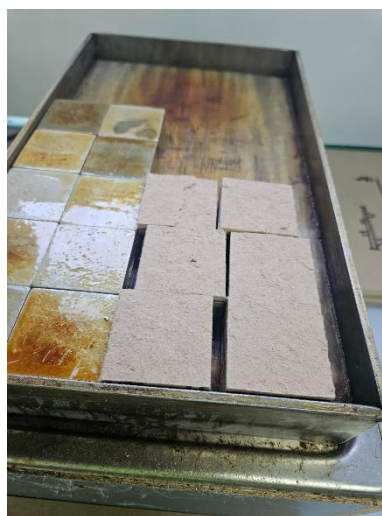


Figura 2- 6. Pieza de tableros utilizadas para ensayo de tracción.

Para este ensayo se requiere que un equipo denomina “tensómetro” el cual también se encuentra previamente calibrado. Este equipo debe ser capaz de aplicar una fuerza perpendicular a las caras de las probetas, por medio de tacos de agarre y medir esta fuerza con una precisión del 1%. (UNE EN 319).



Figura 2- 7.Fotografía de ensayo de tracción.

2.3.2. Resistencia a la Flexión:

Se determina la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión aplicando una carga en el centro de la probeta, que se encuentra en dos puntos. El módulo de elasticidad se calcula utilizando la pendiente del tramo lineal de la curva carga-deformación; el valor calculado es el módulo aparente, no el módulo real, ya que el método de ensayo incluye tanto la influencia del esfuerzo cortante como la flexión. La resistencia a flexión de cada probeta se calcula determinando la relación entre el momento flector M correspondiente a la carga máxima F_{max} y el módulo resistente a la sección transversal. (UNE EN 310).

Las probetas utilizadas para este ensayo tienen dimensiones de 20 x 5 cm y en este caso se utilizan un total de 5 probetas por ensayo.



Figura 2- 8. Ensayo de flexión de tablero MDF utilizando equipo IMAL

CAPITULO III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. MATERIALES UTILIZADOS

La madera con la cual se elaboró la fibra utilizada para esta medición proviene de aserraderos de la zona cultivados localmente, cuyos bosques se encuentran gestionados y certificados bajo la FSC, además la fibra utilizada ya pasó por el proceso de encolado y secado

3.2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

3.2.1. Equipos utilizados para medición granulométrica.

- Criba Gilson Autosiever GA-6
- Balanza analítica



Figura 3- 1. Criba Gilson Autosiever GA-6.

3.2.2. Equipos utilizados para pruebas de propiedades mecánicas.

- Tensómetro
- Balanza
- Micrómetro



Figura 3- 2. Imagen de tensómetro utilizado para medición de flexión y tracción.

3.3. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

3.3.1. Tipo de muestreo.

Se realizó un tipo de muestreo estratificado donde se recolectaron muestras de fibra de madera utilizada para la fabricación de tableros MDF Ultralivianos 12 mm las que fueron extraídas a la salida del sector de la preprensa, de esta forma se busca disminuir las variables que interaccionan en el proceso de fabricación del tablero MDF, como son el porcentaje de

resina, secuestrante, catalizadores y emulsión utilizado para la fabricación de los tableros MDF. Identificando las muestras con su fecha y hora de producción, además de las variables de proceso para su obtención.

3.3.2. Cantidad de muestra.

Para asegurar de que las muestras sean suficientes para obtener resultados representativos, se muestreo aproximadamente 50g de fibra. Con ello se asegura la realización de mediciones en triplicados y verificación de repetitividad.



Figura 3- 3. Fotografía toma de muestras.

3.3. PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN GRANULOMÉTRICA

Este proceso permitirá determinar la distribución del tamaño de la fibra de madera, lo que proporcionará información esencial para entender cómo diferentes tamaños de fibra influyen en la calidad del MDF.

3.3.1. Preparación de la muestra.

La muestra una vez obtenidas del área de la preprensa será cuarteada con el fin de homogenizarla, no necesitando un secado previo.



Figura 3- 4. Fotografía sector preprensa para toma de muestras.

3.3.2. Técnica de medición.

La fibra será tamizada en una criba Gibsonic Auto3siever GA-6 (Criba Gibson), con un ciclo de tamizado de 14 minutos a 60 Hz de frecuencia, en 4 tamices de 1 milímetro, 710 micrones, 250 micrones y 125 micrones. Las medidas de las mallas de los tamices están estandarizadas según la especificación E-11 de ASTM (American society for testing and materials).

El hecho de que se considere esta criba y sus tamices tiene relación únicamente a que es el equipo con el cual se cuenta en planta destinado al cribado de fibra.



Figura 3- 5. Imagen de tamices utilizados

3.3.3. Procedimiento de medición.

El procedimiento se realizó según el siguiente diagrama.

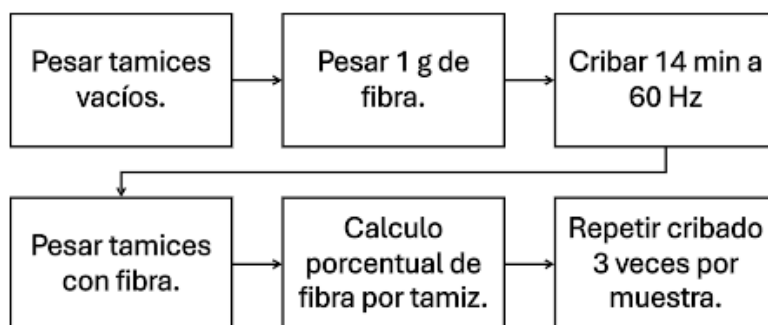


Figura 3- 6. Diagrama de procedimiento para medición granulométrica.

3.4. VARIABLES DE PROCESOS DOCUMENTADAS

Dentro de las variables seleccionadas para la comparación en la formación de la fibra dentro del proceso de desfibrado se redujeron a las siguientes:

Tabla 3- 1. Variables de elaboración muestras de fibra.

Muestra	Flujo de madera a desfibrado	Separación de discos	T° entrada secador	T° Salida secador	Energía específica	Tiempo de residencia
	ton/h	mm	°C	°C	KwH/ton	min
1	11,77	14,60	118,9	55,9	164	2,98
2	13,81	14,74	119,7	57,1	162	2,92
3	15,42	15,10	118,2	57,1	169	3,00
4	13,64	14,88	116,1	55,9	156	2,96
5	13,54	14,80	123	59,6	166	2,92
6	10,58	14,65	91,3	53,3	159	3,01
7	16,1	15,10	121,7	58,5	156	2,95
8	14,8	15,08	111,2	56,4	167	3,10
9	9,55	15,18	74,8	48,3	166	2,95
10	11,91	15,10	110,2	55,9	168	2,85



Figura 3- 7. Muestra con su identificación y variables de proceso.

3.5. REPETITIVIDAD

Se consideró necesario realizar repeticiones por cada muestra con fin de evaluar la repetibilidad de los resultados entregados por el equipo, siendo lo anterior, la capacidad de que, analizando la misma muestra de fibra, se obtengan resultados similares o iguales.

Para un análisis más representativo, se realizaron 6 repeticiones de cribado de las muestras, 4 y 7 (escogidas al azar).

Tabla 3-2. Resultado medición muestra 4.

Tamiz	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
1 mm	3,69	3,7	3,72	2,86	3,57	3,47
710 μm	3,69	2,4	3,61	3,46	3,67	2,44
250 μm	8,29	8,0	7,92	7,97	7,88	8,41
125 μm	10,64	8,4	10,61	7,86	11,66	6,62
Fondo	73,64	77,5	74,08	77,75	73,22	79,01

Tabla 3-3. Resultado medición muestra 7.

Tamiz	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
1 mm	1,56	2,34	3,00	3,79	2,63	3,65
750 μm	1,29	2,84	2,99	3,21	3,80	4,41
250 μm	9,63	9,82	9,42	11,34	12,55	9,25
125 μm	8,08	8,95	10,08	8,49	7,37	9,10
Fondo	79,40	76,01	74,47	73,08	73,60	73,34

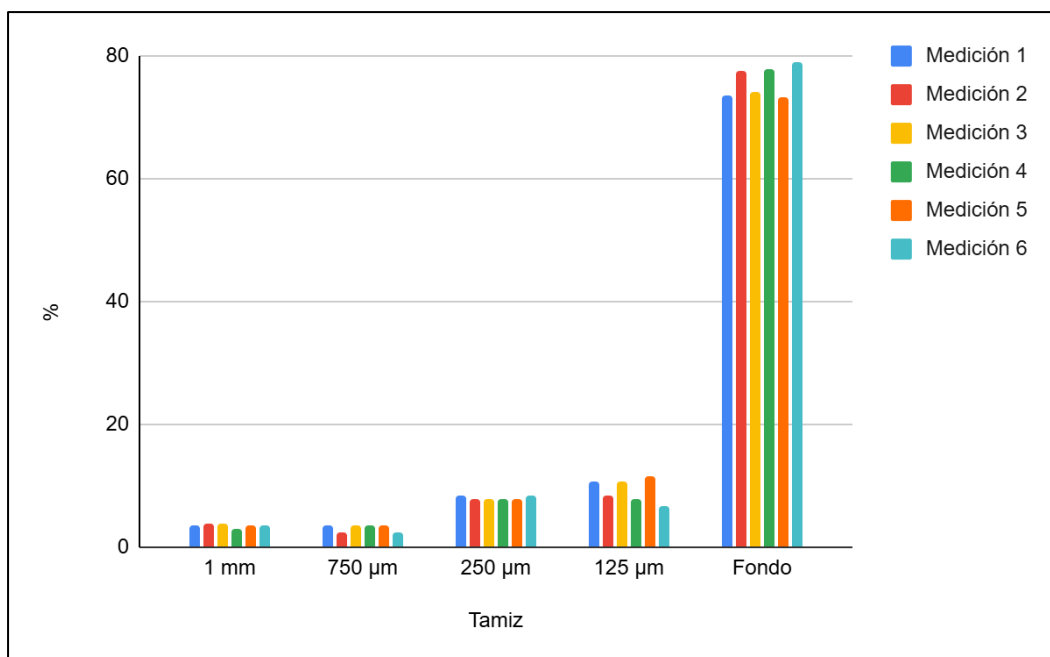


Figura 3- 8. Resultados medición muestra 4: Gráfico Cribado.

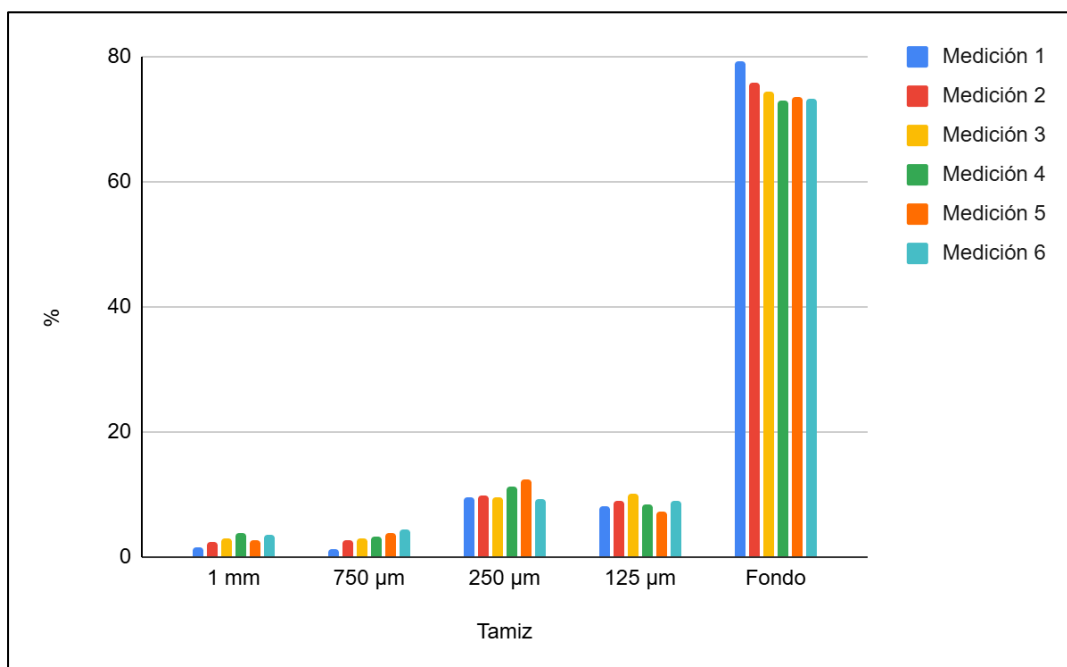


Figura 3- 9.Resultados medición muestra 7: Gráfico Cribado.

Se calculó el error medio (MAE) para cada medición según la siguiente ecuación.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j|$$

Donde:

- n = Número de rangos
- y_j = Valor de la medición en el rango j
- $\hat{y}_j$ = Media de todas las mediciones en el rango j

Se obtuvieron los siguientes errores absolutos medios para los resultados de ambos gráficos:

Tabla 3-4. Errores absolutos medios muestra N° 4.

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
MAE	0,89	0,75	0,77	0,86	1,15	1,39

Tabla 3-5. Errores absolutos medios muestra N° 7.

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
MAE	1,76	0,51	0,62	0,83	1,16	1,06

Se puede observar que para la muestra 4 el menor MAE es de 0,75% y el mayor 1,39, al promediar los valores de la tabla 3-5, indican que en cada rango de mediciones se diferencian en un MAE de 0,97%.

Para la muestra 7 el menor MAE es de 0,51% y el mayor 1,76%, al promediar los valores de la tabla 3-6, indican que en cada rango de mediciones se diferencian en un MAE de 0,99%.

Los promedios obtenidos son porcentajes bajos la escala del 100%, lo que permite indicar que el equipo presenta repetitividad y consistencia en sus resultados.

CAPITULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1. RESULTADOS DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

La fibra separada según tamiz será pesada en balanza analítica Mettler Toledo cuya capacidad máxima es de 220 g. Restándoles el valor del tamiz previamente pesado para de esta forma evitar pérdida de material al extraer la muestra de cada tamiz.

Tabla 4-1. Resultados granulométricos de muestras de fibra.

Muestra	1 mm	710 μ m	250 μ m	125 μ m	fondo
1	44,89%	2,83%	9,72%	5,57%	33,42%
2	6,13%	4,07%	15,00%	10,37%	63,63%
3	2,85%	2,98%	13,35%	11,57%	68,48%
4	3,42%	1,17%	8,07%	8,96%	76,30%
5	1,67%	3,73%	10,72%	24,69%	58,44%
6	49,41%	5,17%	13,90%	8,73%	22,79%
7	2,30%	2,37%	9,63%	9,04%	76,63%
8	2,80%	2,31%	8,50%	8,07%	78,27%
9	3,46%	1,88%	9,07%	8,80%	76,75%
10	3,41%	2,45%	9,47%	11,00%	73,59%

En la Tabla 4-1, se observa una diferencia significativa en la distribución granulométrica de dos muestras (muestra 1 y muestra 6), las cuales presentan un porcentaje elevado de fibra igual o superior a 1 mm. Este comportamiento es notablemente distinto al de las demás muestras, que contienen porcentajes inferiores al 10% de fibra de tamaño igual o mayor a 1 mm. Las muestras 1 y 6 se desvían de la distribución uniforme observada en las otras muestras, las cuales coinciden en tener un mayor porcentaje de fibra con un tamaño inferior a 125 μ m, con valores que superan el 55% del peso total. Esta diferencia se refleja de manera más clara en el gráfico de la Figura 4-1.

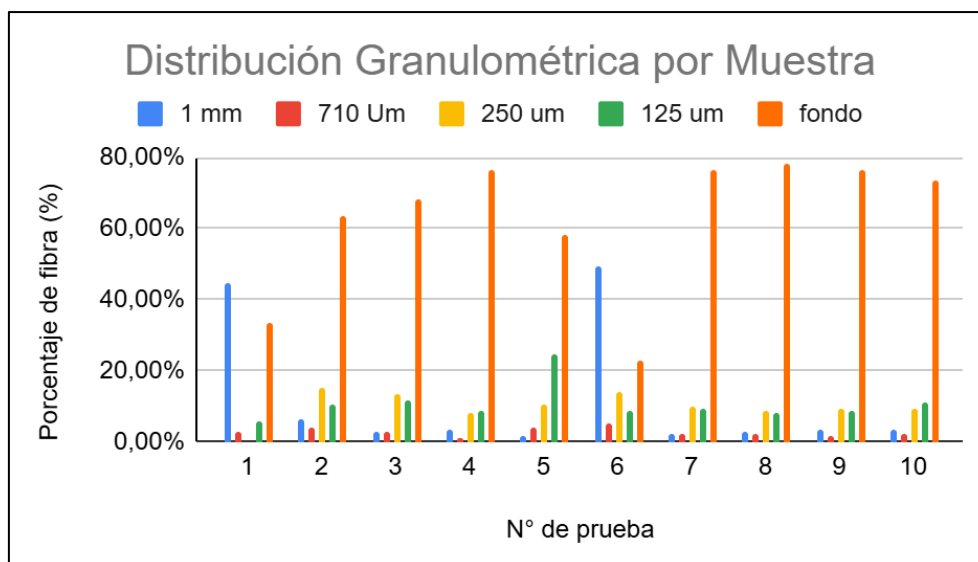


Figura 4- 1. Resultado de distribución granulométrica. Gráfico comparativo de granulometría por muestra.

4.2. RESULTADOS ENSAYOS MECÁNICO

Dentro de los resultados de las propiedades mecánicas de tracción y flexión a los tableros fabricados con la fibra que se estaba elaborando al momento del muestreo

Tabla 4-2. Resultados propiedades físico-mecánicas muestras analizadas.

Muestras	Flexión	Estándar	Tracción	Estándar
1	14,8	16	0,41	0,40
2	23,3	16	0,66	0,40
3	27,5	16	0,81	0,40
4	24,26	16	0,67	0,40
5	24,5	16	0,65	0,40
6	15,1	16	0,48	0,40
7	25,6	16	0,79	0,40
8	24,5	16	0,64	0,40

9	24,8	16	1,02	0,40
10	27,9	16	0,82	0,40

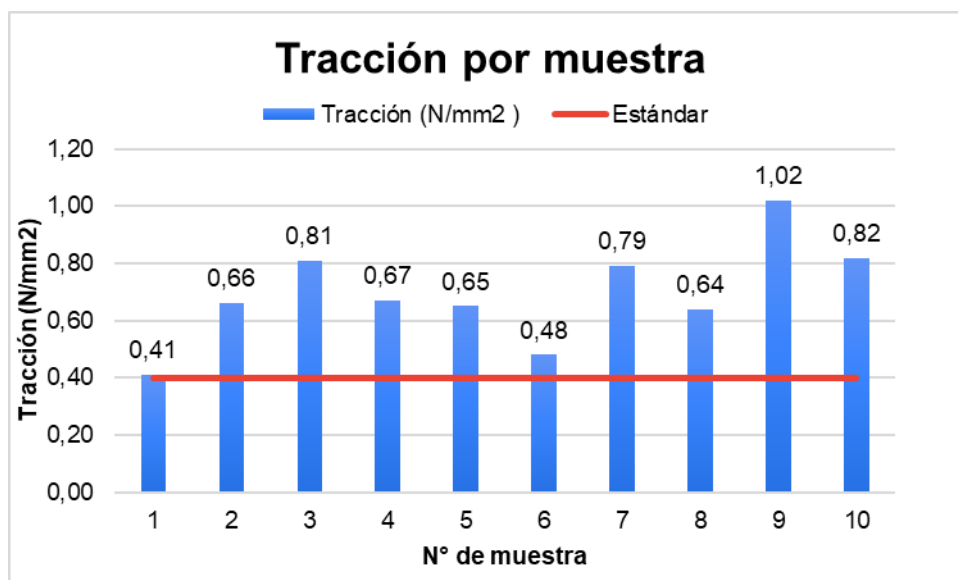


Figura 4- 2. Gráfico de resultados de tracción por muestra comparados con el estándar.

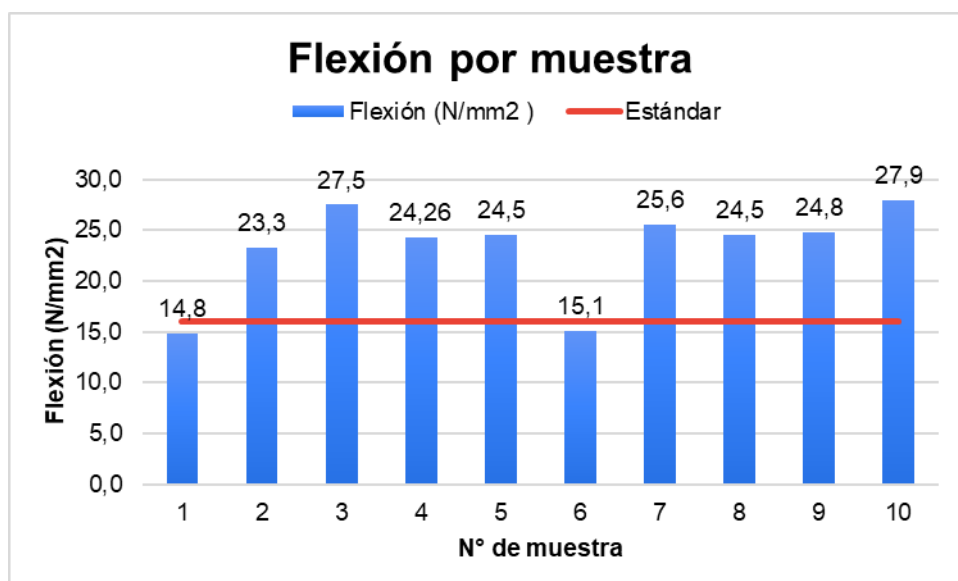


Figura 4- 3. Gráfico de resultados de flexión por muestra comparados con el estándar.

Se pueden observar que, las muestras 1 y 6 presentan las propiedades mecánicas más bajas.

En el caso del ensayo de flexión los resultados se encuentran por debajo del estándar de planta, mientras que, en la tracción, si bien todos los resultados se encuentran sobre el estándar la muestra 1 es la que está más cercana al límite establecido. Mientras que las muestras 3 y 10 presentan los mejores valores de flexión y tracción en promedio.

4.3. COMPARACIÓN ENTRE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA Y ENSAYOS MECÁNICOS

Teniendo los datos porcentuales de la distribución granulométrica de las muestras, las variables de producción para la elaboración de esa muestra y los resultados de ensayos mecánico, se elaboraron gráficos que nos permitieron obtener una visión del comportamiento de las muestras.

4.3.1 Comparación distribución granulométrica y ensayo de tracción.

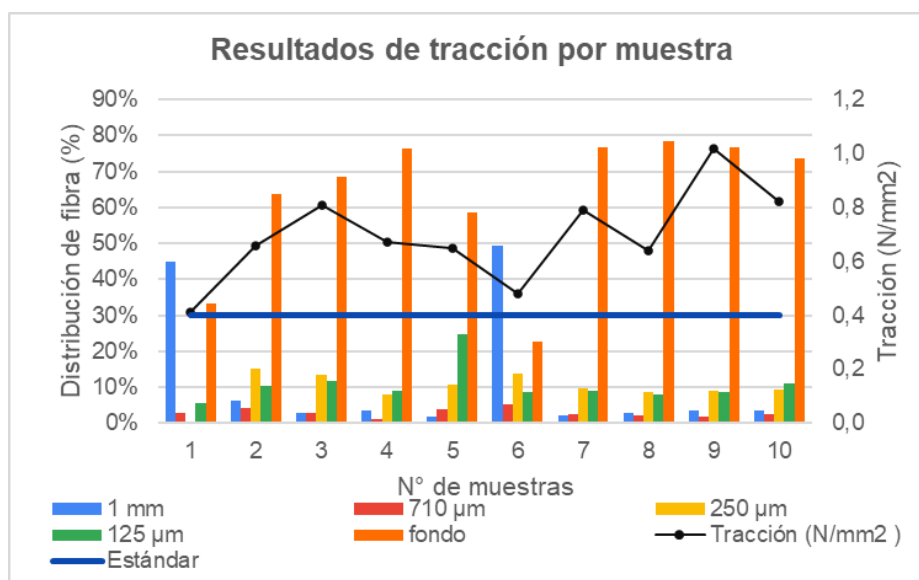


Figura 4- 4. Gráfico comparativo entre distribución granulométrica y ensayo de tracción.

En el gráfico 4-4 se puede observar que los resultados de tracción son más cercanos al estándar mínimo en las muestras 1 y 6 cuyas distribuciones de fibra iguales o mayores a 1 mm es mayor al 40% del total de la muestra.

4.3.2 Comparación distribución granulométrica y ensayo de Flexión.

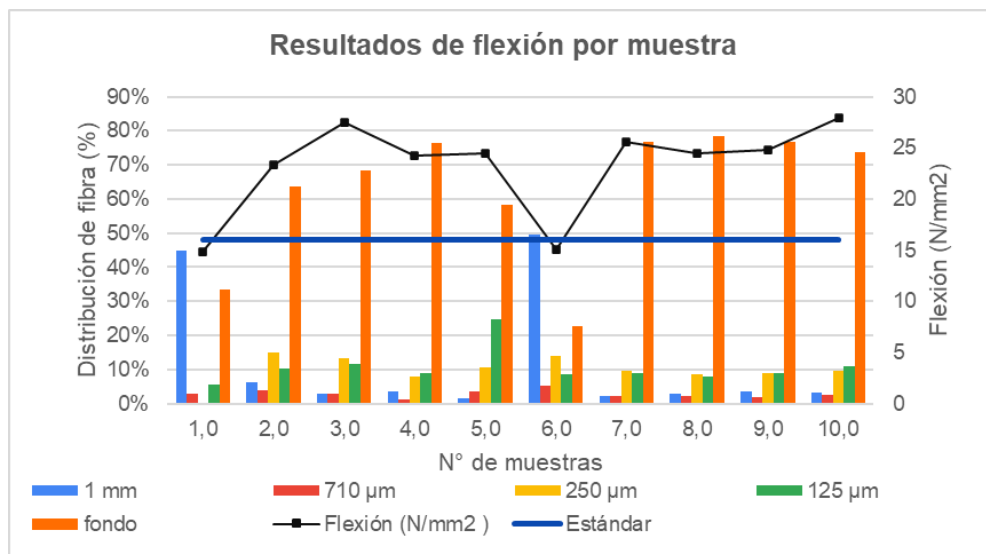


Figura 4- 5. Gráfico comparativo entre distribución granulométrica y ensayo de flexión.

En el gráfico 4-5 se puede observar que los resultados de flexión se encuentran por debajo del estándar mínimo en las muestras 1 y 6 cuyas distribuciones de fibra iguales o mayores a 1 mm es mayor al 40% del total de la muestra.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Para determinar si existen diferencias significativas entre los diversos resultados se realizó un análisis de varianza ANOVA, de esta forma se busca comprobar estadísticamente si el tamaño de la fibra tiene un impacto significativo.

4.4.1 Análisis estadístico de distribución de fibra por tamiz.

Para determinar si existe una diferencia significativa entre la distribución de fibra entre los tamices se realizará un ANOVA. De esta forma comprender cómo las diferencias en la granulometría (debido a los tamices) podrían influir en los resultados.

Para este ANOVA, nuestras hipótesis serán las siguientes:

- H_0 : la hipótesis nula indicará que no hay diferencia significativa en la granulometría de los tamices por muestra
- H_1 : La hipótesis alterna indicará que si hay diferencia significativa en la granulometría de los tamices por muestra

Tabla 4-3. Resumen de las varianzas.

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1 mm	10	1,2034	0,12034	0,0345023
710 μm	10	0,2896	0,02896	0,0001343
250 μm	10	1,0741	0,10741	0,0005979
125 μm	10	1,068	0,1068	0,002702
fondo	10	6,283	0,6283	0,03822

Tabla 4-4. ANOVA de la distribución por tamiz.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2,36E+00	4,00E+00	5,91E-01	3,88E+01	4,82E-14	2,58E+00
Dentro de los grupos	6,85E-01	4,50E+01	1,52E-02			
Total	3,05E+00	4,90E+01				

El valor p obtenido en el ANOVA es de un 4,82E-14 siendo menor que el nivel de significancia predeterminado de 0,05, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos dos de los tamices presentan una distribución granulométrica promedios significativamente diferentes.

4.4.1 Análisis estadístico distribución granulométrica y tracción.

Para este ANOVA, nuestras hipótesis serán las siguientes:

- H_0 : la hipótesis nula indicará que no existen influencia entre la granulometría de la fibra y las propiedades mecánicas del tablero MDF
- H_1 : La hipótesis alterna indicará que si existen influencia entre la granulometría de la fibra y las propiedades mecánicas del tablero MDF

Tabla 4- 5. Resumen de las varianzas.

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1 mm	10	1,20340	0,12034	0,03450
710 μm	10	0,28960	0,02896	0,00013
250 μm	10	1,07430	0,10743	0,00060
125 μm	10	1,06800	0,10680	0,00270
fondo	10	6,28300	0,62830	0,03822
Tracción	10	6,95000	0,69500	0,03087

Tabla 4-6. ANOVA de la distribución de fibras y resultados de tracción.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4,42E+00	5	8,84E-01	4,95E+01	5,70E-19	2,39E+00
Dentro de los grupos	9,63E-01	54	1,78E-02			
Total	5,38E+00	59				

La suma de cuadrados entre grupos (4,418) es significativamente mayor que la suma de cuadrados dentro del grupo (0,9632).

- El promedio de los cuadrados entre grupos (0,8836) es significativamente mayor que el promedio de los cuadrados dentro del grupo (0,0178).
- El valor de F (49,53) es significativamente mayor que el valor crítico para F (2,38).
- La probabilidad (5,70E-19) es extremadamente baja, lo que indica que es muy improbable que la variación observada sea debida al azar.

La hipótesis nula es rechazada. Los resultados de tracción varían significativamente según la distribución de la fibra. Las diferencias entre los grupos no son debidas al azar, y podemos

concluir que la distribución de la fibra tiene un impacto significativo sobre los resultados de tracción.

4.4.2 Análisis estadístico distribución granulométrica y flexión.

Tabla 4-7. Resumen de las varianzas.

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1 mm	10	1,2034	0,12034	0,0345
710 µm	10	0,2896	0,02896	0,00013
250 µm	10	1,0743	0,10743	0,0006
125 µm	10	1,068	0,1068	0,0027
fondo	10	6,283	0,6283	0,03822
Flexión	10	232,26	23,226	21,06409

Tabla 4-8. ANOVA de la distribución de fibras y resultados de flexión.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4,42E+03	5	8,84E+02	2,51E+02	4,42E-36	2,39E+00
Dentro de los grupos	1,90E+02	54	3,52E+00			
Total	4,61E+03	59				

La suma de cuadrados entre grupos (4421) es significativamente mayor que la suma de cuadrados dentro del grupo (190,26).

- El promedio de los cuadrados entre grupos (884,26) es significativamente mayor que el promedio de los cuadrados dentro del grupo (3,52).

- El valor de $F(250,97)$ es significativamente mayor que el valor crítico para $F(2,39)$.
- La probabilidad ($4,4161E-36$) es extremadamente baja, lo que indica que es muy improbable que la variación observada sea debida al azar.

En resumen, los resultados indican que hay una diferencia estadísticamente significativa en la Flexión entre los diferentes tamaños de tamiz.

CONCLUSIÓN

- En general, estos resultados sugieren que la distribución granulométrica de la fibra es un factor importante que afecta las propiedades mecánicas de la fibra, tanto en términos de flexión como de tracción.
- Las distribuciones de los tamices extremos, es decir fibras mayores o iguales a 1 mm y fibras menores a 125 μm , condicionan las propiedades mecánicas de los tableros MDF.
- No se revelan diferencias en las variables de producción de las fibras, por lo que se considera que la diferencia granulométrica puede deberse a un factor que no fue cubierto por este proyecto, como por ejemplo calidad de la materia prima utilizada.

REFERENCIAS

- De madera a las que se ha añadido previamente un adhesivo. Se caracteriza por tener una densidad $\square$ a, D. E. Un T. Q. Se O. A. P. Y. C. A. F. (S/f). *Tableros de fibras de densidad media (mdf)*. Cscae.Com. Recuperado el 14 de diciembre de 2024, de https://www.Cscae.Com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/tableros_fibras%20mdf_15.06.2015.Pdf
- Diez, J. I. F.-G. M. (S/f). *Efecto de las condiciones ambientales sobre las propiedades fisico-mecanicas de tableros mdf*. Csic.Es. Recuperado el 14 de diciembre de 2024, de https://digital.Csic.Es/bitstream/10261/363305/1/EFEECTO_DE_LAS_CONDICIONES_AMBIENTALES.Pdf
- Forestal, I.-I., & De información y economía forestal, Á. (S/f). *Infor :: estadísticas forestales*. Infor.Cl. Recuperado el 14 de diciembre de 2024, de <https://wef.Infor.Cl/index.Php/publicaciones/boletines-estadisticos/industria-tableros-chapas>
- Gorrini, B., Poblete, H., Hernandez, G., & Dunn., F. (2004). *Particleboard and MDF using eucalyptus nitens: industrial scale experiments*. Scielo.Cl. <https://www.Scielo.Cl/pdf/bosque/v25n3/art10.Pdf>
- Masisa. (2012). *Producción de tablero MDF*.