



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**“Evaluación mecánica y física de separadores en el proceso de secado de *Pinus radiata* D. Don.”**

Patrocinante: Sr. Héctor Cuevas D.

Co-Patrocinante: Sr. Luis Inzunza

Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero en Maderas.**

**ANA JULIETA BEATRIZ OBREQUE OVANDO**

VALDIVIA

2005

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

### Nota

Patrocinante: Sr. Héctor Cuevas D.  
Co-patrocinante: Sr. Luis Inzunza D.  
Informante: Sr. Alfredo Aguilera L.  
Informante: Sr. Roberto Juacida P.

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos del contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Héctor Cuevas D.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico estas líneas, principalmente a mis padres y a mis hermanos; gracias a todos ustedes, a su apoyo incondicional en todo momento cuando lo necesité, ustedes son el pilar fundamental en mi vida, lo que me ayudó durante todos estos años de estudio, en los que viví buenos y malos momentos, los quiero mucho y sobre todo gracias.

También agradezco a mi profesor patrocinante y profesores informantes por la ayuda prestada para la realización de este trabajo de titulación.

De manera especial, agradezco también a las personas del taller y de laboratorio, por su gran ayuda en todo el proceso de preparación de las probetas y realización de los ensayos.

Finalmente los agradecimientos son para mis amigas, quienes fueron un apoyo dentro y fuera de la Universidad.

*Dedicado a mi Papá, Mamá y mis hermanos:  
Mery, Diego y Maca...  
Ustedes son lo más importante para mí.*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>	
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>Consideraciones acerca de los listones separadores</b>	<b>3</b>
<b>2.2.</b>	<b>Tipos de corte</b>	<b>5</b>
2.2.1.	Ventajas de los separadores obtenidos de madera floreada	5
2.2.2	Ventajas de los separadores obtenidos de madera cuarteada	5
<b>2.3.</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>6</b>
2.3.1.	Flexión	6
2.3.2	Compresión perpendicular a las fibras	6
<b>2.4.</b>	<b>Propiedades físicas</b>	<b>7</b>
2.4.1.	Humedad	7
2.4.2.	Densidad	7
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiales</b>	<b>8</b>
3.1.1	Madera	8
3.1.2	Equipos e instrumentos	8
<b>3.2</b>	<b>Método</b>	<b>9</b>
3.2.1	Determinación del número óptimo de separadores	9
3.2.2	Determinaciones a realizar	9
3.2.3	Determinación de Flexión estática	9
3.2.4	Determinación de Flexión dinámica	10
3.2.5	Determinación de Compresión perpendicular a la fibra	10
3.2.6	Determinación del contenido de humedad	11
3.2.7	Determinación de densidad básica	11
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>12</b>
4.1.1	Flexión estática	12
4.1.2	Flexión dinámica	14
4.1.3	Compresión perpendicular a la fibra	15
<b>4.2</b>	<b>Propiedades Físicas</b>	<b>17</b>
4.2.1	Contenido de humedad	17
4.2.2	Densidad básica	17
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>20</b>
	<b>ANEXOS</b>	
1	Abstract	
2	Cuadros Propiedades Mecánicas	
3	Cuadros Propiedades Físicas	
4	Resúmenes de Propiedades Mecánicas y Físicas	

## RESUMEN EJECUTIVO

Con el propósito de evaluar mecánica y físicamente separadores de pino radiata utilizados en el proceso de secado industrial de esta madera, se sometieron a ensayo muestras de separadores provenientes de la industria (usados) y separadores fabricados en el taller de la universidad, los que fueron denominados testigos.

El método utilizado, para realizar estas mediciones es el indicado por las Normas Chilena 987 y DIN, en las cuales se basaron los distintos ensayos, tanto físicos como mecánicos.

Posteriormente con los datos obtenidos se realizó una comparación entre separadores usados y separadores testigo, y también entre los distintos cortes.

Se encontró como punto más relevante, la gran variación obtenida, en cuanto a flexión estática, entre separadores usados y separadores testigo, la cual alcanzó aproximadamente a un 50%, en los tres tipos de corte, de los separadores testigo, siendo mayor esta variación en el corte tangencial.

Las propiedades de flexión dinámica y compresión perpendicular a la fibra, arrojaron valores similares entre ambos tipos de separadores, concluyendo que el separador que obtuvo mejores resultados fue el separador testigo en corte tangencial.

**Palabras clave:** separador, secado, propiedades mecánicas, propiedades físicas.

## 1. INTRODUCCION

Actualmente los requerimientos del mercado de productos de madera, esta orientado a obtener productos con bajo contenido de humedad, de este modo se logra mayor estabilidad dimensional, reducción del costo de transporte, mayor resistencia a pudrición y mancha.

Para esto la madera después de aserrada tiene que ser sometida a un proceso de secado o eliminación de su humedad. Es en este proceso donde cobra importancia la utilización de palillos separadores.

Dicha importancia se relaciona directamente con el proceso de secado y sus requerimientos, privilegiando el rendimiento y aprovechamiento de la materia prima.

Los separadores, son un elemento de mucha importancia en la conducción del secado, tanto en el secado al aire libre como en sistemas de secado artificial, por este motivo, el objetivo principal de este estudio es evaluar tanto física como mecánicamente los separadores y su relación directa sobre el proceso de secado.

Entonces, es de gran importancia conocer el comportamiento de la madera en su uso como palillos separadores, los defectos que estos contengan y como pueden afectar en su duración, ya que estos durante su uso se encuentran sometidos principalmente a cargas perpendiculares a la fibra, y a cargas de impacto, sobre todo durante el proceso de empalillado y desempalillado.

Según la experiencia, es mucho más ventajoso utilizar separadores obtenidos de madera densa, grano recto y libre de defectos. Los separadores se deben obtener de madera previamente secada para evitar manchas y distorsiones de las piezas durante el proceso de secado.

Es indudable que la preparación de stocks de separadores significa inversión adicional en el aserradero; por eso es imprescindible organizar bien la conservación de los que no se encuentren en uso, siendo preferible mantenerlos bajo techo.

La pérdida que se produce en el desempalillado, es notoria, sobre todo en el proceso de desempalillado mecánico, que alcanza en palillos de corte tangencial, a un 28%, en comparación al 12% para el corte tangencial.

Finalmente, vale la pena resaltar que la inversión en listones separadores, es alta y por lo tanto, además del cuidado en su manipulación, es rentable adoptar cualquier proceso de mantenimiento para aumentar su vida útil.

Por tanto, este trabajo está orientado a evaluar mecánica y físicamente la duración de palillos separadores de ***Pinus radiata* D. Don**.

De acuerdo a lo anterior, este trabajo pretende como objetivo general:

- *Evaluar mecánica y físicamente palillos separadores utilizados en el proceso de secado de ***Pinus radiata* D. Don***

Para el logro de este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- *Determinar el efecto de ciclos de secado sobre: flexión estática, flexión dinámica y compresión perpendicular a las fibras para separadores nuevos y usados.*
- *Determinar valores de densidad básica y contenido de humedad en separadores nuevos y usados.*
- *Establecer correlaciones que permitan identificar las mejores soluciones.*



## **2. MARCO TEÓRICO**

Es de suma importancia en todo el proceso de secado la utilización de listones separadores, que son piezas de madera de sección rectangular utilizadas para la separación de pisos de tablas en una pila horizontal de secado (JUNAC, 1989). Un separador entonces, es una pieza de madera imprescindible para el proceso de secado artificial. La principal importancia que tienen los palillos separadores es su incidencia en las deformaciones durante el secado artificial de madera.

Respecto a los listones separadores es importante recalcar que estos elementos tienen una influencia determinante en la velocidad y éxito del secado. En general deben ser de medidas uniformes, ya sean de sección cuadrada o rectangulares; de alta durabilidad y resistentes a ataques fungosos, confeccionados en madera seca y de buena calidad, sea de la misma especie, que se está secando, o bien de otra distinta pero teniendo la certeza de que no provocará problemas, como deformaciones, cambios de color, cambios en el contenido de humedad. (Peredo *et al*, 1985).

Se ha visualizado, que el separador fabricado con madera lateral, con corte tangencial, es el que presenta mejor comportamiento en cuanto a su duración en la industria (Saffirio, 2003), es por eso que a través de ensayos mecánicos se buscará demostrar la veracidad de este hecho.

### **2.1. Consideraciones acerca de los listones separadores**

El número y la posición de los separadores tienen, con frecuencia, influencia decisiva en la formación de defectos y descalificación por secado (Torres, 1971). El número de separadores varía según:

- Especie
- Espesor
- Calidad de madera a secar

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que el grosor de los separadores influye en la facilidad de circulación del aire entre las tablas. Han de ser de longitud suficiente para que la madera aserrada apilada descansa sobre ellos en todo su ancho, con lo cual se evita que se alabee (Vigrote y Jiménez, 2000).

Una recomendación muy importante, en el caso de los separadores, es que estos sigan un mismo plano vertical de manera que transmitan el peso de la pila directamente a los cargadores de la base, para evitar que las tablas se deformen. (Zamudio, 1986).

Los espesores y anchos de los separadores deben determinarse de acuerdo a la madera que se seque. Separadores gruesos tienden a acelerar el secado, y lo contrario se consigue con separadores delgados. El espesor regula el volumen de aire que circula entre la pila y por lo tanto la velocidad del secado (Juacida e Inzunza, 1990). Además de elegir el espesor, es importante preocuparse de que todos los separadores a emplear sean parejos en esa medida; para asegurar mejor esto, convendrá cepillarlos, pero esta operación no es imprescindible (Tuset y Durán, 1979).

A continuación se muestra un cuadro resumen de relación entre espesores de madera, palillos y separación de estos.

Cuadro 1. Características de los listones separadores

Espesor de las tablas (mm.)	Espesor de los separadores (mm.)	Distancia entre separadores (mm.)
Menos de 20	20	300-400
20-40	25	400-500
40-50	30	500-600
50-65	35	700-800
65-80	40	900
mas de 80	45	1000

Fuente: JUNAC (1989)

El ancho de los separadores debe regularse tomando en cuenta su influencia en dos sentidos. Por un lado, con un mayor ancho, se soporta mejor el peso de las corridas superiores y también se transmite mejor la presión de éstos o de los pesos colocados para controlar posibles alabeos, al mismo tiempo que se da mas estabilidad al conjunto del castillo. Por otro lado separadores demasiado anchos retardan el secado de las piezas y pueden provocar la aparición de defectos (INFOR, 1989).

La confección o estructura de los separadores debe involucrar un costo mínimo y un uso máximo. Esto implica manejar el concepto de vida útil del separador, para prolongarla se puede hacer uso de las siguientes opciones:

- hacer separadores de maderas de buena o mediana durabilidad natural, cuando en los aserraderos se trabaje con especies de este tipo (roble, coigue, ulmo entre otros en Chile).
- Cuando solo se trabaje maderas de baja durabilidad natural, deben de ser impregnados con algún preservante hidrosoluble tipo CCA o CCB.
- Darle una dimensión homogénea y en lo posible, en el grosor cepillar ambas caras.

En el desarmado de los castillos, los separadores deben tener un manejo, es decir, se les debe colocar en estructuras especiales de manera tal que no se deformen y sea fácil trasladarlos para su reuso. (Juacida y Quintanar, 1992).

De acuerdo con las consideraciones anteriores, los separadores, idealmente debieran poseer las siguientes características:

- Madera que sea dimensionalmente estable, grano recto.
- Deben ser de madera que posea una alta resistencia mecánica.
- En lo posible libres de defectos, tales como torceduras, grietas, nudos.
- Buen estado fitosanitario, en lo que se refiere a manchas, hongos, ataques de insectos.
- Espesor uniforme en el largo.

Según Saffirio, (2003), el tipo de separador que obtiene mayor duración es el tangencial de madera lateral, sin defectos. También es importante en la duración de éstos el tipo de empalillado que se utilice, ya sea manual o mecánico, siendo este último el que representa mayores pérdidas.

## **2.2. Tipos de corte**

Los tipos de corte que existen son floreado, cuarteado y mixto, comercialmente la madera con anillos de crecimiento formando un ángulo de 45° a 90° con la superficie de la pieza, se denomina cuarteada y floreada cuando estos ángulos son de 0° a 45°. (Torres, 1981). Por lo tanto los separadores se clasifican según el corte con que se elaboran, en:

- Longitudinal tangencial o Floreado
- Longitudinal radial o cuarteado
- Mixto

### *2.2.1 Ventajas de los separadores obtenidos de madera floreada:*

- Requiere menos tiempo de aserrado y se obtiene un mejor aprovechamiento
- Los nudos atraviesan la pieza en su espesor, presentándose en las caras como superficies circulares, disminuyendo en menor grado su resistencia
- Es menos propensa al colapso durante el secado
- Presenta una menor contracción en su espesor

### *2.2.2 Ventajas de los separadores obtenidos de madera cuarteada:*

- Presenta menor contracción en el ancho
- Es menos propensa a la torsión
- La superficie no se agrieta tanto durante el secado y el uso.
- La madera se desgasta en forma mas uniforme (Torres, 1981).

## 2.3. Propiedades mecánicas

Es importante recordar la importancia de las propiedades mecánicas; el término propiedad mecánica es aquel que nos indica la capacidad que tienen los materiales para resistir fuerzas externas o aplicadas, con lo cual se puede controlar la forma de uso más adecuada (Pérez, 1983). Es por ello que algunos de los parámetros a ensayar para palillos separadores son resistencia a: flexión estática, flexión dinámica y compresión perpendicular a las fibras.

### 2.3.1. Flexión

Dentro del concepto de flexión debemos diferenciar flexión estática de flexión dinámica:

- Flexión estática la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada a velocidad lenta y constante en el centro de la luz o distancia entre apoyos (Pérez, 1983).
- Flexión dinámica (impacto), es la capacidad que tiene la madera de absorber energía al aplicársele una carga que actúa en forma instantánea sobre ella. La masa que impacta la probeta tiene una energía libre determinada por su peso y su ángulo de caída (Pérez, 1983).

### 2.3.2. Compresión perpendicular a las fibras

Es importante para la elección de palillos separadores, el tipo de madera a utilizar, ya que puede contener madera de reacción, madera central, las que van a influenciar directamente en una menor resistencia a la compresión, también cobra importancia el factor llamado inclinación de la fibra.

Inclinación de la fibra se refiere a maderas en las que los elementos constituyentes del leño, presentan variaciones de inclinación en relación con el eje vertical de la troza o pieza de madera, restringiéndose frecuentemente a la región de los nudos, aunque si presenta nudosidad excesiva se convierte en un defecto serio porque afecta a las resistencias mecánicas. (Vargas, 1987).

Todas las resistencias mecánicas son inversamente proporcionales al aumento del ángulo de las fibras, es decir, las mayores resistencias se alcanzan en sollicitaciones paralelas a las fibras (Saffirio, 2003).

La dirección de la carga que se aplica, puede coincidir o no con la dirección en que se encuentra el eje mayor de las células. El ángulo que se forma entre dirección de la carga y fibras, se denomina ángulo de carga de las fibras. La presencia de nudos en los palillos separadores es uno de los defectos con mayor incidencia en la alteración de las propiedades mecánicas, especialmente en el *Pinus radiata*.

Con respecto a desviación de fibras podemos tomar en cuenta la presencia de nudos, los cuales deprecian la pieza, principalmente debido a la presencia de grano irregular, que es el caso de un esfuerzo de compresión paralela a las fibras, que hará que el separador hecho de madera se comporte con inestabilidad.

Esta discontinuidad puede también afectar las piezas que están sujetas a la flexión, además de dificultar el trabajo de las mismas (Vargas, 1987).

## **2.4. Propiedades físicas**

### *2.4.1. Humedad*

La importancia de la humedad radica en la gran influencia que tiene sobre el resto de las características físico-mecánicas, a las que hace variar para valores inferiores al punto de saturación de fibras.

A medida que una madera se seca va perdiendo el agua libre que poseen los lúmenes, no constatándose en esta etapa cambios en las dimensiones de las piezas ni modificación en su resistencia mecánica. (Tuset, 1979), por este motivo para las mediciones posteriores de contenido de humedad y densidad, se utilizan palillos separadores secos.

### *2.4.2 Densidad*

Esta característica es una de las más influyentes en los cambios dimensionales y demás características físico-mecánicas de la madera y, por tanto, de los palillos separadores. La densidad se define como el cociente formado por la masa y el volumen (norma chilena 176/2).

Los distintos cortes con que se fabrican los palillos separadores presentan importancia en cuanto a la mayor o menor contracción que pueda ocurrir durante el secado, siendo esta mayor en piezas cuya cara principal proviene de corte longitudinal tangencial; al contrario en piezas cuya cara principal proviene de corte longitudinal radial, presentan menor contracción en el ancho de la pieza.

Esto implica que la estructura variará provocando deformaciones en los separadores fabricados de dicha madera. Se considera deformación a toda distorsión en una pieza de madera que cause desviaciones en sus planos originales y su causa está en las diferencias existentes entre las contracciones radial, tangencial y longitudinal (Juacida e Inzunza, 1990).

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Madera

Para la realización de los ensayos y mediciones se utilizaron palillos separadores hechos de *Pinus radiata* D. Don, cuyas medidas de espesor, ancho y largo, son: 18cm x 20cm x 1.20m, estos provienen de una Empresa de la X región, los que ya habían sido utilizados en varios ciclos de secado. Debido a esto es que se realizó una selección, excluyendo los separadores quebrados, los con mayor concentración de defectos como nudos, grietas, médula y torcedura, así como también los de distinta escuadría; luego se seleccionaron por tipo de corte.

La otra parte del material ensayado se obtuvo de separadores fabricados en laboratorio, a partir de madera aserrada, en las mismas dimensiones de los separadores usados, y también en los diferentes tipos de corte; estos, dadas las dimensiones de la madera con la cual fueron fabricados, alcanzaron un largo de 90cm, designándose como separadores testigos.

Por lo tanto, para homogeneizar las muestras, todos los separadores, tanto usados como testigos, se prepararon para obtener las dimensiones: 18mmx20mmx90cm. De cada palillo separador, se obtuvo 3 probetas, de 30cm. de largo cada una; cada probeta se utilizó para realizar uno de los tres ensayos mecánicos.

Posterior a los ensayos mecánicos, de cada probeta ensayada se obtuvo una sub-muestra para la determinación de densidad básica y contenido de humedad de ensayo.

##### 3.1.2 Equipos e instrumentos

- Máquina universal de ensayo, marca Mohr Federhaff Losenhausen
- Péndulo de Impacto, para ensayo de flexión dinámica, marca Mohr Federhaff Losenhausen
- Estufa

## 3.2 Método

### 3.2.1 Determinación del número de separadores (tamaño muestral)

El tamaño de la muestra utilizada para este estudio se determinó en base a la cantidad de separadores que cumplían con la escuadría y que se encontraron enteros, lo cual resultó en un tamaño muestral de 119 separadores usados, por lo tanto se fabricaron 119 separadores testigos (nuevos), en las mismas dimensiones anteriores.

### 3.2.2 Determinaciones a realizar

A las probetas se le realizarán pruebas destinadas a medir:

- Propiedades mecánicas:
  - Flexión estática
  - Flexión dinámica
  - Compresión perpendicular a la fibra
  
- Propiedades físicas:
  - Densidad básica
  - Contenido de humedad

### 3.2.3 Determinación de flexión estática

La probeta con sección de palillo separador, se colocará en su condición de trabajo para ser ensayada. La velocidad de aplicación de la carga será 2.5 mm / min, respetando las indicaciones de la Norma Chilena 987.

En cada probeta se determinará la tensión unitaria de rotura o flexión estática (Rf), mediante la expresión:

$$R_f = \frac{3 * Q * L}{2 * b * h^2} \quad (Kg / cm^2)(1)$$

Donde:

- Rf = Tensión de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>)
- Q = carga de rotura (Kg.)
- L = luz de ensayo (cm.)
- b = ancho de probeta (cm.)
- h = espesor de la probeta (cm.)

### 3.2.4 Determinación de Flexión dinámica

La determinación de absorción de energía se determinará utilizando un péndulo de impacto y siguiendo procedimientos indicados en la Norma DIN 52189.

De acuerdo a esta norma el trabajo de rotura (T) se obtiene mediante la expresión:

$$T = \frac{1000 * W}{b * h} \quad (KJ / m^2) \quad (2)$$

Donde:

T = Trabajo de rotura (KJ/m<sup>2</sup>)  
W = energía absorbida (J)  
b = ancho de la probeta (mm.)  
h = espesor de la probeta (mm.)

### 3.2.5 Determinación de Compresión perpendicular a la fibra

En este ensayo la probeta se ubicará de tal forma que la carga se aplique sobre una cara de ella. La velocidad de aplicación de la carga será de 0.3 mm. / min. y se considerará como carga de rotura aquella que produzca una deformación de 2.5 mm. según lo indicado por la Norma Chilena 974.

En cada probeta se determinará la tensión unitaria de rotura a compresión perpendicular (Rcn) de acuerdo a la expresión:

$$Rcn = \frac{Q}{c * a} \quad (Kg / cm^2) \quad (3)$$

Donde:

Rcn = Tensión unitaria de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Q = carga de rotura (Kg.)  
c = ancho del cabezal de carga (cm.)  
a = ancho de la probeta (cm.)



### 3.2.6 *Determinación del contenido de humedad*

El contenido de humedad de la madera corresponde a la cantidad de agua incluida en la madera, expresada como porcentaje de su masa anhidra (Norma Chilena 176/ 1).

Para realizar las mediciones se utilizará el método de pesada, que consiste en extraer muestras cortadas de piezas representativas de un lote, las cuales se secaran en estufa a  $103 \pm 2$  °C, hasta que su peso sea constante, expresándose como porcentaje de la cantidad de agua con relación al peso anhidro de la madera de acuerdo a:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100(\%) \quad (5)$$

Donde:

H = Contenido de humedad (%)  
m<sub>1</sub> = masa antes del secado (g)  
m<sub>2</sub> = masa anhidra (g)

### 3.2.7 *Determinación de densidad básica*

Debido al carácter higroscópico de la madera se definen varios tipos de densidad. Cuando el estado de la masa es anhidro y el volumen es medido en estado verde, la densidad se conoce densidad básica (Db) y se determina según la relación:

$$Db = \frac{M_o}{V_v} \quad (gr / cm^3) (4)$$

Donde:

Db = Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>)  
M o = masa anhidra (g)  
V v = volumen verde (cm<sup>3</sup>)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de resultados se realizó mediante el uso de herramientas de análisis estadístico y el programa Microsoft Excel. Se utilizaron datos de frecuencia absoluta y valores promedio, desviación estándar, máximos y mínimos; estos valores se presentan en cuadros resúmenes, por tipo de corte y procedencia de las muestras (separadores usados y separadores testigo).

Los valores obtenidos por cada tipo de corte y tipo de separador, se presentan en gráficos que muestran los valores promedio de cada propiedad mecánica y física estudiada.

### 4.1 Propiedades Mecánicas

#### 4.1.1 Flexión estática

En el cuadro 2 se observan los valores de flexión estática por tipo de corte entre separadores usados y testigo, expresados en Kg/cm<sup>2</sup>.

Cuadro 2. Flexión estática por tipo de corte y tipo de separador.

	USADOS (Kg/cm <sup>2</sup> )			Testigos (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	TG	MX	RD	TG	MX	RD
MEDIA	349,0	384,3	464,4	695,5	679,2	619,3
DV.ST.	199,4	339,8	230,9	190,8	255,9	200,7
MIN.	50,0	68,8	87,5	118,8	156,3	156,3
MAX.	737,5	1912,5	1068,8	1000,0	1318,8	1100,0

Los valores de flexión estática para separadores usados es menor comparado con los separadores testigos en aproximadamente un 50%, para el tipo de corte tangencial y mixto. La variación máxima de toda la muestra se encuentra en el corte tangencial posiblemente esta diferencia en los valores de ambos separadores, se debe a la presencia de nudos y rajaduras que poseían los separadores usados. (VARGAS, 1987), debido a que ya habían sido utilizados en la industria, por otra parte la variación mayor en el corte tangencial, se debería a que en ese plano de corte el ángulo de las fibras posee una menor inclinación respecto al eje central, lo que le otorgaría mayor resistencia a la flexión.

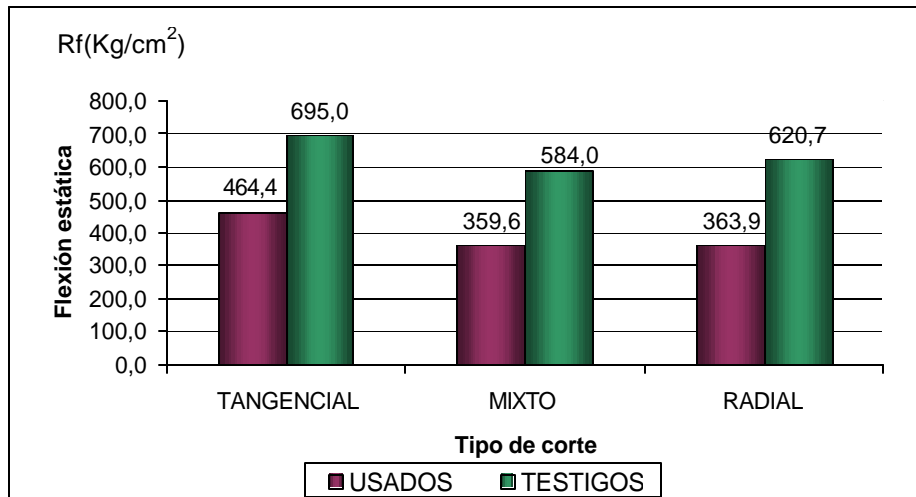


Figura 3. Tensión unitaria de rotura por tipo de corte y tipo de separador

En la figura 3, se muestra el comportamiento de la tensión unitaria de rotura, para los tres tipos de corte, observándose que las mayores resistencias mecánicas están dadas por los separadores testigos, cuyos valores se encuentran por sobre la media de los separadores usados con valores más altos dados por probetas provenientes de los cortes tangencial y mixto.

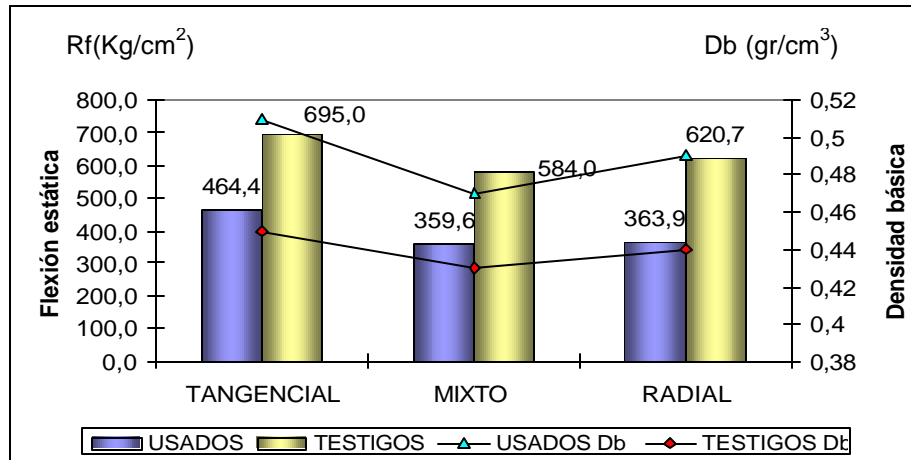


Figura 4. Tensión unitaria de rotura por tipo de corte y tipo de separador en relación a la densidad básica.

En cuanto a la relación de la densidad de las probetas de separadores usados con la propiedad de flexión estática, se observó (figura 4), que la menor densidad coincide con el corte mixto, que es el que alcanza la menor resistencia a la flexión estática, este hecho es coincidente con lo que ocurre con los separadores testigos, en cuanto a que la menor resistencia a la flexión esta dada por el corte radial, donde el promedio de densidad es mas bajo.

#### 4.1.2 Flexión dinámica (KJ/m<sup>2</sup>)

En el cuadro 3 se muestran los resultados para flexión dinámica según corte y tipo de separador.

Cuadro 3. Flexión dinámica por tipo de corte y tipo de separador.

	USADOS (KJ/m <sup>2</sup> )			Testigos (KJ/m <sup>2</sup> )		
	TG	MX	RD	TG	MX	RD
MEDIA	20,3	17,4	21,3	26,9	26,9	27,6
DV.ST.	10,7	17,8	12,7	15,1	14,2	11,9
MIN.	8,2	3,6	4,1	4,1	4,9	4,9
MAX.	62,1	106,2	55,6	81,7	63,7	52,3

El cuadro 3, indica que no hay una diferencia significativa en los valores medios, sin embargo, se tiene una mayor desviación estándar en el corte mixto de los separadores usados, esto debido a la diferencia que existe entre el valor máximo y mínimo, pudiendo explicarse, por el valor máximo obtenido de una probeta que contenía gran cantidad de defectos (resina) y grietas, los cuales a través de la temperatura a la que fueron sometidos durante su uso en la industria, provocó que se comportara en forma más plástica, absorbiendo mejor el impacto del péndulo.

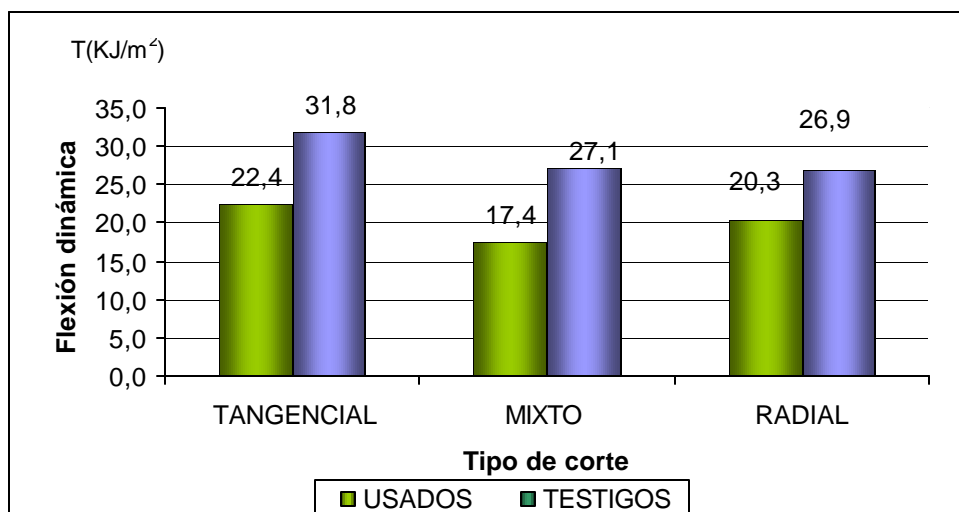


Figura 5. Trabajo de rotura cortes tangencial, radial y mixto.

El comportamiento del trabajo de rotura para los distintos tipos de cortes, indica que (figura 5) el corte tangencial es el que presenta los valores más altos de energía absorbida para romper las probetas, lo que significa que, la mayor o menor resistencia a flexión podría atribuirse al ángulo que poseen las fibras en ese tipo de corte, el cual es perpendicular a la dirección de la carga de impacto.

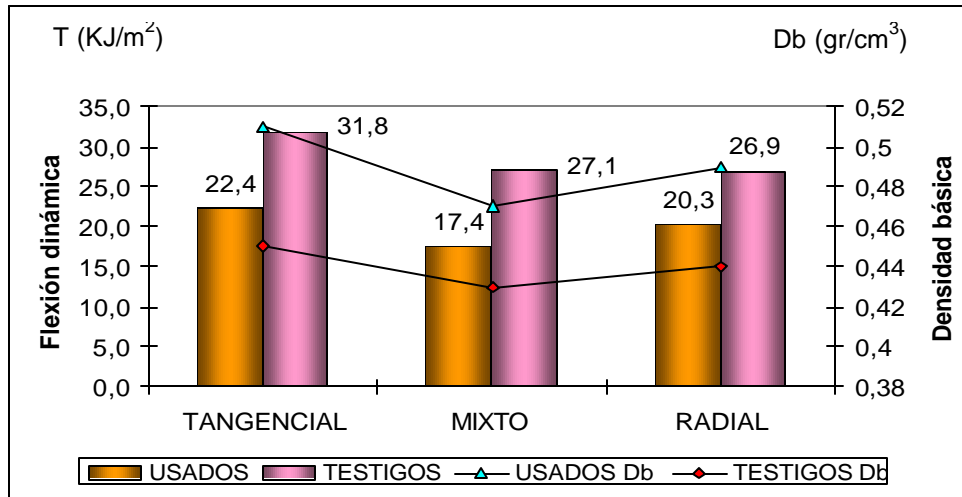


Figura 6. Trabajo de rotura por tipo de corte y tipo de separador en relación a la densidad básica.

En la figura 6, se puede observar la tendencia para los tres tipos de corte y diferente tipo de separador, la cual es que a menor densidad también es menor la resistencia a la flexión dinámica.

#### 4.1.3 Compresión perpendicular a la fibra.

Cuadro 4. Compresión perpendicular por tipo de corte y tipo de separador.

	USADOS (Kg/cm²)			Testigos (Kg/cm²)		
	TG	MX	RD	TG	MX	RD
MEDIA	56,2	46,4	55,9	59,2	56,4	60,9
DV.ST.	16,1	13,3	20,6	11,0	14,7	12,1
MIN.	24,9	1,9	1,0	38,8	33,6	43,6
MAX.	97,2	68,5	98,7	81,1	88,4	84,4

En el cuadro 4, se observa que la carga media que resisten las probetas, por centímetro cuadrado es menor en los separadores usados, los cuales se ubican casi en un 50% en rangos de 40 a 80 Kg/cm². Por otra parte, los valores mínimos extremadamente bajos, en separadores usados, que se desprenden de los cortes mixto y radial, se deben a que esas probetas poseían gran cantidad de defectos, mayoritariamente grietas, en el área donde se aplicaba la carga de ensayo.

Por otra parte, los separadores testigos alcanzan valores mayores, encontrándose la mayor concentración de separadores en rangos de 50 a 70 Kg/cm².

La desviación estándar alcanza su menor valor en el corte tangencial de los separadores testigos. Los valores máximos y mínimos alcanzan sus mayores fluctuaciones en el corte radial, tanto para separadores testigos, como usados, lo cual se debería a que en esos cortes, las fibras poseen ángulos mayores que en el corte tangencial.

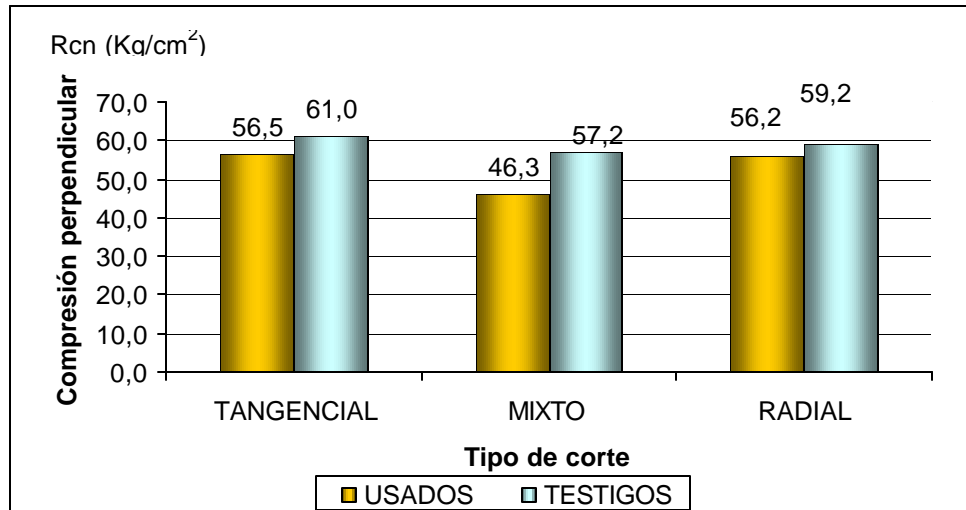


Figura 7. Tensión unitaria de rotura en compresión perpendicular a la fibra.

En la figura 7, se muestra la variación en la tensión unitaria de rotura, por cada probeta, según tipo de corte. El corte tangencial presenta un mejor comportamiento, que los cortes radial y mixto, en cuanto a resistencia a compresión, alcanzando en promedio 56,5 y 61,0 Kg/cm<sup>2</sup>, para separadores usados y testigos respectivamente.

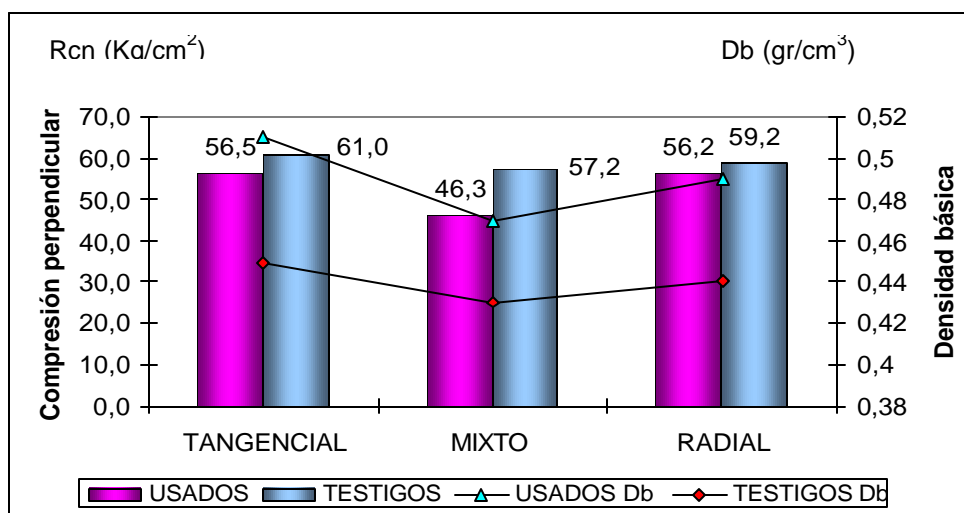


Figura 8. Tensión unitaria de rotura por tipo de corte y tipo de separador en relación a la densidad básica.

Con respecto a la influencia de la densidad, sobre la resistencia a compresión perpendicular a la fibra, se puede observar en la figura 8, que tanto para separadores usados, como para separadores testigos, las mayores resistencias se alcanzan cuando los valores de densidad también son mayores, para ambos casos el corte tangencial es el que presenta la mayor resistencia a compresión perpendicular.

## 4.2 Propiedades Físicas

### 4.2.1 Contenido de humedad

El siguiente cuadro, muestra el contenido de humedad promedio de las probetas, los valores más altos se presentan en separadores testigo, dado que el contenido de humedad inicial fue, mayor que el de los separadores usados.

Cuadro 5. Contenido de humedad por tipo de corte y tipo de separador

	USADOS (%)			Testigos (%)		
	TG	MX	RD	TG	MX	RD
MEDIA	12,2	12,5	12,6	14,3	12,9	14,5
DV.ST.	3,0	2,1	2,7	4,1	1,7	3,9
MIN.	10,5	10,3	10,4	3,8	4,3	12,1
MAX.	24,5	17,8	21,6	27,3	14,1	31,6

Los contenidos de humedad, de acuerdo al cuadro 5, fluctúan como promedio, entre un 12 a 14% alcanzando los valores máximos los separadores testigos, lo que se relaciona con la mayor resistencia a flexión estática, dinámica y compresión perpendicular a la fibra.

### 4.2.2 Densidad básica

El cuadro 6, nos muestra que las variaciones de densidad, se producen principalmente en el corte mixto de los separadores usados, que junto con el corte tangencial presentan los mayores valores de densidad.

Cuadro 6. Densidad básica por tipo de corte y tipo de separador.

	USADOS (%)			Testigos (%)		
	TG	MX	RD	TG	MX	RD
MEDIA	0,51	0,47	0,50	0,45	0,43	0,44
DV.ST.	0,06	0,09	0,06	0,05	0,07	0,04
MIN.	0,36	0,29	0,34	0,39	0,41	0,40
MAX.	0,59	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55

El mayor porcentaje de probetas de separadores usados se encuentra en valores de densidad media de  $0,48 \text{ gr/cm}^3$ , para separadores testigos la mayoría de las probetas se encuentra en valores cercanos a  $0,45 \text{ gr/cm}^3$ , esto se explica con el contenido de humedad inicial mas alto en separadores testigos.

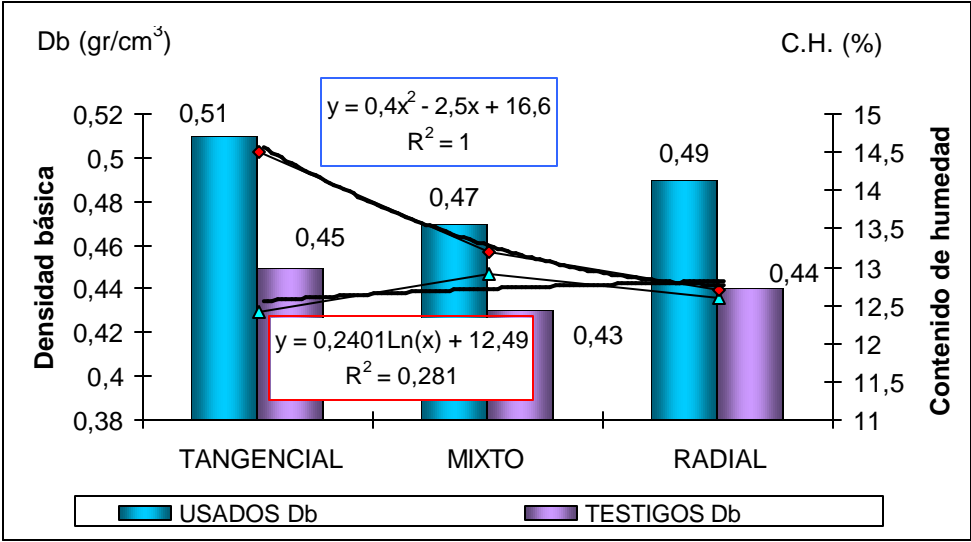


Figura 9. Contenido de humedad y densidad por tipo de corte y tipo de separador

En la figura 9, se presentan los valores promedio de la relación entre densidad y contenido de humedad de las probetas de separadores usados y testigos, alcanzando los valores máximos de contenido de humedad, los separadores testigo, los cuales poseen densidades más bajas que las probetas de los separadores usados.

Analizando la tendencia del contenido de humedad de separadores usados y testigos, se puede decir que el coeficiente de regresión, que poseen una menor dispersión es el de separadores testigos.



## 5. CONCLUSIONES

Las variaciones observadas en las resistencias mecánicas, respecto a separadores testigos y usados, se explicaría, por que éstos últimos al haber sido utilizados en la industria, poseen un tratamiento térmico, produciendo cambios en los elementos constituyentes de la madera, haciendo que esta se vuelva más rígida y con menor resistencia al impacto.

En general, los valores de resistencias mecánicas, son mayores para los separadores testigos, esto se relaciona directamente con la ausencia o en algunos casos mínima cantidad de defectos, tales como nudos, grietas, bolsillos de resina.

En cuanto al tipo de corte, el separador que obtuvo mejores resultados fue el corte tangencial, de los separadores testigos, cuyos valores resultantes de los ensayos, fueron mayores para los diferentes tipos de ensayos.

El corte que, en general, presentó los valores más bajos de resistencias mecánicas, fue el corte radial.

Los valores de resistencias mecánicas de separadores con corte mixto, tienden a arrojar valores promedio entre los cortes tangencial y radial, acercándose más a los resultados obtenidos con el corte tangencial.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 1989. Principios de Organización y Operación del Aserradero. Concepción. 217p.
- Deutsche Industrie Norm: DIN 52189. Teil 1. Prüfung von Holz. Schlagbiegeversuch. Bestimmung der Bruchschlagarbeit.
- Instituto Forestal. 1989. Principios de Organización y Operación del Aserradero. Santiago. 213p. Manual N° 16.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile): NCh 176/1. Madera. Parte 1: Determinación de humedad.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile): NCh 176/2. Madera. Parte 2. Determinación de densidad.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile): NCh 974. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.
- Instituto Nacional de Normalización (Chile): NCh 987. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de flexión estática.
- Juacida, R.; Inzunza, L. 1990. Pautas de Control de Calidad para Madera Secada Artificialmente. Publicación Docente 21. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ingeniería Forestal. 27 p.
- Juacida, R.; Quintanar, J. 1992. Secado de la Madera: Secado natural al aire libre. Publicación Docente 35. Universidad Austral de Chile. 21p.
- Junta de Acuerdo de Cartagena (JUNAC). 1989. Manual del Grupo Andino para Secado de Maderas. Perú. 305 p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1991. Propiedades y Tecnología de la Madera de Pino radiata del país Vasco. España. 243p.
- Peredo, M; Juacida, R, Inzunza, L. 1985. Informe de Convenio N° 88, Convenio Infodema S.A. "Curso de Capacitación en Secado de Maderas". Universidad Austral de Chile. 56p.
- Pérez, V. 1983. Manual de propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas. Santiago. 451p.
- Saffirio, I. 2003. Evaluación Técnico –económica para la producción de separadores en el proceso de secado de *Pinus radiata* D. Don. Valdivia. Trabajo de Titulación. Universidad Austral de Chile. 35p.
- Torres, H. 1971. "Maderas" Corporación Chilena de la Madera. 112p.

Tuset, R.; Durán, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización.

Vargas, J. 1987. Anatomía y Tecnología de la Madera. Bolivia. 118p.

Vigrote, S; Jiménez, F.2000. Tecnología de la Madera. Madrid.653p.

Zamudio, E. 1986. Manual de la Industria Maderera. 1° edición. México. 386p.

## **ANEXOS**

## **ANEXOS 1**

Abstract

## **Mechanical and physical evaluation of wood stickers in the kiln dry process of *Pinus radiata* D. Don**

The current study analyzed the variance between wood stickers in terms of their mechanical and physical properties, based on different cutting sections (tangential, radial, mixed) using the standard method of determining properties.

For the mechanical and physical evaluation, standardized stickers were selected and compared with common wood stickers used in the kiln dry industry.

Major variance observed between stickers, type used, and test stickers were: static flexion, reaching approximately a variance of 50% to the test stickers in each cutting section.

Other properties keep in ranks close to values obtained by the test stickers. The tangential cut showed the best performance in terms of resistance to flexion and vertical compression to the fiber.

**Key words:** sticker, kiln dry, mechanical properties, physical properties.

## **ANEXOS 2**

Cuadros Propiedades Mecánicas

Flexión estática separadores usados

PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	250,0	31	731,3	61	512,5	91	756,3
2	225,0	32	206,3	62	350,0	92	843,8
3	81,3	33	525,0	63	212,5	93	650,0
4	250,0	34	325,0	64	68,8	94	181,3
5	331,3	35	512,5	65	218,8	95	550,0
6	400,0	36	81,3	66	406,3	96	650,0
7	268,8	37	331,3	67	231,3	97	606,3
8	637,5	38	206,3	68	262,5	98	593,8
9	643,8	39	675,0	69	168,8	99	606,3
10	356,3	40	306,3	70	162,5	100	493,8
11	50,0	41	568,8	71	262,5	101	143,8
12	606,3	42	981,3	72	168,8	102	87,5
13	275,0	43	150,0	73	512,5	103	150,0
14	275,0	44	193,8	74	1912,5	104	150,0
15	362,5	45	312,5	75	581,3	105	618,8
16	168,8	46	625,0	76	443,8	106	487,5
17	412,5	47	150,0	77	456,3	107	531,3
18	643,8	48	125,0	78	893,8	108	237,5
19	575,0	49	300,0	79	156,3	109	237,5
20	131,3	50	650,0	80	125,0	110	437,5
21	612,5	51	143,8	81	506,3	111	1068,8
22	412,5	52	393,8	82	125,0	112	437,5
23	193,8	53	237,5	83	31,3	113	406,3
24	400,0	54	337,5	84	162,5	114	381,3
25	581,3	55	218,8	85	487,5	115	368,8
26	81,3	56	225,0	86	137,5	116	175,0
27	200,0	57	387,5	87	418,8	117	668,8
28	187,5	58	225,0	88	143,8	118	368,8
29	118,8	59	318,8	89	681,3	119	550,0
30	737,5	60	668,8	90	493,8		



Flexión estática separadores testigos

PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rf(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	887,5	31	725,0	61	312,5	91	156,3
2	981,3	32	506,3	62	668,8	92	425,0
3	1000,0	33	518,8	63	731,3	93	1100,0
4	775,0	34	1012,5	64	712,5	94	887,5
5	681,3	35	706,3	65	718,8	95	693,8
6	850,0	36	625,0	66	656,3	96	556,3
7	925,0	37	725,0	67	1062,5	97	525,0
8	675,0	38	481,3	68	1125,0	98	400,0
9	756,3	39	800,0	69	700,0	99	587,5
10	812,5	40	862,5	70	1318,8	100	375,0
11	237,5	41	781,3	71	981,3	101	700,0
12	700,0	42	643,8	72	787,5	102	831,3
13	593,8	43	918,8	73	812,5	103	762,5
14	968,8	44	1075,0	74	256,3	104	781,3
15	593,8	45	618,8	75	156,3	105	556,3
16	775,0	46	356,3	76	650,0	106	700,0
17	543,8	47	443,8	77	800,0	107	537,5
18	575,0	48	456,3	78	193,8	108	850,0
19	700,0	49	525,0	79	687,5	109	650,0
20	668,8	50	712,5	80	537,5	110	662,5
21	118,8	51	387,5	81	681,3	111	537,5
22	693,8	52	706,3	82	1062,5	112	975,0
23	668,8	53	725,0	83	156,3	113	468,8
24	712,5	54	887,5	84	75,0	114	712,5
25	743,8	55	443,8	85	762,5	115	656,3
26	725,0	56	668,8	86	937,5	116	593,8
27	600,0	57	506,3	87	787,5	117	662,5
28	500,0	58	693,8	88	425,0	118	512,5
29	762,5	59	700,0	89	375,0	119	325,0
30	625,0	60	756,3	90	400,0		

Flexión dinámica separadores usados

PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)	PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)	PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)
1	0,72	7,06	11,77	41	0,6	5,88	9,81	81	2,31	22,65	37,76
2	1	9,81	16,34	42	2,41	23,63	39,39	82	0,71	6,96	11,60
3	1,05	10,30	17,16	43	0,8	7,85	13,08	83	0,69	6,77	11,28
4	0,82	8,04	13,40	44	0,8	7,85	13,08	84	1,31	12,85	21,41
5	1,55	15,20	25,33	45	1,05	10,30	17,16	85	1	9,81	16,34
6	0,85	8,34	13,89	46	0,9	8,83	14,71	86	2,6	25,50	42,50
7	1,85	18,14	30,24	47	1,1	10,79	17,98	87	0,8	7,85	13,08
8	1,08	10,59	17,65	48	0,75	7,35	12,26	88	0,39	3,82	6,37
9	1,12	10,98	18,31	49	1,8	17,65	29,42	89	3,05	29,91	49,85
10	0,95	9,32	15,53	50	0,65	6,37	10,62	90	1,05	10,30	17,16
11	0,55	5,39	8,99	51	0,37	3,63	6,05	91	1,49	14,61	24,35
12	1,07	10,49	17,49	52	0,73	7,16	11,93	92	1,156	11,34	18,89
13	1,8	17,65	29,42	53	0,79	7,75	12,91	93	2,25	22,06	36,77
14	1	9,81	16,34	54	1,1	10,79	17,98	94	3,9	38,25	63,74
15	1,8	17,65	29,42	55	0,38	3,73	6,21	95	3,68	36,09	60,15
16	0,52	5,10	8,50	56	0,8	7,85	13,08	96	1,2	11,77	19,61
17	0,75	7,35	12,26	57	0,6	5,88	9,81	97	3,05	29,91	49,85
18	0,5	4,90	8,17	58	1,2	11,77	19,61	98	2,1	20,59	34,32
19	1,45	14,22	23,70	59	1,13	11,08	18,47	99	1,21	11,87	19,78
20	2,01	19,71	32,85	60	1,1	10,79	17,98	100	1,8	17,65	29,42
21	1,4	13,73	22,88	61	1,51	14,81	24,68	101	0,2	1,96	3,27
22	0,91	8,92	14,87	62	0,741	7,27	12,11	102	0,28	2,75	4,58
23	1,43	14,02	23,37	63	0,42	4,12	6,86	103	0,69	6,77	11,28
24	3,8	37,27	62,11	64	0,6	5,88	9,81	104	1,05	10,30	17,16
25	1,31	12,85	21,41	65	0,22	2,16	3,60	105	0,4	3,92	6,54
26	1,62	15,89	26,48	66	1,1	10,79	17,98	106	68	10,37	11,11
27	0,51	5,00	8,34	67	0,89	8,73	14,55	107	0,25	2,45	4,09
28	1,5	14,71	24,52	68	0,6	5,88	9,81	108	1,15	11,28	18,80
29	0,65	6,37	10,62	69	0,22	2,16	3,60	109	1,9	18,63	31,05
30	1,72	16,87	28,11	70	0,4	3,92	6,54	110	1,5	14,71	24,52
31	2,53	24,81	41,35	71	0,98	9,61	16,02	111	3,4	33,34	55,57
32	2,7	26,48	44,13	72	1,4	13,73	22,88	112	1	9,81	16,34
33	2,8	27,46	45,76	73	6,5	63,74	106,24	113	1,9	18,63	31,05
34	1,55	15,20	25,33	74	1,2	11,77	19,61	114	0,47	4,61	7,68
35	1	9,81	16,34	75	1,69	16,57	27,62	115	0,28	2,75	4,58
36	0,75	7,35	12,26	76	0,6	5,88	9,81	116	0,3	2,94	4,90
37	1,15	11,28	18,80	77	2,5	24,52	40,86	117	1,42	13,93	23,21
38	0,61	5,98	9,97	78	0,8	7,85	13,08	118	0,85	8,34	13,89
39	3,6	35,30	58,84	79	0,8	7,85	13,08	119	0,51	5,00	8,34
40	2,4	23,54	39,23	80	1,81	17,75	29,58				

Flexión dinámica separadores testigos

PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)	PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)	PROB	Q(Kpm)	Q(J)	(KJ/m2)
1	0,58	6	9,48	41	1,8	18	29,42	81	1,88	18	30,73
2	2	20	32,69	42	1,79	18	29,26	82	0,74	7	12,09
3	2,1	21	34,32	43	2,78	27	45,44	83	0,58	6	9,48
4	1,43	14	23,37	44	3,55	35	58,02	84	1,97	19	32,20
5	1,7	17	27,79	45	1,1	11	17,98	85	1,1	11	17,98
6	1,74	17	28,44	46	1,51	15	24,68	86	1,14	11	18,63
7	1,91	19	31,22	47	0,35	3	5,72	87	2,54	25	41,51
8	5	49	81,72	48	3,42	34	55,90	88	0,7	7	11,44
9	2,3	23	37,59	49	1,5	15	24,52	89	2,82	28	46,09
10	1,92	19	31,38	50	1,7	17	27,79	90	5,24	51	85,64
11	1,9	19	31,05	51	1,81	18	29,58	91	2,7	26	44,13
12	2,91	29	47,56	52	2,13	21	34,81	92	0,73	7	11,93
13	1,48	15	24,19	53	0,92	9	15,04	93	3,25	32	53,12
14	2,35	23	38,41	54	2,62	26	42,82	94	2,4	24	39,23
15	0,36	4	5,88	55	2,12	21	34,65	95	2,34	23	38,25
16	0,6	6	9,81	56	2	20	32,69	96	0,9	9	14,71
17	1	10	16,34	57	2,63	26	42,99	97	1,48	15	24,19
18	0,59	6	9,64	58	3,2	31	52,30	98	0,83	8	13,57
19	1,35	13	22,06	59	1,73	17	28,28	99	1,42	14	23,21
20	0,25	2	4,09	60	1,4	14	22,88	100	2,65	26	43,31
21	0,93	9	15,20	61	1,4	14	22,88	101	1,58	15	25,82
22	1,69	17	27,62	62	1,4	14	22,88	102	1,65	16	26,97
23	2,5	25	40,86	63	1,78	17	29,09	103	1,88	18	30,73
24	1,42	14	23,21	64	0,33	3	5,39	104	1,9	19	31,05
25	1,4	14	22,88	65	2,3	23	37,59	105	0,4	4	6,54
26	1,35	13	22,06	66	1,5	15	24,52	106	1,2	12	19,61
27	1,59	16	25,99	67	1,2	12	19,61	107	2,68	26	43,80
28	2,5	25	40,86	68	0,92	9	15,04	108	1,15	11	18,80
29	1,62	16	26,48	69	0,92	9	15,04	109	2,7	26	44,13
30	0,88	9	14,38	70	3,9	38	63,74	110	0,58	6	9,48
31	2,62	26	42,82	71	0,3	3	4,90	111	0,74	7	12,09
32	1,2	12	19,61	72	1,81	18	29,58	112	4,88	48	79,76
33	1,84	18	30,07	73	1,3	13	21,25	113	1,15	11	18,80
34	0,62	6	10,13	74	0,61	6	9,97	114	2,7	26	44,13
35	2,81	28	45,93	75	1,3	13	21,25	115	0,58	6	9,48
36	1,22	12	19,94	76	1,78	17	29,09	116	0,74	7	12,09
37	1,3	13	21,25	77	2,25	22	36,77	117	4,88	48	79,76
38	1,85	18	30,24	78	0,62	6	10,13	118	1,15	11	18,80
39	2,3	23	37,59	79	1,9	19	31,05	119	1,95	19	31,87
40	1,62	16	26,48	80	1,83	18	29,91				

Compresión perpendicular separadores usados

PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	97,2	31	60,9	61	49,7	91	40,6
2	24,9	32	46,3	62	57,5	92	55,9
3	41,3	33	66,5	63	47,8	93	17,6
4	73,7	34	43,8	64	31,2	94	24,9
5	45,9	35	72,2	65	56,7	95	71,3
6	83,2	36	40,0	66	37,9	96	11,2
7	68,2	37	72,0	67	57,6	97	66,6
8	58,8	38	55,8	68	1,9	98	47,0
9	58,7	39	37,9	69	33,5	99	44,3
10	65,1	40	37,3	70	58,3	100	98,7
11	37,3	41	73,7	71	59,8	101	50,9
12	36,7	42	58,3	72	63,0	102	43,0
13	59,3	43	49,5	73	59,6	103	90,6
14	53,6	44	36,3	74	44,7	104	70,4
15	56,6	45	58,3	75	38,8	105	56,9
16	78,2	46	34,2	76	43,6	106	51,2
17	59,1	47	82,0	77	37,3	107	56,3
18	66,1	48	71,5	78	34,1	108	56,2
19	61,1	49	48,5	79	50,4	109	42,8
20	33,9	50	68,5	80	50,5	110	69,3
21	74,2	51	51,4	81	63,9	111	79,5
22	45,1	52	24,5	82	53,7	112	55,5
23	62,6	53	47,9	83	6,8	113	67,2
24	54,0	54	40,0	84	50,2	114	65,8
25	47,2	55	43,7	85	97,0	115	59,3
26	44,0	56	41,4	86	40,4	116	60,9
27	68,1	57	44,0	87	59,5	117	64,5
28	49,9	58	54,0	88	28,6	118	40,8
29	41,8	59	60,9	89	49,8	119	80,5
30	39,3	60	49,8	90	53,8		

Compresión perpendicular separadores testigos

PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )	PROB	Rcn(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	57,4	31	61,1	61	63,0	91	54,5
2	80,7	32	66,7	62	79,6	92	58,5
3	56,2	33	62,0	63	60,7	93	57,9
4	69,2	34	72,9	64	33,6	94	61,8
5	58,9	35	49,8	65	60,6	95	82,9
6	52,1	36	50,1	66	38,7	96	48,0
7	75,6	37	61,2	67	70,5	97	50,9
8	72,4	38	51,7	68	63,8	98	61,8
9	64,0	39	48,2	69	49,4	99	47,3
10	55,8	40	52,7	70	39,1	100	52,6
11	38,8	41	62,7	71	34,4	101	44,6
12	46,7	42	39,3	72	40,3	102	82,7
13	64,0	43	67,2	73	52,7	103	60,9
14	65,1	44	66,4	74	59,0	104	47,5
15	66,6	45	63,5	75	45,2	105	71,1
16	81,1	46	65,6	76	42,8	106	57,8
17	53,6	47	71,0	77	59,5	107	61,1
18	46,3	48	42,7	78	51,0	108	62,6
19	53,1	49	73,4	79	51,9	109	50,6
20	53,5	50	63,4	80	35,1	110	43,6
21	59,8	51	74,0	81	73,7	111	79,5
22	65,5	52	88,4	82	69,8	112	84,4
23	44,6	53	44,4	83	69,8	113	73,5
24	57,3	54	72,8	84	46,8	114	67,2
25	63,7	55	52,8	85	64,3	115	59,9
26	53,6	56	66,5	86	55,7	116	62,3
27	50,7	57	76,6	87	68,3	117	64,5
28	76,3	58	66,3	88	68,0	118	46,6
29	49,2	59	42,9	89	44,2	119	79,2
30	44,8	60	70,7	90	52,3		

### **Anexos 3**

Cuadros Propiedades Físicas

Contenido de Humedad y Densidad básica separadores Testigos

<b>PROB.</b>	<b>P.seco (gr)</b>	<b>P. Hum (gr)</b>	<b>CH(%)</b>	<b>Db(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PROB.</b>	<b>P.seco (gr)</b>	<b>P. Hum (gr)</b>	<b>CH(%)</b>	<b>Db(gr/cm<sup>3</sup>)</b>
1	8,72	10,42	19,50	0,48	31	9,60	11,05	15,10	0,53
2	9,51	10,23	7,57	0,53	32	8,76	9,44	7,76	0,49
3	8,99	9,70	7,90	0,50	33	9,46	10,75	13,64	0,53
4	8,55	9,56	11,81	0,48	34	9,33	10,11	8,36	0,52
5	9,87	10,54	6,79	0,55	35	8,99	9,41	4,67	0,50
6	8,33	9,36	12,36	0,46	36	9,14	10,74	17,51	0,51
7	9,55	10,49	9,84	0,53	37	8,55	9,26	8,30	0,48
8	8,62	10,09	17,04	0,48	38	8,87	10,00	12,74	0,49
9	9,24	10,12	9,52	0,51	39	9,44	10,12	7,20	0,52
10	8,44	10,02	18,72	0,47	40	8,45	9,22	9,11	0,47
11	9,55	10,32	8,06	0,53	41	8,88	9,74	9,68	0,49
12	7,23	8,90	23,10	0,40	42	8,88	9,66	8,78	0,82
13	9,55	10,03	5,03	0,53	43	8,87	9,44	6,43	0,49
14	9,10	10,22	12,33	0,51	44	9,04	10,05	11,17	0,50
15	9,90	10,04	1,41	0,55	45	8,68	9,46	8,99	0,48
16	8,87	9,99	12,63	0,49	46	9,45	10,14	7,30	0,53
17	8,79	10,23	16,38	0,49	47	9,31	10,65	14,39	0,52
18	8,37	9,30	11,11	0,47	48	8,99	9,55	6,23	0,50
19	8,21	9,17	11,69	0,46	49	8,74	9,85	12,70	0,49
20	9,10	10,22	12,31	0,51	50	8,63	9,47	9,73	0,48
21	9,76	10,87	11,37	0,54	51	8,59	9,46	10,13	0,48
22	8,49	10,10	18,96	0,47	52	9,25	10,47	13,19	0,51
23	8,78	10,24	16,63	0,49	53	9,60	10,63	10,73	0,53
24	9,23	10,46	13,33	0,51	54	9,26	10,41	12,42	0,51
25	8,76	9,15	4,39	0,49	55	9,35	10,44	11,66	0,52
26	9,13	9,98	9,31	0,51	56	9,38	10,34	10,23	0,52
27	8,87	9,25	4,28	0,49	57	8,55	9,28	8,54	0,48
28	9,04	9,44	4,42	0,50	58	8,89	9,47	6,52	0,49
29	9,20	10,12	10,00	0,51	59	8,99	9,96	10,79	0,50
30	9,47	11,00	16,16	0,53	60	9,15	10,46	14,32	0,51

Contenido de Humedad y Densidad básica separadores testigos (continuación)

<b>PROB.</b>	<b>P.seco (gr)</b>	<b>P. Hum (gr)</b>	<b>CH(%)</b>	<b>Db(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PROB.</b>	<b>P.seco (gr)</b>	<b>P. Hum (gr)</b>	<b>CH(%)</b>	<b>Db(gr/cm<sup>3</sup>)</b>
61	8,77	9,12	3,99	0,49	91	9,34	10,41	11,46	0,52
62	8,89	9,47	6,52	0,49	92	9,64	10,14	5,19	0,54
63	9,03	9,97	10,41	0,50	93	8,87	9,58	8,00	0,49
64	9,40	10,17	8,19	0,52	94	9,46	10,75	13,64	0,53
65	9,34	10,11	8,24	0,52	95	9,11	9,45	3,73	0,51
66	8,87	9,32	5,07	0,49	96	9,13	10,00	9,53	0,51
67	8,84	9,14	3,39	0,49	97	9,28	10,88	17,24	0,52
68	8,95	10,14	13,30	0,50	98	8,84	9,86	11,54	0,49
69	9,05	10,16	12,27	0,50	99	8,87	9,99	12,63	0,49
70	9,16	10,46	14,19	0,51	100	9,00	10,24	13,78	0,50
71	9,22	10,89	18,11	0,51	101	8,77	9,63	9,81	0,49
72	7,99	9,03	13,02	0,44	102	9,06	9,88	9,05	0,50
73	9,35	9,99	6,84	0,52	103	8,89	9,67	8,77	0,49
74	8,87	9,44	6,43	0,49	104	9,13	10,47	14,68	0,51
75	8,87	9,46	6,65	0,49	105	9,03	9,66	6,98	0,50
76	9,33	9,68	3,75	0,52	106	8,92	9,26	3,81	0,50
77	9,17	9,47	3,27	0,51	107	9,04	9,66	6,86	0,50
78	9,38	10,69	13,97	0,52	108	9,14	9,86	7,88	0,51
79	8,49	9,65	13,66	0,47	109	9,03	9,87	9,30	0,50
80	8,69	9,16	5,41	0,48	110	8,59	9,04	5,24	0,48
81	8,78	9,62	9,57	0,49	111	8,88	9,67	8,90	0,49
82	9,55	10,04	5,13	0,53	112	9,01	9,66	7,21	0,50
83	8,49	9,22	8,60	0,47	113	9,20	9,85	7,07	0,51
84	7,33	8,26	12,70	0,41	114	9,13	10,17	11,39	0,51
85	7,77	8,98	15,57	0,43	115	8,77	9,74	11,06	0,49
86	9,14	9,95	8,86	0,51	116	9,44	9,87	4,56	0,52
87	8,87	9,87	11,27	0,49	117	9,15	10,23	11,80	0,51
88	8,76	9,96	13,70	0,49	118	9,15	9,88	7,98	0,51
89	10,01	10,98	9,69	0,56	119	9,26	10,04	8,42	0,51
90	7,19	8,09	12,52	0,40					



Contenido de Humedad y Densidad básica separadores usados

PROB	P. SECO(gr)	P. HUM(gr)	CH(%)	Db(gr/cc)	PROB.	P. SECO(gr)	P. HUM(gr)	CH(%)	Db(gr/cc)
1	7,77	8,63	11,07	0,43	31	10,57	11,92	12,75	0,59
2	10,21	11,33	10,96	0,57	32	10,42	12,08	15,90	0,58
3	8,51	9,43	10,85	0,47	33	10,03	11,19	11,59	0,56
4	8,67	9,71	12,00	0,48	34	9,64	10,78	11,77	0,54
5	10,42	11,53	10,68	0,58	35	9,37	10,52	12,22	0,52
6	10,25	11,52	12,43	0,57	36	8,43	9,33	10,63	0,47
7	8,46	9,35	10,53	0,47	37	10,01	11,10	10,84	0,56
8	9,42	10,50	11,50	0,52	38	8,89	9,88	11,12	0,49
9	9,11	10,09	10,75	0,51	39	10,55	12,89	22,18	0,49
10	9,05	10,12	11,80	0,50	40	11,69	12,93	10,59	0,59
11	7,34	8,11	10,49	0,41	41	8,25	9,20	11,52	0,46
12	8,05	10,03	24,53	0,45	42	10,10	12,12	20,03	0,56
13	7,43	8,93	20,30	0,41	43	7,31	8,15	11,55	0,41
14	10,29	11,44	11,16	0,57	44	7,95	8,89	11,79	0,44
15	9,10	10,22	12,33	0,51	45	10,45	11,53	10,34	0,58
16	9,96	11,04	10,88	0,55	46	7,04	7,97	13,25	0,39
17	10,15	11,37	12,00	0,56	47	10,45	12,18	16,59	0,58
18	10,03	11,54	15,05	0,56	48	7,97	8,92	11,86	0,44
19	8,38	9,32	11,21	0,47	49	8,26	9,27	12,20	0,46
20	7,98	8,83	10,68	0,44	50	6,30	7,05	11,97	0,35
21	10,35	11,51	11,20	0,58	51	8,04	9,02	12,16	0,45
22	9,76	10,87	11,37	0,54	52	8,43	9,31	10,42	0,47
23	9,20	10,19	10,79	0,51	53	10,55	11,95	13,29	0,59
24	10,66	11,94	12,02	0,59	54	7,38	8,31	12,57	0,41
25	10,03	11,15	11,19	0,56	55	5,29	5,96	12,67	0,29
26	8,19	9,15	11,66	0,46	56	10,00	11,15	11,49	0,56
27	9,34	10,39	11,19	0,52	57	6,81	7,61	11,69	0,38
28	6,40	7,15	11,73	0,36	58	10,14	11,95	17,84	0,56
29	7,92	8,81	11,29	0,44	59	7,60	8,61	13,25	0,42
30	7,38	8,22	11,31	0,41	60	7,45	8,28	11,09	0,41

Contenido de Humedad y Densidad básica separadores usados (continuación)

PROB.	P. SECO(gr)	P. HUM(gr)	CH(%)	Db(gr/cc)	PROB.	P. SECO(gr)	P. HUM(gr)	CH(%)	Db(gr/cc)
61	9,33	10,36	11,04	0,52	91	7,84	8,74	11,43	0,44
62	6,02	6,76	12,26	0,33	92	8,92	9,98	11,84	0,50
63	6,59	7,33	11,20	0,37	93	9,42	10,48	11,27	0,52
64	6,36	7,04	10,72	0,35	94	9,15	10,24	11,90	0,51
65	9,08	10,03	10,47	0,50	95	10,32	12,48	20,93	0,57
66	9,08	10,11	11,38	0,50	96	10,00	11,06	10,56	0,56
67	9,69	10,71	10,51	0,54	97	8,21	9,09	10,66	0,46
68	9,00	10,03	11,47	0,50	98	8,98	10,03	11,66	0,50
69	8,12	9,15	12,70	0,45	99	8,92	10,01	12,20	0,50
70	10,13	11,22	10,71	0,56	100	10,22	12,43	21,60	0,57
71	10,25	11,92	16,31	0,57	101	9,22	10,37	12,42	0,51
72	9,51	10,57	11,16	0,53	102	6,17	6,92	12,22	0,34
73	10,48	12,28	17,15	0,58	103	9,54	10,68	11,99	0,53
74	9,08	10,07	10,94	0,50	104	8,56	9,55	11,54	0,48
75	8,32	9,64	15,87	0,46	105	9,94	11,25	13,14	0,55
76	7,76	8,63	11,26	0,43	106	9,79	10,90	11,38	0,54
77	8,17	9,73	19,13	0,45	107	9,70	10,81	11,42	0,54
78	7,56	8,42	11,31	0,42	108	9,04	10,12	11,99	0,50
79	10,19	12,37	21,42	0,57	109	8,42	9,44	12,13	0,47
80	8,47	9,41	11,07	0,47	110	9,31	10,45	12,28	0,52
81	9,24	10,23	10,73	0,51	111	10,41	12,55	20,56	0,58
82	10,33	12,50	21,00	0,57	112	8,26	9,31	12,71	0,46
83	8,24	9,12	10,73	0,46	113	8,93	9,97	11,60	0,50
84	8,31	9,26	11,44	0,46	114	10,20	11,36	11,33	0,57
85	10,33	12,72	23,13	0,57	115	6,43	7,22	12,35	0,36
86	8,19	9,13	11,43	0,46	116	7,52	8,41	11,80	0,42
87	7,26	8,12	11,89	0,40	117	9,93	11,00	10,76	0,55
88	6,95	7,74	11,31	0,39	118	7,59	8,57	12,85	0,42
89	9,42	10,60	12,57	0,52	119	10,31	11,39	10,45	0,57
90	10,15	11,31	11,45	0,56					

**ANEXOS 4**  
Resúmenes de Propiedades Mecánicas y Físicas

Compresión separadores usados

Intervalos	Media	Frec.abs.	Frec.rel.(%)	Fr.abs.acum	Frec.rel.	Fr.rel.acum.
0,9 - 10,7	5,81	2	1,68	2	0,02	0,02
10,7 - 20,6	15,64	1	0,84	3	0,01	0,03
20,6 - 30,4	25,46	4	3,36	7	0,03	0,06
30,4 - 40,2	35,29	17	14,29	24	0,14	0,20
40,2 - 50,0	45,11	28	23,53	52	0,24	0,44
50,0 - 59,9	54,94	32	26,89	84	0,27	0,71
59,9 - 69,7	64,76	18	15,13	102	0,15	0,86
69,7 - 97,5	74,59	17	14,29	119	0,14	1,00
<b>Promedio</b>	39,75	15	12,50	49,125	0,13	0,42

Compresión separadores testigos

Intervalos	Media	FREC.abs.	Frec.rel.(%)	Fr.abs.acum	Frec.rel.	Fr.rel.acum.
33,4 - 40,2	36,8	7	5,9	7	0,1	0,1
40,2 - 46,9	43,5	15	12,6	22	0,1	0,2
46,9 - 53,7	50,3	21	17,6	43	0,2	0,4
53,7 - 60,4	57,0	15	12,6	58	0,1	0,5
60,4 - 67,2	63,8	29	24,4	87	0,2	0,8
67,2 - 73,9	70,5	17	14,3	104	0,1	0,9
73,9 - 80,7	77,3	12	10,1	116	0,1	1,0
80,7 - 88,4	84,0	3	2,5	119	0,0	1,0
<b>Promedio</b>	43,7	15	12,5	70	0,1	0,6

Flexión dinámica separadores usados

Intervalos	Media	Frec.abs	Frec.rel. (%)	Frec.abs.acum	Frec.rel.	Frec.rel.acum.
3,3-16,1	9,7	50	42,02	50	0,42	0,42
16,1-29,0	22,5	43	36,13	93	0,36	0,78
29,0-41,9	35,5	17	14,29	110	0,14	0,92
41,9-54,8	48,3	4	3,36	114	0,03	0,96
54,8-67,7	61,2	4	3,36	118	0,03	0,99
67,7-80,5	74,1	0	0,00	118	0,00	0,99
80,5-93,4	87	0	0,00	118	0,00	0,99
93,4-106,2	99,8	1	0,84	119	0,01	1,00
<b>PROMEDIO</b>	54,76	14,88	12,50	105	0,13	0,88

Flexión dinámica separadores testigos

Intervalos	Media	Frec.abs	Frec.rel. (%)	Frec.abs.acum	Frec.rel.	Frec.rel.acum
4,1-23,3	13,7	25	21,01	25	0,21	0,21
23,3-42,6	32,9	35	29,41	60	0,29	0,50
42,6-61,9	52,3	32	26,89	92	0,27	0,77
61,9-81,1	71,5	18	15,13	110	0,15	0,92
81,1-100,4	90,8	4	3,36	114	0,03	0,96
100,4-119,7	110,1	1	0,84	115	0,01	0,97
119,7-139	129,4	3	2,52	118	0,03	0,99
139-158	148,5	1	0,84	119	0,01	1,00
<b>PROMEDIO</b>	81,15	14,88	12,39	94,13	0,13	0,79

Flexión estática separadores usados

Intervalos	Media	Frec.abs.	Frec.rel.(%)	Fr.abs.acum	Frec.rel.	Fr.rel.acum.
30,3 - 265,5	147,9	48	40,3	48	0,40	0,40
265,5 - 500,6	383,0	34	28,6	82	0,29	0,69
500,6 - 735,8	618,2	31	26,1	113	0,26	0,95
735,8 - 970,9	853,3	3	2,5	116	0,03	0,97
970,9 - 1206,1	1088,5	2	1,7	118	0,02	0,99
1206,1 - 1441,2	1323,6	0	0,0	118	0,00	0,99
1441,2 - 1676,4	1558,8	0	0,0	118	0,00	0,99
1676,4 - 1911,5	1793,9	1	0,8	119	0,01	1,00
<b>PROMEDIO</b>	970,9	15	12,5	104	0,13	0,87

Flexión estática separadores testigos

Intervalos	Media	Frec.abs.	Frec.rel.(%)	Fr.abs.acum	Frec.rel.	Fr.rel.acum.
74,0 - 229,4	151,69	8	6,72	8	0,07	0,07
229,4 - 384,8	307,07	5	4,20	13	0,04	0,11
384,8 - 540,1	462,45	17	14,29	30	0,14	0,25
540,1 - 695,5	617,83	33	27,73	63	0,28	0,53
695,5 - 850,9	773,21	37	31,09	100	0,31	0,84
850,9 - 1006,3	928,59	10	8,40	110	0,08	0,93
1006,3 - 1161,7	1083,97	7	5,88	117	0,06	0,99
1161,7 - 1318,0	1239,35	2	1,68	119	0,02	1,00
<b>Promedio</b>	658,52	14,875	12,50	70	0,13	0,59

Densidad separadores usados

Intervalos	Media	Frec.abs	Frec.rel.(%)	Frec.abs.acum.	Frec.rel.	Frec.rel.acum
0,28-0,32	0,30	1	0,84	1	0,01	0,01
0,32-0,36	0,34	6	5,04	7	0,05	0,06
0,36-0,40	0,38	5	4,20	12	0,04	0,10
0,40-0,44	0,42	17	14,29	29	0,14	0,25
0,44-0,48	0,46	23	19,33	52	0,19	0,44
0,48-0,52	0,50	24	20,17	76	0,20	0,64
0,52-0,56	0,54	19	15,97	95	0,16	0,80
0,56-0,60	0,58	24	20,17	119	0,20	1,00
<b>PROMEDIO</b>	0,44	14,88	12,50	48,88	0,13	0,41

Densidad separadores testigos

Intervalos	Media	Frec.abs	Frec.rel.(%)	Frec.abs.acum.	Frec.rel.	Frec.rel.acum
0,39 - 0,41	0,4	1	0,84	1	0,84	0,84
0,41 -0,43	0,42	11	9,24	12	0,09	0,93
0,43 -0,45	0,44	27	22,69	39	0,23	1,16
0,45 - 0,48	0,46	35	29,41	74	0,29	1,45
0,48 -0,50	0,49	24	20,17	98	0,20	1,66
0,50 -0,52	0,51	8	6,72	106	0,07	1,72
0,52 -0,54	0,53	13	10,92	119	0,11	1,83
<b>PROMEDIO</b>	0,46	17	12,5	64,14	0,26	0,66