



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Variación dimensional de madera aserrada
lateral en *Pinus radiata* D.Don.
y su importancia económica**

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera L.

Co-Patrocinante: Sr. Luis Inzunza D.

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

JAVIER ALEJANDRO RODRÍGUEZ JARA

VALDIVIA

2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Nota

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera León
Co-Patrocinante: Sr. Luis Inzunza Diez
Informante: Sr. Roberto Juacida Percaz

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de 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. Alfredo Aguilera L.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Dr. Alfredo Aguilera, Dr. Roberto Juacida y Sr. Luis Inzunza por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Agradecimientos al personal docente y no docente del Instituto de Tecnología de Productos Forestales, por la ayuda y aportes realizados para la concertación de este documento.

Agradecimiento a mi familia que siempre me brindaron su apoyo.

Agradecimientos a toda las personas que de una u otra manera hicieron un aporte para la realización de este documento.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	2
2.1. La humedad en la madera	2
2.1.1. Agua libre	2
2.1.2. Agua higroscópica	3
2.1.3. Agua de constitución	3
2.1.4. Métodos de determinación del contenido de humedad en la madera	3
2.2. Densidad de la madera	4
2.3. Madera juvenil y adulta	5
2.4. Contracción	5
2.4.1. Anisotropía de la contracción	7
2.4.2. Cálculo de la contracción	8
2.4.3. Contracción diferencial	8
2.5. Sobredimensión de la madera verde	9
2.5.1. Alcance económico de la sobredimensión	9
3. DISEÑO DEL TRABAJO	10
3.1. Materiales	10
3.1.1. Madera	10
3.1.2. Equipos de laboratorio	10
3.2. Método	10
3.2.1. Toma de muestra	10
3.2.2. Determinación de contenido de humedad	11
3.2.3. Determinación de la densidad de la madera	11
3.2.4. Determinación de la contracción	12
3.2.5. Determinación del ancho de anillo	13
3.2.6. Determinación de la importancia económica de la contracción	13
3.2.7. Análisis de los resultados	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. Resultados de contracción	15
4.1.1. Resultados de contracción radial	15
4.1.2. Resultados de contracción tangencial	16
4.1.3. Resultados de contracción longitudinal	17
4.1.4. Resultados de contracción volumétrica	18

	Página
4.2. Relación de la contracción con la densidad	19
4.2.1. Análisis de la densidad	19
4.2.2. Efecto de la densidad sobre la contracción tangencial	21
4.2.3. Efecto de la densidad sobre la contracción radial	21
4.2.4. Efecto de la densidad sobre la contracción longitudinal	22
4.4.5. Efecto de la densidad sobre la contracción volumétrica	22
4.3. Relación de la contracción con el ancho de anillo	23
4.3.1. Relación de la contracción radial con el ancho de anillo	23
4.3.2. Relación de la contracción tangencial con el ancho de anillo	24
4.3.3. Relación de la contracción longitudinal con el ancho de anillo	24
4.5.2. Relación de la contracción volumétrica con el ancho de anillo	25
4.4. Relación de la contracción con el diámetro	25
4.5. Análisis de la importancia económica de la contracción	26
5. CONCLUSIONES	29
6. BIBLIOGRAFÍA	30

ANEXOS

- 1 Abstract.
- 2 Gráficos de las curvas de contracción y gráficos de dispersión de las curvas de contracción
- 3 Gráficos de densidad y cuadros de densidad y ancho de anillo

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Variables involucradas en el cálculo de las ventas de madera lateral.	13
Cuadro 2. Resultados obtenidos de la contracción radial	15
Cuadro 3. Resultados obtenidos de la contracción tangencial	16
Cuadro 4. Resultados obtenidos de la contracción longitudinal	17
Cuadro 5. Resultados obtenidos de la contracción volumétrica	18
Cuadro 6. Resultados obtenidos de la densidad básica	20
Cuadro 7. Resultados obtenidos de la contracción tangencial para los diferentes diámetros	25
Cuadro 8. Resultados obtenidos de la contracción radial para los diferentes diámetros	26
Cuadro 9. Resultados obtenidos de la contracción longitudinal para los diferentes diámetros	26
Cuadro 10. Resultados obtenidos de la contracción volumétrica para los diferentes diámetros	26
Cuadro 11. Caso para un aserradero que consume 250.000 m ³ /año en materia prima	27
Cuadro 12. Caso para un aserradero que consume 400.000 m ³ /año en materia prima	28

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Esquema de una célula en su sección transversal	6
Figura 2.	Esquema de las sobredimensiones a considerar	9
Figura 2.	Obtención de probetas	11
Figura 3.	Medición de las probetas en su sentido radial y tangencial.	12
Figura 4.	Distribución de la contracción radial con respecto a la media	16
Figura 5.	Distribución de la contracción tangencial con respecto a la media	17
Figura 6.	Distribución de la contracción longitudinal con respecto a la media	18
Figura 7.	Distribución de la contracción volumétrica con respecto a la media	19
Figura 8.	Distribución de la densidad básica según diámetro	20
Figura 9.	Grafico que relaciona la contracción tangencial y la densidad	21
Figura 10.	Grafico que relaciona la contracción radial y la densidad	21
Figura 11.	Grafico que relaciona la contracción longitudinal y la densidad	22
Figura 12.	Grafico que relaciona la contracción volumétrica y la densidad	22
Figura 13.	Grafico que relaciona la contracción radial con el ancho de anillo	23
Figura 14.	Grafico que relaciona la contracción tangencial con el ancho de anillo	24
Figura 15.	Grafico que relaciona la contracción longitudinal con el ancho de anillo	24
Figura 16.	Grafico que relaciona la contracción volumétrica con el ancho de anillo	25

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se realizó la evaluación de la variación dimensional en madera aserrada lateral de *Pinus radiata* y el efecto económico en un aserradero.

Como consecuencia de la anisotropía de la madera, se determinó la contracción en las tres direcciones principales: tangencial, radial y longitudinal. De igual modo se obtuvo la contracción volumétrica, como consecuencia de las tres anteriores.

Las muestras analizadas provenientes de madera aserrada lateral, corresponden a tres diámetros distintos: 24cm, 28cm y 30cm en estado verde.

Los resultados obtenidos para cada una de las contracciones se compararon con los que entrega la literatura para *Pinus radiata* y se puede concluir que, a excepción de la contracción longitudinal que fue excesiva, se mantuvo en el promedio para la especie.

Se pudo establecer que la contracción tiene una relación directa con la densidad, que a medida que aumenta la densidad de una pieza de madera ésta se contrae más, con excepción de la contracción longitudinal que se contrajo menos al aumentar la densidad.

Al relacionar la contracción con el ancho de los anillos de crecimiento se da una relación parecida que con la densidad, ya que al disminuir el ancho promedio de anillo aumenta la contracción, con excepción de la contracción longitudinal que aumenta, esto se debe a que al disminuir el ancho de anillo, este aumenta su densidad.

Cuando se evaluó la importancia económica de la contracción, se compararon las cifras obtenidas por concepto de reducción de la contracción, con rechazo y sin rechazo, y se pudo inferir que cuando se produce rechazo la reducción en las ventas casi duplica el beneficio obtenido cuando no se asume rechazo. Esto es muy significativo ya que la cifra que se asume de rechazo es muy probable y por lo tanto se asume un alto riesgo.

1. INTRODUCCIÓN

Una parte importante de la madera aserrada que se utiliza por la industria de segunda transformación se seca previamente en cámaras. La demanda de madera aserrada seca aumenta de año en año debido a la mayor exigencia de los procesos de elaboración y a la necesidad de conseguir una calidad más alta de los productos acabados (Fernández-Golfín, 1992).

La mejor calidad se encuentra en la madera denominada lateral, que tiene como característica principal la ausencia de nudos y una mayor densidad respecto a la madera central. Esta madera además es la que mejor precio tiene en el mercado de maderas aserradas por lo que aprovecharla de la manera más eficiente posible es muy importante para generar un mayor margen financiero al aserradero.

La sobredimension que se le debe dar a la madera en aserradero debe ser la mínima posible, esto se consigue teniendo muy en claro los porcentajes de contracción que tiene la madera, para llegar a las dimensiones finales del producto.

El presente trabajo tiene por objetivo general, evaluar desde el punto de vista técnico y económico la variación dimensional en madera lateral en *Pinus radiata*.

Para cumplir con el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- a. Cuantificación de la contracción tangencial, radial y volumétrica en madera lateral.
- b. Determinar las propiedades físicas: Contenido de humedad y densidad anhidra, además de determinar el ancho de anillo promedio.
- c. Determinar el efecto de la variación dimensional sobre las ventas en un aserradero.

2. MARCO TEÓRICO

El controlar de la forma más adecuada la variación dimensional permitirá aprovechar de mejor manera la materia prima y una mayor utilidad.

También permitirá otorgar la dimensión inicial en aserradero y saber con que dimensión sale después del proceso de secado.

2.1 La humedad en la madera

Cuando un árbol está recién cortado, su madera contiene gran cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas más livianas por ser más porosas contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es de conducción de agua, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen. En otras palabras, el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo.

La relación agua total-materia seca leñosa es muy variable en una pieza de madera, ya que está sujeta a varios factores, entre ellos la estructura celular y el peso específico de la madera. Así que mientras el duramen no permite contenidos de humedad elevados debido a las sustancias infiltradas contenidas en las células, la albura puede acumular más del 100% de su peso seco en agua.

El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas, tal como se describe a continuación.

2.1.1 Agua libre

Es la que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, dando a la madera la condición de "verde". La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros

Al iniciarse el secado el agua libre se va perdiendo fácilmente por evaporación, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento que ya no contiene más agua de este tipo. En este punto, la madera estará en lo que se denomina "punto de saturación de las fibras", que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas pero sus cavidades están vacías.

Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico y de algunas propiedades eléctricas de la madera.

2.1.2 Agua de saturación, higroscópica o fija

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares. Existe la teoría de que el agua higroscópica esta constituida por hidrogeniones fijados principalmente a los grupos hidroxilo de la celulosa y hemicelulosa y en menor proporción a los grupos hidroxilo de la lignina.

Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la perdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera circundante.

2.1.3 Agua de constitución

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

2.1.4 Métodos de determinación del contenido de humedad en la madera

La determinación del contenido de humedad de la madera se hace sólo considerando los valores del agua libre y de saturación o higroscópica. Es decir, que en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a 103 +- 2 grados centígrados alcanza su peso constante.

El contenido de humedad se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esta pieza en condición seca al horno o anhidra. Su valor numérico se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente formula:

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \%$$

Donde:

CH = Humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso anhidro.

Ps = Peso de la madera en estado anhidro; peso final o constante.

Ph = Peso de la madera en estado húmedo o peso inicial.

Método de secado en estufa

Es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera.

El éxito de la aplicación de este método depende de la correcta selección de muestras o probetas para desecación, las cuales deben ser representativas del lote de madera objeto de evaluación.

Este método es aplicable a maderas con cualquier contenido de humedad. Sirve para determinar el contenido de humedad de lotes de piezas de madera y de probetas destinadas a ensayos de laboratorio.

2.2 Densidad de la madera

Por ser la madera un material celular poroso, el conocimiento de la cantidad de sustancia sólida que forma las paredes celulares es de gran importancia, por cuanto constituye un buen indicador de sus propiedades mecánicas, características de trabajabilidad, comportamiento durante el secado, propiedades eléctricas y acústicas.

La densidad de la madera se define como la masa por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad y se expresa por la siguiente fórmula

$$D = \frac{m}{V}$$

Donde:

D = Densidad en gr/cm³

M = Masa de una pieza de madera a un determinado contenido de humedad, en gr.

V = Volumen de la misma pieza de madera a igual contenido de humedad, en cm³.

Un aumento en el contenido de humedad de la madera trae como consecuencia un incremento de su masa en una proporción mayor que el incremento de su volumen y por lo tanto la densidad de la madera aumentará. Por encima del punto de saturación de las fibras, la tasa de incremento de la densidad será aun mayor debido a la estabilización del volumen, ya que por encima de este punto cesa el fenómeno de hinchazón.

Debido a que tanto la masa como el volumen varían significativamente según el contenido de humedad de la madera, es importante enunciar las condiciones de humedad bajo las cuales se obtiene la densidad. Para efectos de comparación de la densidad entre especies, se han normalizado los siguientes valores:

$$DA = \text{Densidad anhidra} = \frac{\text{Masa seca al horno}}{\text{Volumen seco al horno}} = \frac{M_o}{V_o}$$

$$DN = \text{Densidad normal} = \frac{\text{Masa al 12\% de CH}}{\text{Volumen al 12\% de CH}} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}}$$

$$DF = \text{Densidad en el PSF} = \frac{\text{Masa al 30\% de CH}}{\text{Volumen al 30\% de CH}} = \frac{mf}{Vf}$$

$$DB = \text{Densidad básica} = \frac{\text{Masa seca al horno}}{\text{Volumen hinchado}} = \frac{M_o}{V_h}$$

2.3 Madera Juvenil y adulta

Referencias de las tendencias de variación en las características de la madera y el árbol, indican que en todos los casos la porción del tronco que está cercana a la médula posee una distintiva y diferente estructura celular y propiedades, que la madera en la parte cercana a la del tronco.

La madera formada en la región cercana a la médula es llamada madera juvenil. La formación de madera juvenil está asociada con la prolongada influencia de los meristemas apicales en las regiones de la copa activa durante la estación de crecimiento. Como la copa del árbol se mueve hacia arriba en un árbol viejo, el cambium a determinada altura llega a estar menos sujeto a influencias directas de la región elongadora de la copa y se forma la madera adulta (Haygreen, 1982).

Debería ser anotado que la base primaria para definir madera juvenil es la estructura de la célula y propiedades de la madera. Madera juvenil en árboles de plantaciones, puede estar relacionado con el crecimiento rápido más cercano a la medula, pero los anillos anchos no están necesariamente asociados con madera juvenil en todos los árboles. Por ejemplo, troncos jóvenes creciendo bajo fuerte competencia forma anillos delgados en la región cercana a la medula, mientras que incrementos anchos se pueden formar en cualquier tiempo en que las condiciones de crecimiento sean favorables.

Términos alternativos para estas dos regiones en el tronco son “corazón o médula”, para madera juvenil, y “madera madura o externa” para madera adulta. Debido a que los términos madera juvenil y adulta están relacionados a la madurez de la región cambial, la cual da aumento sucesivo en las dos zonas, ellas pueden ser consideradas más apropiadas que los términos alternativos.

Dentro de un mismo pie la madera juvenil tiende a disponerse formando un cilindro a lo largo del eje, caracterizándose en las especies de crecimiento rápido, como el pino radiata, por estar constituida por anillos anormalmente anchos.

La transición entre madera juvenil y adulta se realiza gradualmente, motivo por lo cual no es fácil identificar el fin de una y el comienzo de otra.

En el caso del pino radiata, la madera juvenil se caracteriza por tener una menor densidad, peores propiedades mecánicas y contracciones longitudinales mayores, del orden del doble que presenta la madera normal.

2.4 Contracción

Según la norma Nch176/3 la contracción normal es la disminución de las dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de las fibras, expresada como porcentaje de la disminución de la madera al estado verde.

El colapso es la disminución irregular de dimensiones que sufre la madera de algunas especies al perder humedad en las primeras etapas de secado sobre el punto de saturación de las fibras, que se caracteriza por el aplastamiento de las paredes celulares (Rosende, Castillo 1973).

La teoría para explicar de forma simple el fenómeno de contracción de la madera se fundamenta en dos hipótesis.

En primer lugar, se supone que los lúmenes de las células no alteran su tamaño cuando absorben o pierden agua. Mediciones efectuadas en los lúmenes de madera de *Picea sp* y *Betula sp*, mostraron cambios despreciables en sus dimensiones por variaciones en el contenido de humedad higroscópica. Aunque esta suposición no es válida para todas las maderas, ya que en algunas los lúmenes disminuyen de tamaño mientras que en otras aumentan cuando varía su contenido de humedad, para la mayoría de los casos puede considerarse como una suposición razonable. Con la premisa de un área de lumen constante, el cambio en el volumen de una pieza de madera será entonces igual al volumen de agua fija o higroscópica absorbida o removida de la pared celular (Junta de acuerdo de Cartagena).

En segundo lugar, para todas las maderas se supone que el contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras es constante, estimándose un valor de 30% para este punto.

La derivación de expresiones matemáticas para cuantificar los valores de la contracción en función de la densidad, densidad relativa y contenido de humedad, se realiza a partir del modelo esquemático de la sección transversal de una célula, en condición seca al horno, ideado por (Siau, 1984) e ilustrado en la figura 1.

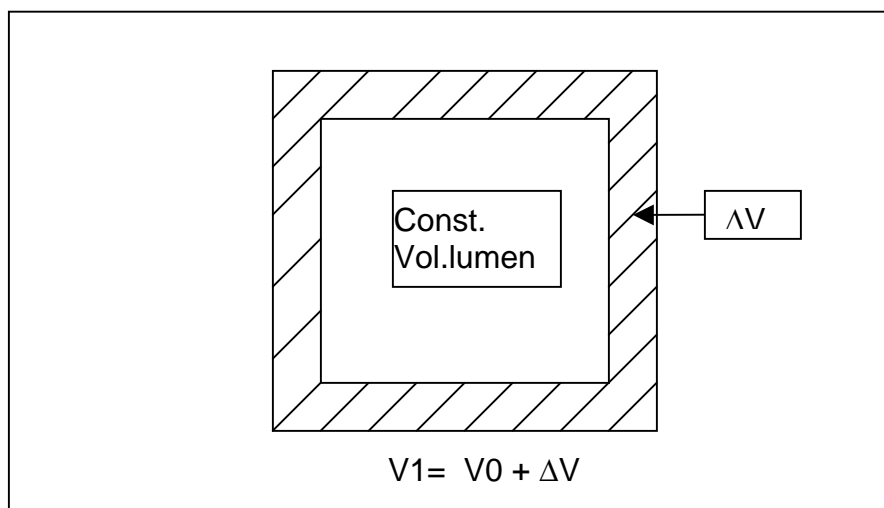


Figura 1: Esquema de una célula en su sección transversal

Cuando una pieza de madera seca al horno absorbe agua en el rango higroscópico, las dimensiones externas de una pared celular se dilatan en una cantidad igual al área sombreada en la figura.

Se deduce entonces lo siguiente:

$$V_1 = V_0 + \Delta V$$

Donde:

V_1 = Volumen de la madera a un contenido de humedad igual a CH_1 por debajo del punto de saturación de las fibras.

V_0 = Volumen de la madera seca al horno

ΔV = Variación del volumen o incremento volumétrico debido a la hinchazón de las paredes celulares.

2.4.2 Anisotropía de la contracción

La anisotropía trae como consecuencia diferentes valores para la contracción en las tres direcciones u orientaciones de la madera: tangencial, radial y longitudinal.

La contracción longitudinal de la madera normal desde la condición verde a seca al horno, fluctúa entre 0.1% y 0.9% y puede ser mucho más alta en madera juvenil, madera de compresión o madera de tensión. Se ha encontrado además que para una misma especie la contracción longitudinal varía inversamente con la densidad, por lo que se concluye que aquellas piezas de madera con densidad anormal menor, se contraen más a lo largo del grano que las piezas más pesadas de la misma especie. En coníferas de rápido crecimiento la contracción longitudinal es usualmente excesiva.

En la dirección tangencial, los límites de la contracción para el secamiento de la condición verde a seca al horno, son 3.5% a 15% de la dimensión verde. Los valores comparables para la contracción radial, son 2.4% a 11%. El menor valor de la contracción radial ha sido atribuido a los siguientes factores:

Una restricción en la contracción en sentido radial debido a la disposición perpendicular de las células radiales.

La presencia alternada de bandas de madera temprana de baja densidad y madera tardía de alta densidad. El efecto de estas dos bandas es acumulativo en la dirección tangencial, mientras que en dirección radial la madera tardía, más densa, es restringida por la madera temprana, estableciendo un cierto equilibrio.

Para efectos del cálculo de la contracción total, normalmente se desprecia el valor de la contracción longitudinal (Siau, 1984) y se utilizan solo aquellos de la contracción tangencial y radial.

2.4.2 Cálculo de la contracción

La contracción lineal de una pieza de madera entre el punto de saturación de las fibras y la condición seca al horno, se calcula de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{d_f - d_o}{d_f} \times 100 \%$$

Donde:

β = Contracción longitudinal, tangencial o radial, expresada como un porcentaje de la dimensión a un contenido de humedad del 30%.

d_f = Dimensión longitudinal, radial u tangencial de la pieza de madera a un contenido de humedad igual a CH_f (30%).

d_o = Dimensión longitudinal, radial u tangencial de la misma pieza en condiciones seca al horno.

2.4.3 Contracción diferencial

Se define como la relación entre la contracción tangencial y la contracción radial.

El cálculo de esta relación es de gran importancia en la utilización de la madera por cuanto puede determinar la aptitud de una determinada especie para un propósito específico.

Un ejemplo típico es la excepcionalmente baja contracción diferencial de la caoba centroamericana (*Swietenia macrophylla*), que agregada a su baja contracción total, la convierte en una madera particularmente apropiada para ciertos usos especiales como trabajos de ebanistería y piezas talladas.

La contracción diferencial tiene que ver con la distorsión que se presenta en la madera durante el secado, ya que tanto la contracción total, como la relación entre las contracciones tangenciales y radiales, son factores que en alto grado determinan la magnitud de los movimientos que se presentan internamente en los diferentes elementos que componen la madera, cuando se esta secando.

2.5 Sobredimensión de la madera verde

Para la obtención de piezas aserradas secas de un tamaño determinado, es necesario restar a la dimensión de la madera verde, un porcentaje debido a la contracción de las piezas, por cepillado y por variación en el corte (ver figura 2).

La suma de estos tres componentes corresponde a la dimensión inicial, a la cual se debe cortar la pieza verde. Generalmente los aserraderos incluyen más madera que la necesaria por una estimación deficiente de la sobremedida (INFOR, Manual N° 16).

Algunas de las sobredimensiones mencionadas son controlables. La contracción sin embargo no es controlable, sin embargo, ésta se puede estimar considerando la especie, humedad final, tipo de corte y densidad.

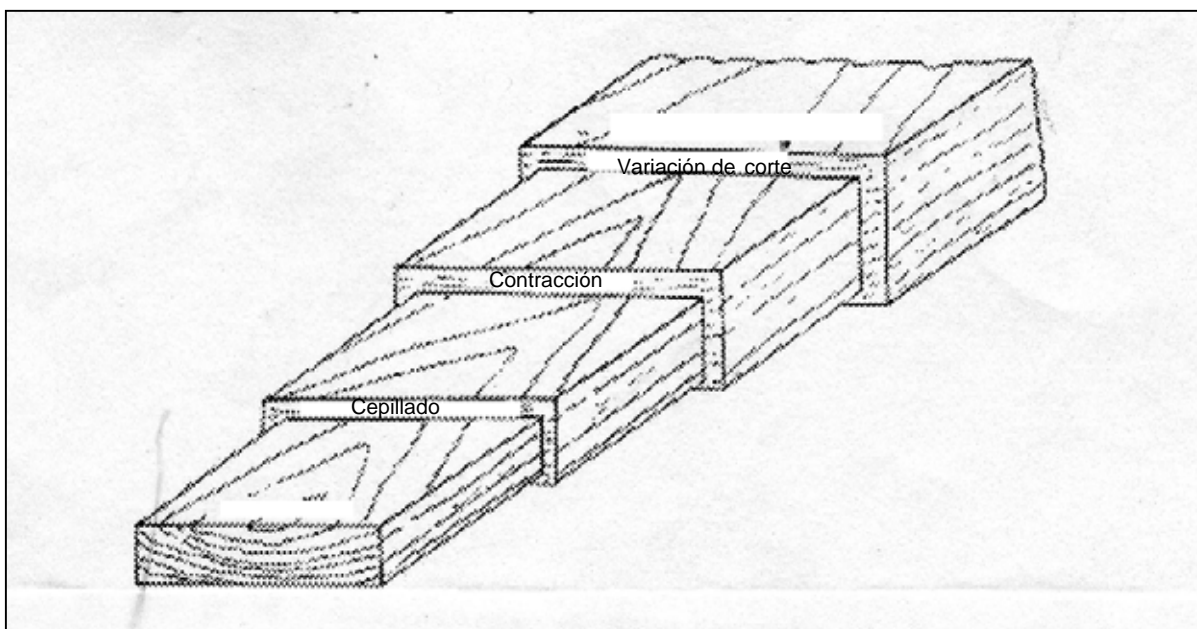


Figura 2: Esquema de la merma de volumen en los distintos procesos

2.5.1 Alcance económico de la sobredimensión

En todos los países alrededor del 70% del costo total de aserrado corresponde al costo de la materia prima. De este modo, cualquier variación en el grado de aprovechamiento de la materia prima afecta decisivamente en la rentabilidad del proceso (Devlieger, Baettig. 1999).

Aprovechar de manera más eficiente la materia prima en todos los procesos de elaboración del producto, trae como consecuencia inmediata un incremento en las utilidades.

3. DISEÑO DEL TRABAJO

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

El material de ensayo corresponde a madera aserrada lateral de *Pinus radiata*, obtenido de trozas regulares o no podadas provenientes de la empresa APSA.

3.1.2 Equipos de laboratorio

Balanzas de precisión. Balanza con una precisión de 0.001 gramo.

Estufa de secado. Para secar madera, regulable a $103 \pm 2^\circ \text{C}$.

Micrómetro Mitutoyo. Instrumento capaz de medir con una precisión de 0.001 mm. que se utilizó para medir las probetas en su sentido radial y tangencial. Para la medición de la dirección longitudinal se utilizó un instrumento de las mismas características.

Pie de metro. Con una precisión de 0.01mm.

3.2 Método

3.2.1 Toma de muestras

Se tomaron muestras en trozas de diferentes diámetros; 24 cm., 28 cm. y 30 cm.

En la línea gruesa del aserradero se tomó la primera tabla correspondiente a madera lateral que se obtiene en la máquina principal, de la cual se obtuvieron las probetas según normas Nch176/3 (Figura 3).

De cada diámetro se sacaron 10 probetas obtenidas todas de distintas tablas.

Las probetas fueron obtenidas en forma de prismas rectangulares, de sección cuadrada de 25mm por lado y una longitud en el sentido de la fibra de 100mm. Con los anillos de crecimiento paralelos a dos caras opuestas de la probeta.

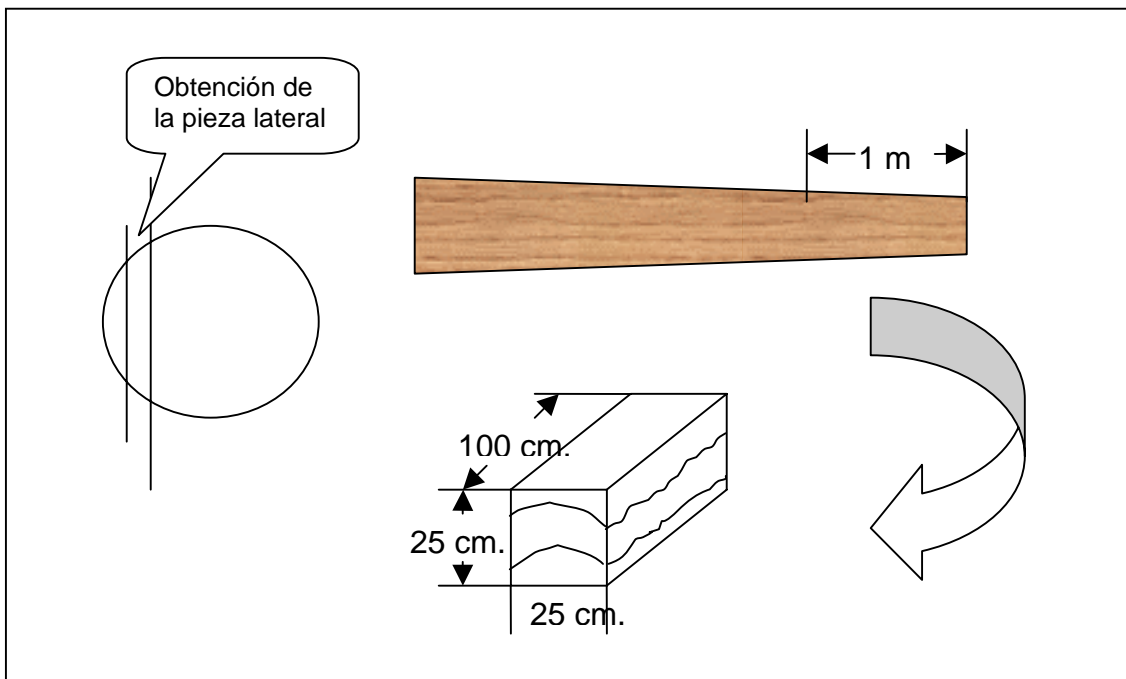


Figura 3: Obtención de probetas

3.2.2 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad inicial de las probetas debe ser aquel correspondiente a la madera recién cortada (contenido de humedad sobre el punto de saturación de las fibras).

A medida que la madera fue perdiendo agua se determinó el contenido de humedad por pesada para identificar cierta contracción a un determinado contenido de humedad.

3.2.3 Determinación de la densidad de la madera

Se determinó la densidad básica de acuerdo a la norma chilena Nch176/2.of86. Para la determinación del volumen del material se utilizó el método de medición directa y la determinación de la masa fue a través de pesada.

Para este análisis de densidad, se extrajo una muestra de cada tabla para los tres diámetros analizados (24 cm., 28 cm. y 30 cm.), las muestras obtenidas son de forma de prismas rectangulares, de sección cuadrada de 40 mm por lado y una longitud de 70 mm.

Estas muestras fueron obtenidas de madera recién aserrada o sea en estado verde.

3.2.4 Determinación de la contracción

Para la determinación de la contracción según Nch176/3, las probetas fueron obtenidas en forma de prismas rectangulares, de sección cuadrada de 25 mm por lado y una longitud en la dirección de las fibras de 100 mm. Los anillos de crecimiento deben ser paralelos a dos caras opuestas de la probeta.

El contenido de humedad inicial de las probetas fue aquel que corresponde a la madera recién cortada.

Las probetas fueron pesadas al contenido de humedad máxima. Luego se marcaron tres puntos en una cara radial y en una cara tangencial, para después ser medidas en cada uno de estos puntos, obteniendo en cada caso el valor promedio (ver figura 4). Las medidas se hicieron con una precisión de 0.001 mm.

Las probetas fueron medidas en condiciones de ambiente correspondiente a la de un laboratorio.

Las mediciones se realizaron con una frecuencia de al menos dos veces por día con excepción de sábado y domingo que no se registraron datos, de esta forma se obtuvo la curva para las distintas contracciones.

Una vez que las probetas alcanzaron un contenido de humedad promedio del 10 % en las condiciones antes señaladas se llevaron a estado anhidro en una estufa de secado a 103 ± 2 °C, para luego ser pesadas y medidas a fin de obtener la contracción máxima.

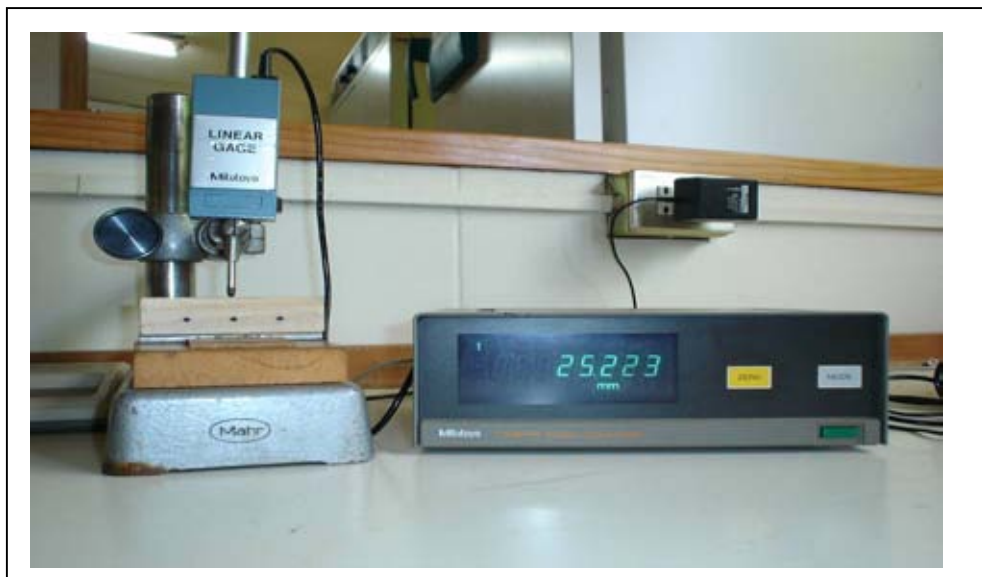


Figura 4: Medición de las probetas en su sentido radial y tangencial.

3.2.5 Determinación del ancho de anillo

Para efecto de esta medición se utilizaron las mismas probetas a las cuales se les midió contracción, las cuales tenían un contenido de humedad por sobre el punto de saturación de la fibra, o sea antes de la contracción.

La medición se realizó con un pie de metro de 0.01mm de precisión y fue hecha siguiendo un mismo criterio, el cual consistía en medir del término de un anillo al término del siguiente anillo. Luego se obtuvo un promedio para cada probeta.

3.2.6 Determinación de la importancia económica de la contracción

Para la determinación de la importancia económica de la contracción se utilizó un modelo relativamente sencillo, donde existen algunos supuestos y valores de datos reales sacados de aserraderos de la zona.

Este modelo consiste en evaluar el impacto que tiene la contracción de la madera en las ventas de un aserradero. Descontando la pérdida de volumen en el aserrío, secado y cepillado, para obtener un volumen final de producto terminado, además de otras variables que se especifican en el cuadro 1.

Se analizaran dos casos: uno para un aserradero que consume un volumen de 250.000 m³/año de trozas y otro para un aserradero que consume 400.000 m³/año. El volumen final a tomar en cuenta será solamente el proveniente de la madera lateral.

Cuadro 1: Variables involucradas en el cálculo de las ventas de madera lateral

Volumen de entrada (m ³ /año)
Aprovechamiento (%)
Aprovechamiento de mad. Lateral (%)
volumen verde (m ³ /año)
Volumen verde mad. Lateral (m ³ /año)
% variación de corte
% cepillado
% de rechazo
% de contracción
Vol. Mad.lateral seca y cepillada(m ³ /año)
precio de madera lateral US\$
Venta US\$

Para efectos de este análisis las variables de porcentaje de corrección en el corte y de cepillado se mantuvieron constantes y se hizo variar el porcentaje de contracción para dilucidar su impacto en las ventas, como consecuencia de un mejor

aprovechamiento de la materia prima, pero asumiendo un porcentaje de rechazo, debido a que existen piezas que se contraen más del límite establecido.

El porcentaje de contracción inicial fue asignado de acuerdo a los resultados obtenidos y se tomó como referencia la mayor contracción.

También se llevo a cabo un análisis de sensibilidad para determinar, el efecto que tienen otras variables como el rendimiento y el precio sobre las ventas y así poder comparar en término porcentuales.

3.2.7 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos de las mediciones de contracción se presentan en cuadros y gráficos, incluyendo los valores promedios de contracción y diferenciando contracción tangencial, radial y volumétrica.

Estos resultados obtenidos se relacionan con los resultados obtenidos de densidad, ancho de anillo y los diferentes diámetros con el fin de dilucidar la influencia que estos tienen en los resultados de contracción.

Para el caso, de la determinación de la densidad y ancho de anillo se calcularon los siguientes parámetros:

- Valores máximos y mínimos
- Valor promedio
- Desviación estándar
- Varianza

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

El material recibido por la empresa y al cual se le realizaron las mediciones corresponde a madera aserrada lateral de *Pinus radiata* generado por el proceso de aserrío de madera de la línea gruesa y delgada.

Las condiciones de humedad en que llegó el material corresponden a la de madera recién aserrada en estado verde (sobre el punto de saturación de la fibra).

4.1 Resultados de contracción

Como consecuencia de la anisotropía de la madera, la variación de dimensiones con la humedad es diferente según la dirección en que se considere. Se determinó la contracción en las tres direcciones principales: tangencial, radial y longitudinal. De igual modo se obtuvo la contracción volumétrica, como consecuencia de las tres anteriores.

En todos los casos se calculó la contracción total, es decir, el porcentaje de pérdida de la dimensión considerada, al pasar del estado saturado al estado anhidro, referido al estado anhidro.

4.1.1 Resultados de contracción radial

El menor valor de la contracción radial con respecto a la tangencial ha sido atribuido a los siguientes factores (Panshin, 1980):

Una restricción en la contracción en sentido radial debido a la disposición perpendicular de las células radiales.

La presencia alternada de bandas de madera temprana de baja densidad y madera tardía de alta densidad. El efecto de estas dos bandas es acumulativo en la dirección tangencial, mientras que en dirección radial la madera tardía, más densa, es restringida por la madera temprana, estableciendo un cierto equilibrio.

Cuadro 2: Resultados obtenidos de la contracción radial

Contracción máxima (%)	5,49
Contracción mínima (%)	2,02
Contracción promedio (%)	3,91
desv. estándar	1,14

Considerando la información obtenida en la literatura en cuanto a contracción en *Pinus radiata*, se pudo determinar que la contracción radial se encuentra dentro de lo obtenido por otros autores, habiendo un consenso que el promedio para contracción radial es de 4,2 % (Pérez, 1983), siendo el obtenido en este estudio levemente inferior (3.91 %) y variando entre 2 % y 5.5 % (ver cuadro 2).

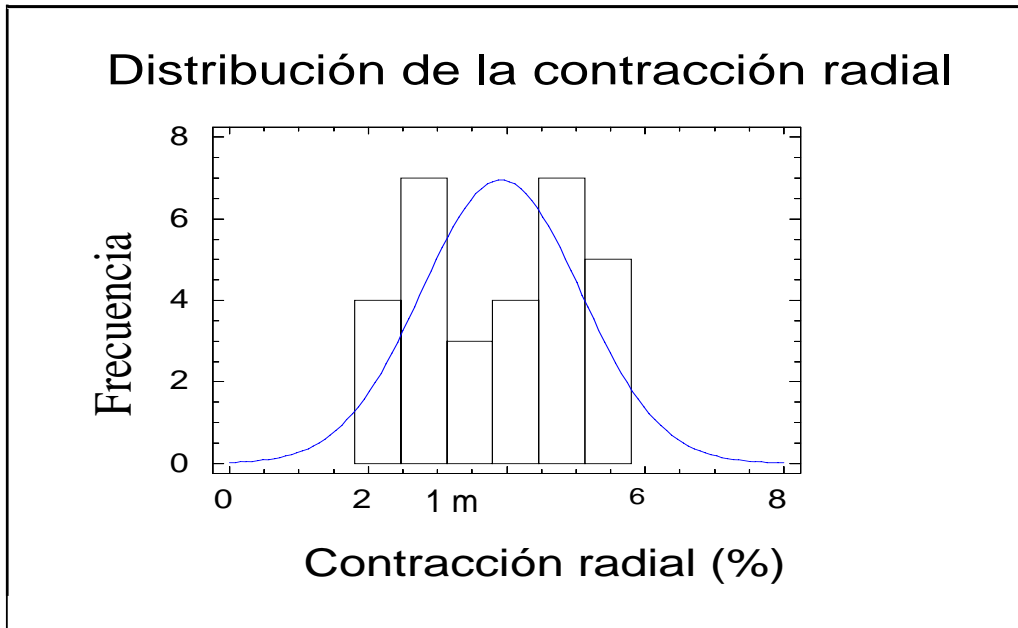


Figura 5: Distribución de la contracción radial con respecto a la media

La distribución de la contracción radial con respecto a la media es normal y la diferencia que existe en la cantidad de probetas que se encuentran debajo y arriba de la media es mínima (ver figura 5).

4.1.2 Resultados de la contracción tangencial

La contracción tangencial es la mayor de todas, y en *Pinus radiata* es del orden de una a dos veces la contracción radial.

En la dirección tangencial, los límites de la contracción para el secamiento de la condición verde a seca al horno, son 3.5% a 15% de la dimensión verde.

Cuadro 3: Resultados obtenidos de la contracción tangencial

Contracción máxima (%)	8,70
Contracción mínima (%)	5,15
Contracción promedio (%)	7,12
desv. estándar	1,01

Considerando la información obtenida en la literatura en cuanto a contracción en *Pinus radiata*, se pudo determinar que la contracción tangencial se encuentra dentro de los valores obtenidos por otros autores, habiendo un consenso que el promedio para contracción tangencial es de 7.2 % (Pérez, 1983) siendo muy similar al obtenido en este estudio que es de 7.12 % y fluctuó entre 5.15 % y 8.70 %

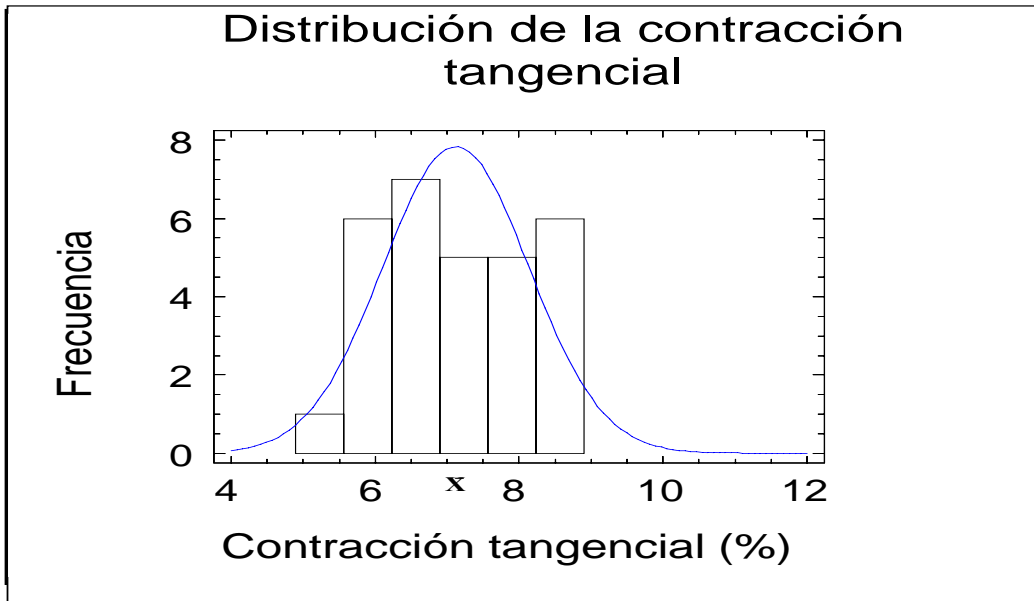


Figura 6: Distribución de la contracción tangencial con respecto a la media

La distribución de la contracción tangencial que muestra la figura 6 con respecto a la media es normal y la diferencia que existe en la cantidad de probetas que se encuentran bajo y sobre la media es mínima, aunque la curva tiene un leve desplazamiento sobre la media.

4.1.3 Resultados de contracción longitudinal

A pesar de tener un valor muy pequeño, comparado con las otras dos, tiene una gran importancia su variabilidad dentro de una misma pieza, ya que da lugar a deformaciones en el proceso de secado.

Cuadro 4: Resultados obtenidos de la contracción longitudinal

Contracción máxima (%)	0,98
Contracción mínima (%)	0,19
Contracción promedio (%)	0,49
desv. estándar	0,17

Los resultados de contracción longitudinal, son excesivos con respecto al promedio para *Pinus radiata*. Siendo el promedio obtenido de 0.4 %.

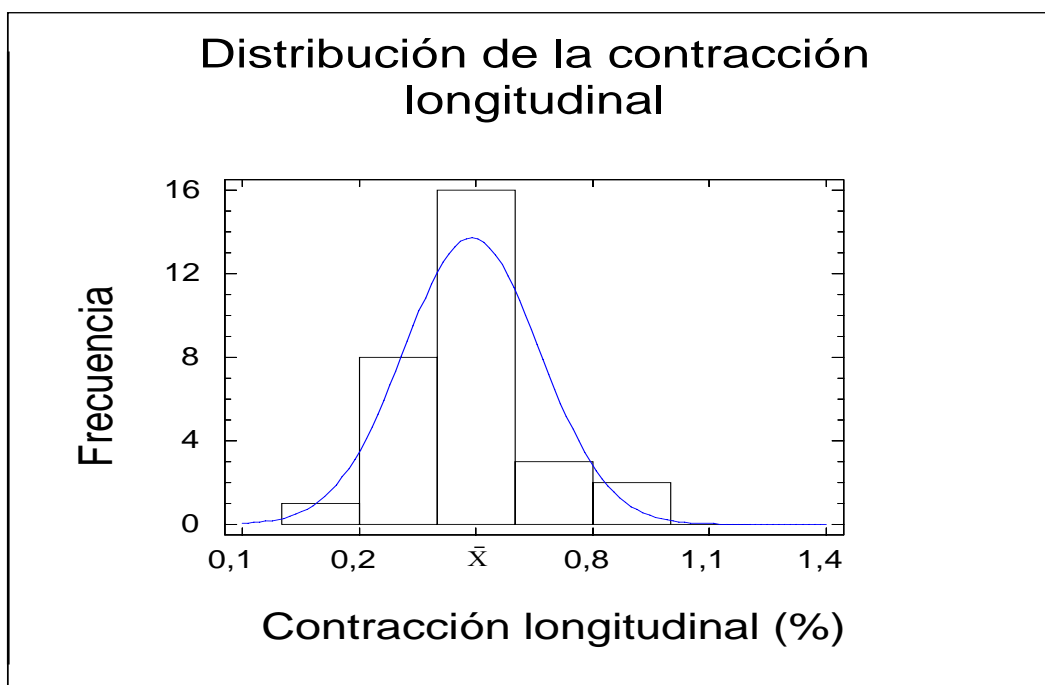


Figura 7: Distribución de la contracción longitudinal con respecto a la media

La distribución de la contracción longitudinal con respecto a la media es normal, (ver figura 7) y la diferencia que existe en la cantidad de probetas que se encuentran por debajo y arriba de la media no es tan significativa, pero levemente inclinada bajo de la media. Cabe mencionar que existe una gran concentración muy cercana a la media.

4.1.4 Resultados de contracción volumétrica

Los resultados de la contracción volumétrica están dados como consecuencia de la suma de las tres contracciones principales.

Cuadro 5: Resultados obtenidos de la contracción volumétrica

Contracción máxima (%)	14,65
Contracción mínima (%)	8,07
Contracción promedio (%)	11,53
desv. estándar	1,99

Los resultados obtenidos de la contracción volumétrica se encuentran dentro de lo que se le asigna al *Pinus radiata*.

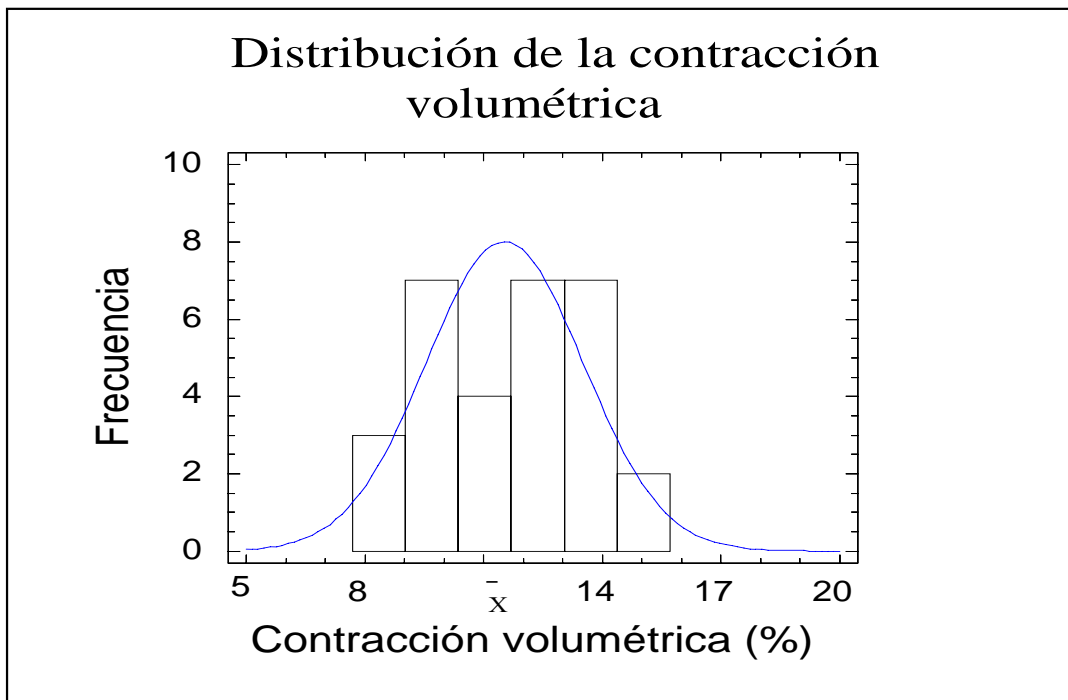


Figura 8: Distribución de la contracción volumétrica con respecto a la media

La distribución de la contracción volumétrica con respecto a la media es normal, como lo muestra la figura 8 y la diferencia que existe en la cantidad de probetas que se encuentran debajo y arriba de la media es mínima

4.2 Relación de la contracción con la densidad

Para efectos de analizar la relación de la densidad sobre la contracción se analiza por tipo de contracción, vale decir tangencial, radial y volumétrica.

También se analizarán los resultados obtenidos de densidad para los tres diámetros estudiados: 24 cm., 28 cm. y 30 cm.

4.2.1 Análisis de la densidad

La densidad es una de las principales propiedades físicas a tener en cuenta en la madera, puesto que influye en la calidad de ésta y tiene relación con todos los fenómenos físicos que ocurren en ella.

Cuadro 6: Resultados obtenidos de la densidad básica

Promedio (Kg./m3)	395,25
Máximo (Kg./m3)	478,81
Mínimo (Kg./m3)	322,53
Desv. Estándar	50,12

El promedio de la densidad básica se encuentra dentro de los valores de *Pinus radiata* para madera aserrada.

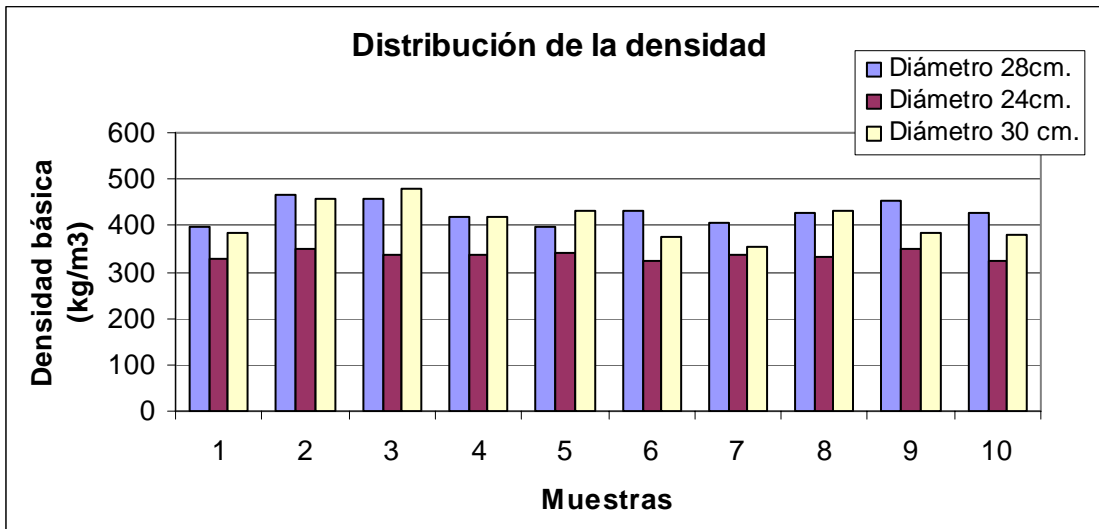


Figura 9: Distribución de la densidad anhidra según diámetro

Del gráfico 9 se desprende que a medida que aumenta el diámetro de las trozas, también existe un incremento de la densidad. Esto concuerda con lo existente en la literatura que menciona que en el árbol de menor diámetro puede encontrarse madera juvenil cercana a la corteza que es menos densa y que a medida que se incrementa el diámetro desaparece.

Cabe mencionar que no existen diferencias significativas entre el diámetro 28 cm., y 30 cm.

4.2.2 Efecto de la densidad sobre la contracción tangencial

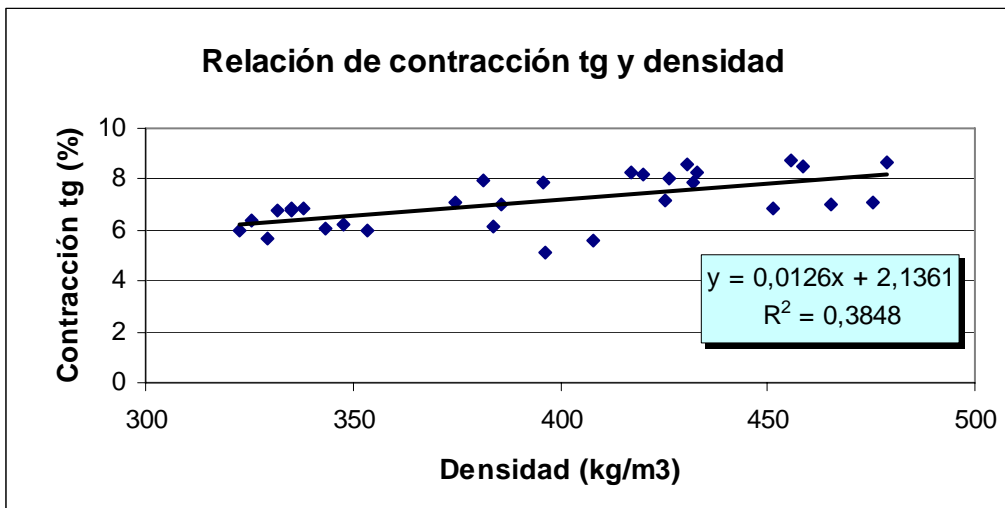


Figura 10: Gráfico que relaciona la contracción tangencial y la densidad

El resultado que arroja el gráfico 10, muestra una relación que a medida que va aumentando la densidad existe una mayor contracción tangencial.

4.2.3 Efecto de la densidad sobre la contracción radial

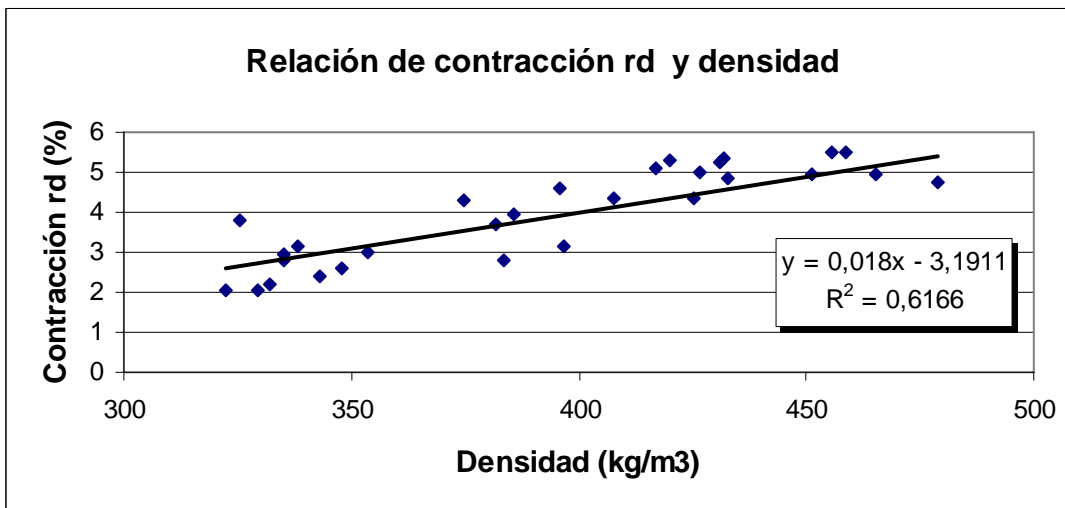


Figura 11: Gráfico que relaciona la contracción radial y la densidad

El efecto que tiene la densidad sobre la contracción radial es directamente proporcional, esto significa que a medida que aumenta la densidad, aumenta la contracción radial (Ver figura 11).

Cabe mencionar que la influencia de la densidad sobre la contracción radial es levemente mayor respecto a la contracción tangencial.

4.2.4 Efecto de la densidad sobre la contracción longitudinal

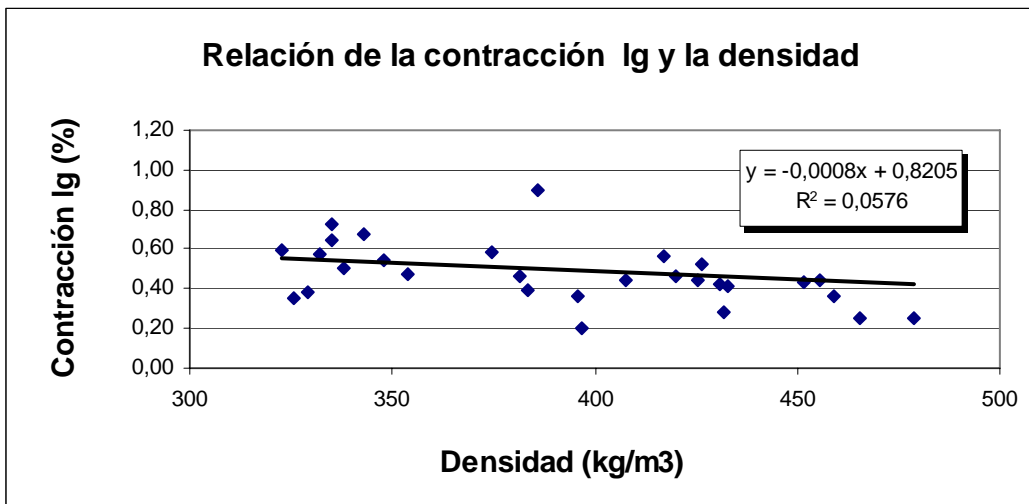


Figura 12: Gráfico que relaciona la densidad con la contracción longitudinal

Los resultados obtenidos, muestran una relación inversa con respecto a la contracción radial y tangencial (ver figura 12). Si bien no es una fuerte relación, existe una tendencia que a medida que aumenta la densidad disminuye la contracción longitudinal.

4.2.5 Efecto de la densidad sobre la contracción volumétrica

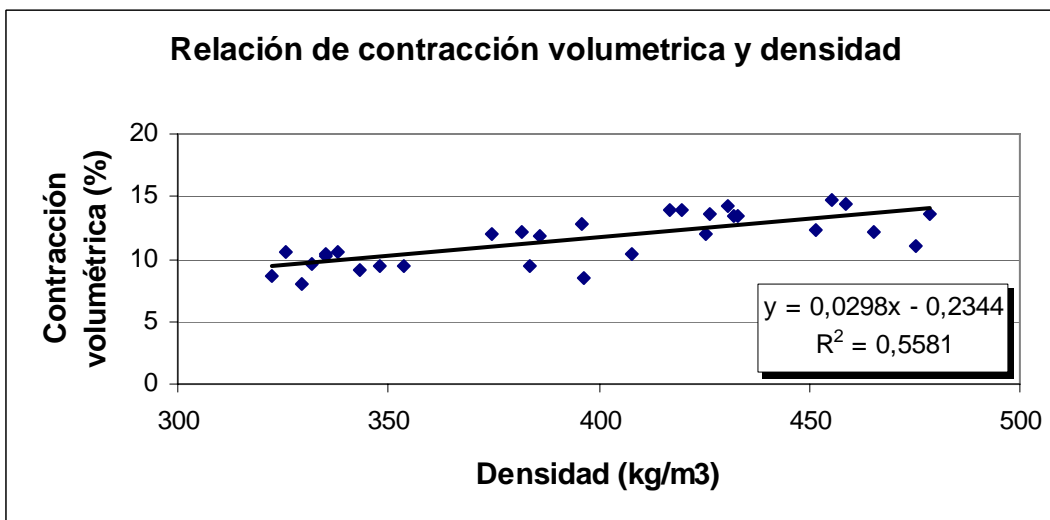


Figura 13: Gráfico que relaciona la densidad con la contracción volumétrica

Como era de esperar el efecto que tiene la densidad sobre la contracción volumétrica, sigue la misma tendencia que encontramos en la contracción radial y tangencial, que a medida que una pieza de madera es más densa se contrae levemente más (ver figura 13).

Cabe mencionar que la influencia de la contracción longitudinal es tan pequeña, que la relación esta dada casi por un promedio entre la relación existente con la contracción radial y tangencial.

4.3 Relación de la contracción con el ancho de anillo

El espesor de los anillos de crecimiento, o el número de anillos por centímetro, es tomado en muchas reglas de clasificación de madera de coníferas como indicador de calidad de la misma, debido al aumento de la densidad de la madera al disminuir la anchura de los anillos.

Este factor cobra importancia ya que anteriormente se relacionó la densidad con la contracción, existiendo para la contracción tangencial, radial y volumétrica una relación directa (mayor densidad, mayor contracción), por otra parte la contracción longitudinal tiene una relación inversa, a menor densidad mayor contracción.

4.3.1 Relación de la contracción radial con el ancho de anillo

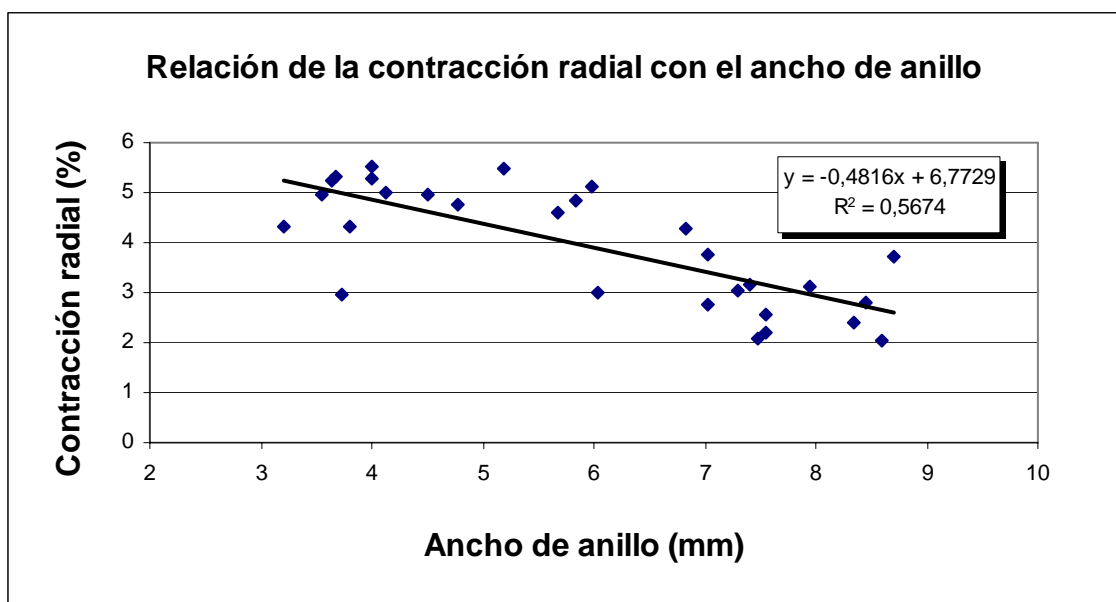


Figura 14: Gráfico que relaciona la contracción radial con el ancho de anillo

La figura 14 muestra una relación entre el ancho de anillo y la contracción radial que es inversamente proporcional, a medida que aumenta el ancho de anillo la contracción radial decae. Para el máximo ancho de anillo comparado con el mínimo, existe una diferencia del doble de contracción a favor del anillo más pequeño. Esto concuerda con lo señalado anteriormente, puesto que a mayor ancho de anillo disminuye la densidad y al ser menos denso se contrae menos.

4.3.2 Relación de la contracción tangencial con el ancho de anillo

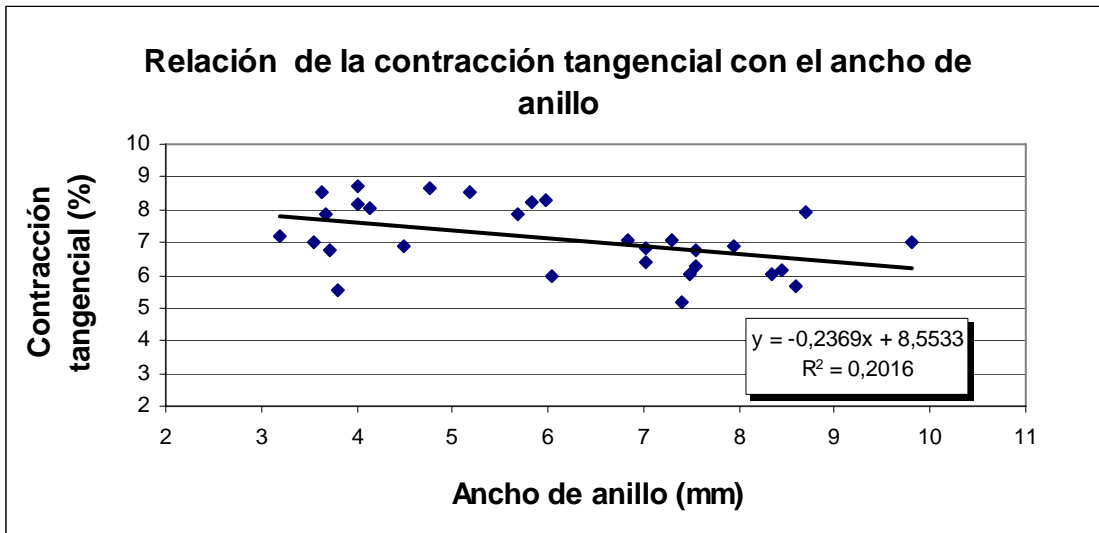


Figura 15: Gráfico que relaciona la contracción tangencial con el ancho de anillo.

El gráfico 15 arroja una tendencia similar que para la contracción radial, pero para esta relación es menos acentuada, esto se explica debido a que la variación de la contracción tangencial fue menor que la de la radial y como el ancho de anillo que se relaciona es el mismo el diferencial del máximo y mínimo acentúa la relación.

4.3.3 Relación de la contracción longitudinal con el ancho de anillo

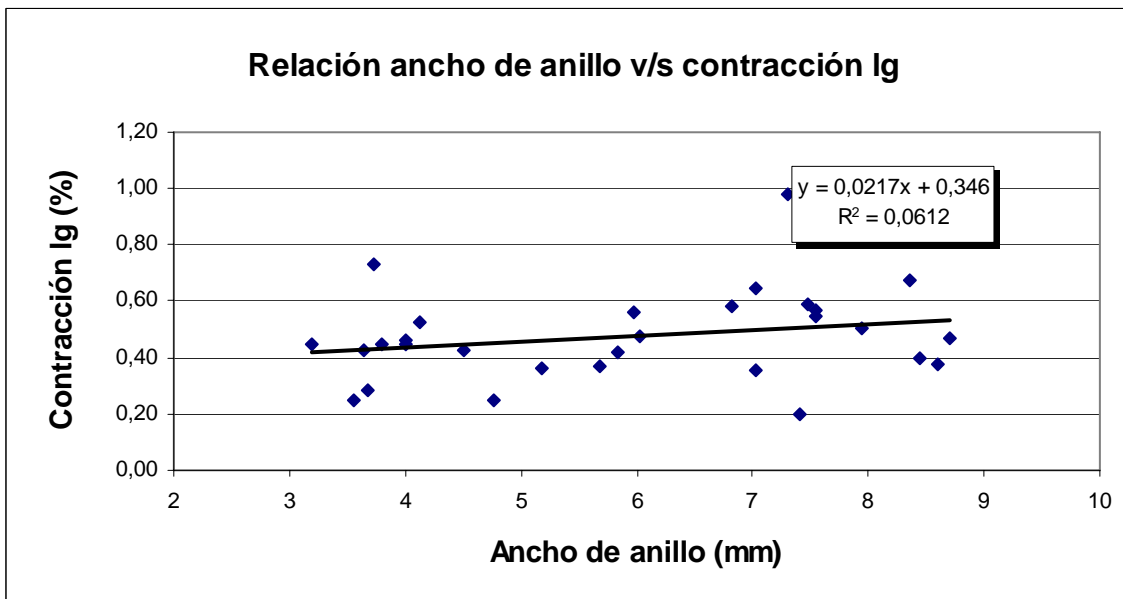


Figura 16: Gráfico que relaciona la contracción longitudinal con el ancho de anillo

Para el caso de la contracción longitudinal existe una leve tendencia a aumentar la contracción a medida que se enanchan los anillos de crecimiento (Ver figura 16). Esto tiene concordancia con la tendencia que existe con la densidad ya que longitudinalmente se contrae menos una pieza de madera que es más densa y como la mayor densidad se encuentra en los anillos más pequeños es ahí donde se encuentra la menor contracción.

4.3.4 Relación de la contracción volumétrica con el ancho de anillo

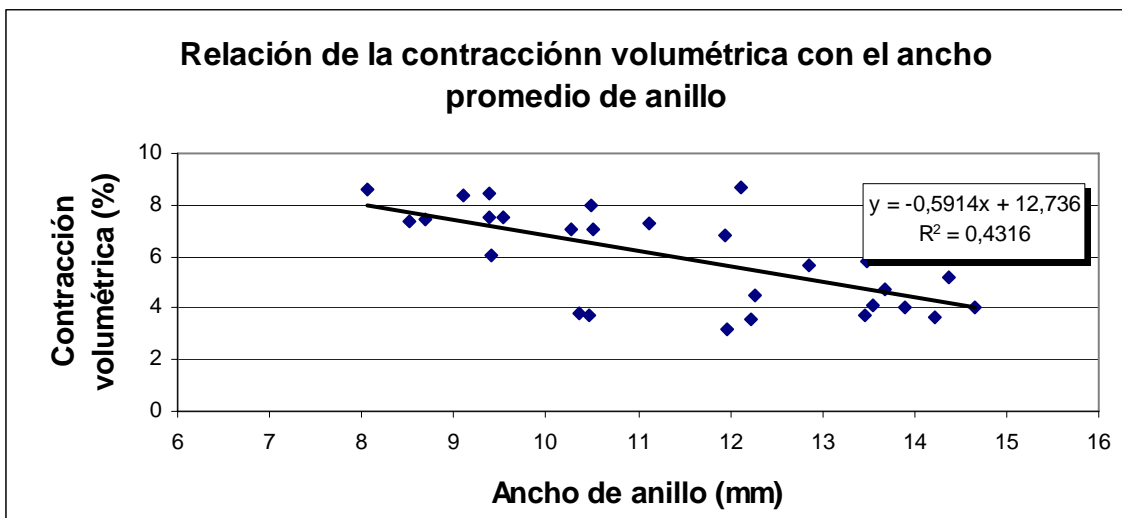


Figura 17: Gráfico que relaciona contracción volumétrica con ancho de anillo

La tendencia que arroja el gráfico 17, como era de esperar es la misma que se da en el caso de la contracción radial y tangencial, ya que a medida que se enanchan los anillos de crecimiento se reduce la contracción volumétrica, esto también se explica porque a medida que se enanchan los anillos de crecimiento la densidad se ve reducida como se dijo anteriormente.

4.4 Relación de la contracción con el diámetro del árbol

Cuadro 7: Resultados obtenidos de la contracción tangencial para los diferentes diámetros

	Diámetro (cm.)		
	24	28	30
Contracción máxima (%)	8,71	7,09	8,68
Contracción mínima (%)	5,15	5,66	5,95
Contracción promedio (%)	7,32	6,47	7,56
desv. estándar	1,22	0,47	0,95

Cuadro 8: Resultados obtenidos de la contracción radial para los diferentes diámetros

Diámetro (cm.)			
	24	28	30
Contracción máxima (%)	5,50	3,78	5,49
Contracción mínima (%)	3,17	2,03	2,81
Contracción promedio (%)	4,72	2,69	4,34
desv. estándar	0,66	0,55	0,96

Cuadro 9: Resultados obtenidos de la contracción longitudinal para los diferentes diámetros

Diámetro (cm.)			
	24	28	30
Contracción máxima (%)	0,56	0,98	0,89
Contracción mínima (%)	0,20	0,35	0,25
Contracción promedio (%)	0,41	0,60	0,46
desv. estándar	0,11	0,18	0,18

Cuadro 10: Resultados obtenidos de la contracción volumétrica para los diferentes diámetros

Diámetro (cm.)			
	24	28	30
Contracción máxima (%)	14,66	11,11	14,37
Contracción mínima (%)	8,52	8,07	9,38
Contracción promedio (%)	12,46	9,76	12,36
desv. estándar	1,88	0,96	1,78

La relación existente de la contracción con el diámetro no es clara ni marca una tendencia en algún sentido para las contracciones, ya que las variables que influyen en la contracción varían en los diferentes diámetros de manera irregular (ver cuadros 7-10).

4.5 Análisis de la importancia económica de la contracción

El rendimiento de la materia prima que pueda tener un aserradero, tiene un efecto directo en el volumen de producto terminado y esto trae como consecuencia un efecto en los ingresos.

La pérdida de volumen se produce en el aserrío, en el secado y en el cepillado, en este caso se enfocó en la pérdida de volumen que se produce en el secado debido a la contracción de la madera, esto significa que para efectos de cálculo del volumen final se dejaron constantes los porcentajes de corrección para la variación de corte y el cepillado.

El porcentaje de contracción utilizado para el caso inicial corresponde a la máxima contracción tangencial que es de 8.7% y luego esa máxima se baja en un 1.7 % para el caso de 0 % de rechazo y con el de un 5% de rechazo.

Cuadro 11: Caso para un aserradero que consume 250.000 m3/año en materia prima

	Caso inicial	"-1.7% contracción con 0% de rechazo	"+ 2%aprov.	"+ 5%precio	"-1.7% contracción con 5% de rechazo
Aprovech. mad. Lateral (%)	23,2	23,2	25,2	23,2	23,2
Precio (US\$/m3)	123,1	123,1	123,1	129,255	123,1
% variación de corte	1	1	1	1	1
% cepillado	3	3	3	3	3
% de contracción	8.7	7	8,7	8,7	7
% de rechazo	0	0	0	0	5
Venta US\$	6.233.045	6.354.422	6.770.377	6.544.698	5.997.432
% variación de las ventas		1,95%	9%	5%	-3,78%

Para este caso el impacto que tuvo una reducción de 1.7 % de la contracción con un 0% de rechazo trae como consecuencia un incremento de 1.95% en las ventas con respecto a la situación inicial que equivale a \$66.757.130 al año, si bien no es una diferencia significativa la cifra no es despreciable.

Cuando se redujo la contracción en un 1.7 % y se asumió un rechazo del 5 % el impacto que tuvo en las ventas fue de una reducción o pérdida del 3.78 % con respecto a la situación inicial que equivale a \$129.587.370 al año.

El mayor impacto en las ventas se produce cuando se aumenta el aprovechamiento de la madera lateral en dos puntos porcentuales, lo cual implica un aumento del 9% con respecto a la situación inicial que significa \$462.086.625 anuales.

El aumento del precio en un 5 % arrojó como consecuencia un aumento de las ventas en un 5% con respecto a la situación inicial que equivale a \$171.408.749

Cuadro 12: Caso para un aserradero que consume 400.000 m3/año en materia prima

	Caso inicial	"-1.7% contracción con 0% de rechazo	"+ 2%aprov.	"+ 5%precio	"-1.7% contracción con 5% de rechazo
Aprovech. mad. Lateral (%)	23,2	23,2	25,2	23,2	23,2
Precio (US\$/m3)	123,1	123,1	123,1	129,255	123,1
% variación de corte	1	1	1	1	1
% cepillado	3	3	3	3	3
% de contracción	8,7	7	8,7	8,7	7
% de rechazo	0	0	0	0	5
Venta US\$	9.972.873	10.167.075	11.043.547	10.675.429	9.595.891
% variación de las ventas		1,95%	11%	7%	-3,78%

Para este caso el impacto que tuvo una reducción de 1.7 % de la contracción con un 0% de rechazo trae como consecuencia un incremento de 1.95% en las ventas con respecto a la situación inicial que equivale a \$ 106.811.408 al año, si bien no es una diferencia significativa la cifra no es despreciable.

Cuando se redujo la contracción en un 1.7 % y se asumió un rechazo del 5 % el impacto que tuvo en las ventas fue de una reducción o pérdida del 3.78 % con respecto a la situación inicial que equivale a \$ 207.339.792 al año.

El mayor impacto en las ventas se produce cuando se aumenta el aprovechamiento de la madera lateral en dos puntos porcentuales, lo cual implica un aumento del 11% con respecto a la situación inicial que significa \$ 588.871.008 anuales.

El aumento del precio en un 5 % arrojó como consecuencia un aumento de las ventas en un 7% con respecto a la situación inicial que equivale a \$ 386.405.976.

5. CONCLUSIONES

Se pudo comprobar que los valores obtenidos como promedio para la contracción tangencial, radial y volumétrica se encuentran dentro de lo que se esperaba para *Pinus radiata*. La contracción longitudinal fue excesiva con respecto a lo asignado para la especie, refiriéndose al valor promedio.

Con respecto a la relación de la densidad con la contracción se pudo observar que para la contracción tangencial, radial y volumétrica existe una relación directa, esto quiere decir que a medida que aumentó la densidad de la madera, esta se contrajo más en las direcciones señaladas. Para la contracción tangencial se dio la relación inversa, a medida que aumentaba la densidad la contracción tendía a disminuir. Cabe mencionar que si bien estas relaciones no son tan fuertes, marcan una tendencia para ambos casos.

La relación existente entre la contracción y el ancho de anillo de crecimiento fue para la contracción tangencial, radial y volumétrica inversamente proporcional, o sea a mayor ancho de anillo menor contracción. Cabe mencionar que esto guarda relación que a medida que se enanchan los anillos de crecimiento se ve reducida la densidad. Para la contracción longitudinal la relación es directa, ya que a medida que aumenta el ancho de anillo se incrementa la contracción.

Cuando se evaluó la importancia económica de la contracción, se compararon las cifras obtenidas por concepto de reducción de la contracción, con rechazo y sin rechazo, y se pudo inferir que cuando se produce rechazo la reducción en las ventas casi duplica el beneficio obtenido cuando no se asume rechazo. Esto es muy significativo ya que la cifra que se asume de rechazo es muy probable y por lo tanto se asume un alto riesgo.

La variable que más incidencia tiene sobre las ventas es el aprovechamiento de la madera lateral, ya que un mayor aprovechamiento en dos puntos porcentuales significó un incremento en las ventas de un 11% con respecto a la situación inicial.

6. BIBLIOGRAFÍA

- DEVLIEGER F.; BAETITIG R.1999. Ingeniería de Aserraderos. Fundamentos de planificación y gestión. Universidad de Talca. Serie técnica N° 1. p.134
- FERNANDEZ-GOLFIN J.1992. Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera. Departamento de industrias Forestales. Madrid. p. 28
- HAYGREEN J. G. 1982. Forest products and Wood science: and production. Trad. por Alicia Fernandez.pp.214-221
- INFOR. 1989. Principios de organización y operación del aserradero. Manual N° 16. pp. 184-187
- INN. 1986. Nch176/2.of86. Madera – parte 2: Determinación de la densidad. Normas chilenas oficiales.
- INN. 1986. Nch176/3.of86. Madera – parte 3: Determinación de la contracción radial y tangencial. Normas chilenas oficiales.
- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA: Manual del Grupo Andino para el secado de la madera. Ed. pp.6-32
- KOLLMANN, F.1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. pp. 417-430
- PEREZ G. V. 1983. Manual De propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Chile. pp. 9-14
- VISCARRA S.1998. Guía para el Secado de la Madera en hornos. Documento Técnico. Santa Cruz. Bolivia. pp. 5-10
- SIAU J. F. 1984. Transport processes in Wood. Springer series in wood sciences. Nueva York. pp. 125-145
- ROSENDE B.; CASTILLO B. 1973. Contracción, colapso y juego de las maderas chilenas. Instituto Forestal. Santiago. Boletín informativo N° 27.

ANEXOS

ANEXOS 1

Abstract

ABSTRACT

A valuation was made of the dimensional variation in lateral wood of *Pinus radiata* and the economic effect in a lumber mill.

As a consequence of the wood anisotropy, a contraction was determined in the three principal directions: tangential, radial and longitudinal. It was determined that the volumetric contraction was a consequence of the other three contractions.

The analyzed samples of the lumber lateral wood were taken from three different diameters: 24cm, 28cm and 30cm.

The results obtained for each contraction experiment were compared with the bibliography of *Pinus radiata* and it is possible to conclude that with the exception of the longitudinal contraction that was excessive, the average was similar to the bibliography.

It was possible to establish that the contraction has a direct relation with the density, when the density in the wood is increasing; the contraction is increasing too, with the exception of the longitudinal contraction that had minor contraction with higher density.

In the case of the relationship between the contraction and the ring width, it is similar to the case of the density, since when diminishing the width average of ring increase the contraction, with the exception of the longitudinal contraction that presents an increase. This is caused because as the width of the ring diminishes, the density increases.

When the economic importance of the contraction was evaluated, the figures were compared obtained by concept of reduction of the contraction, with rejection and without rejection, and you could infer that when rejection almost takes place the reduction in the sales that it duplicates the obtained benefit when rejection is not assumed. This is very significant since the figure that is assumed of rejection is very probable and therefore a high risk is assumed.

ANEXOS 2

Gráficos de las curvas de contracción

Y

Gráficos de dispersión de las curvas de contracción

Grafico 1: Curva de contracción radial para los tres diámetros analizados.

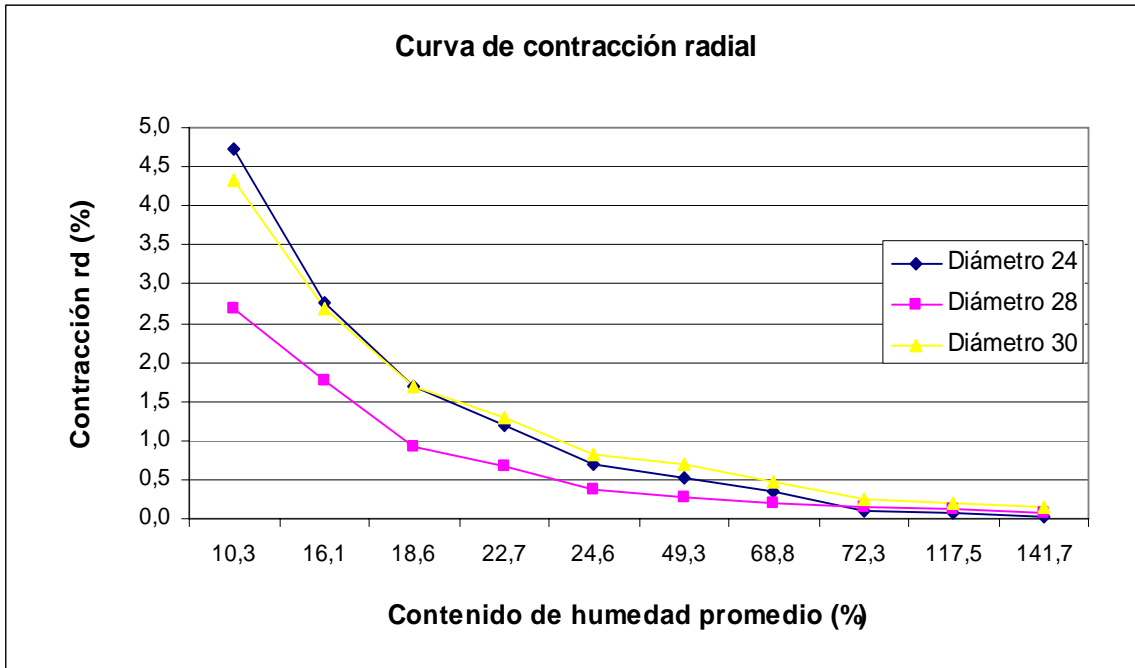


Grafico 2: Curva de contracción tangencial para los tres diámetros analizados.

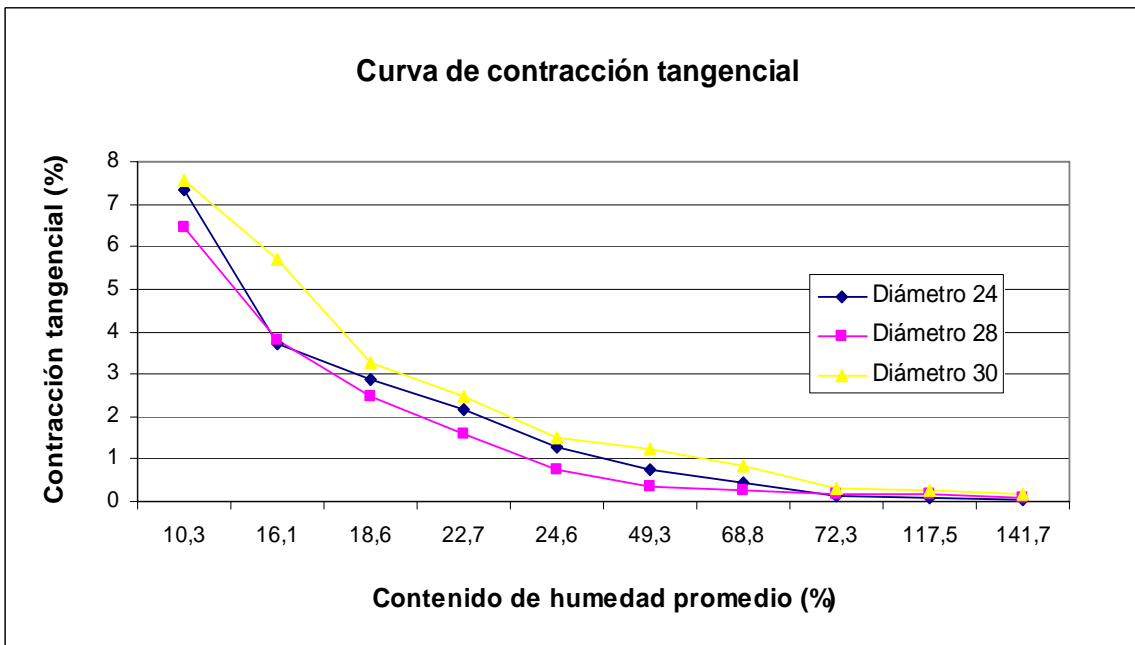


Grafico 3: Curva de contracción volumétrica para los tres diámetros analizados.

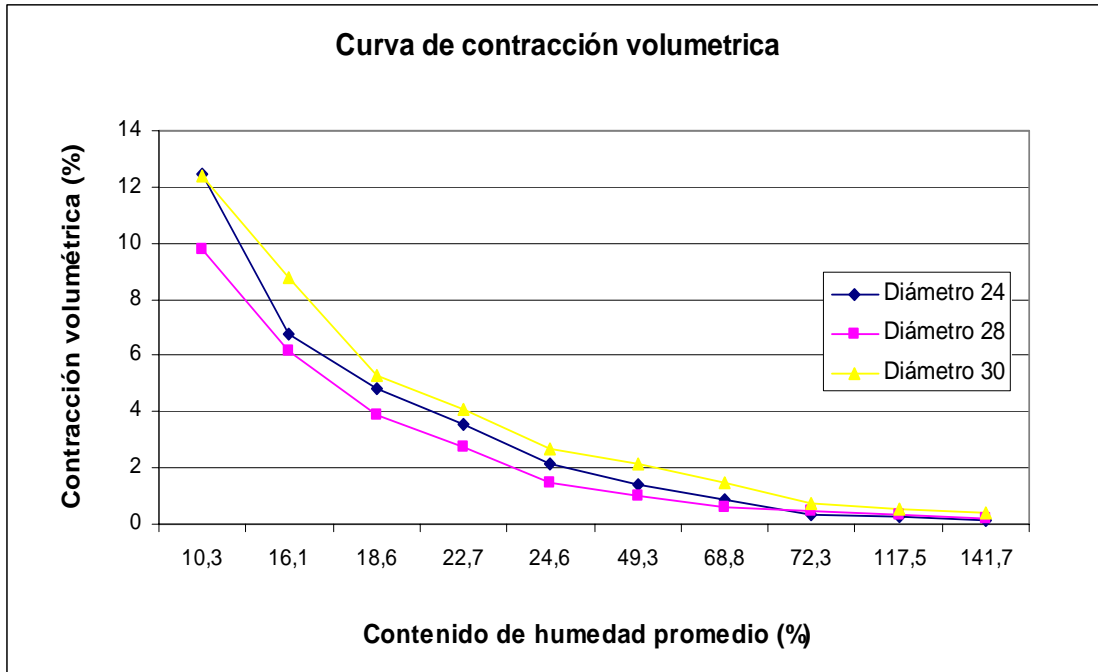


Gráfico 4: Curvas de contracciones para el diámetro 24 cm.

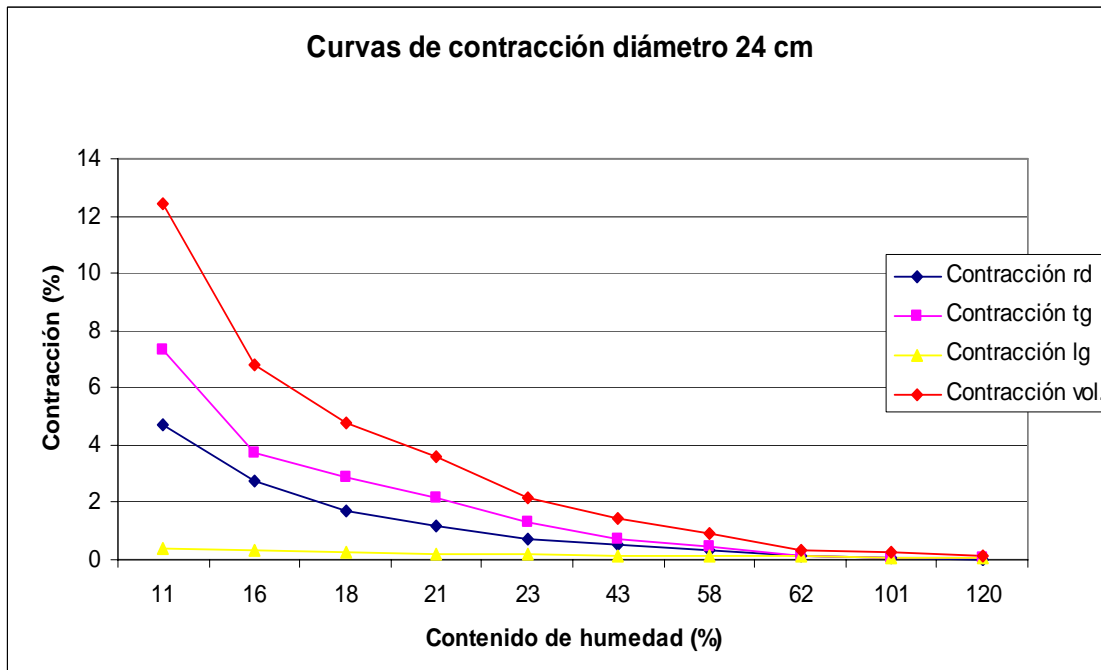


Gráfico 5: Curvas de contracciones para el diámetro 28 cm.

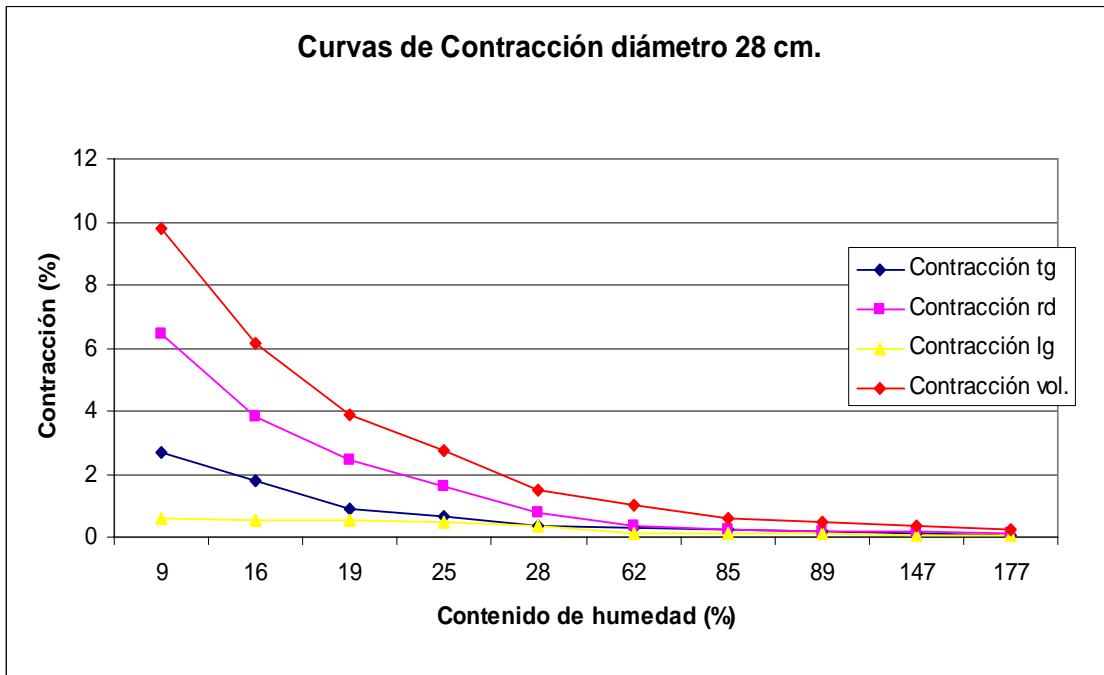


Gráfico 6: Curvas de contracciones para el diámetro 30 cm.

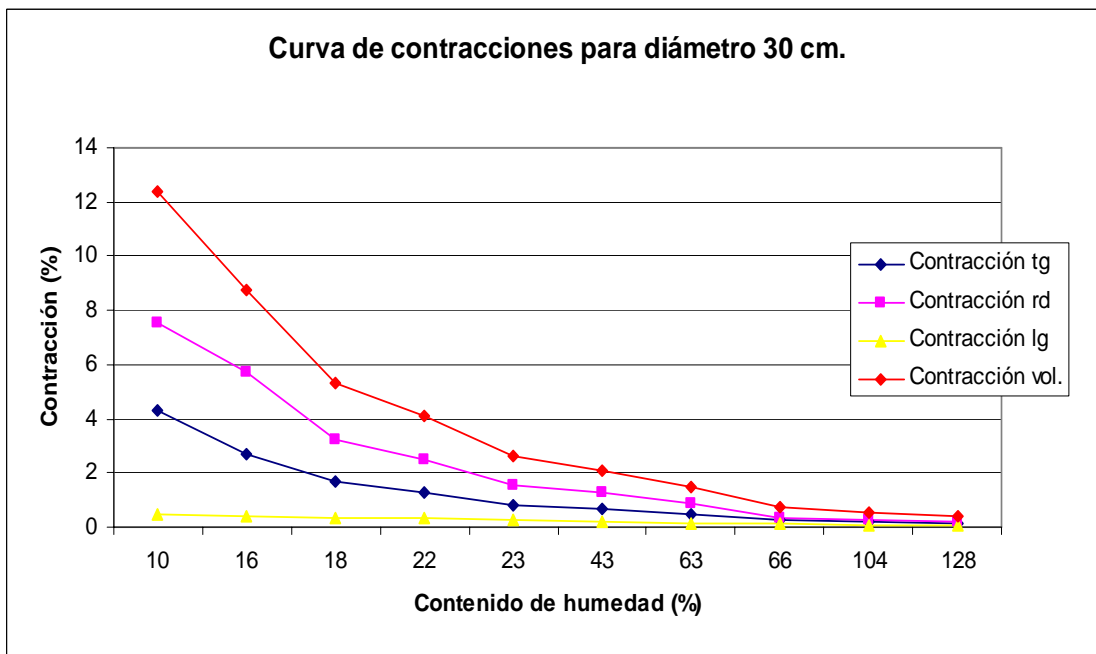


Gráfico 7: Dispersión de las contracciones para el diámetro 24 cm.

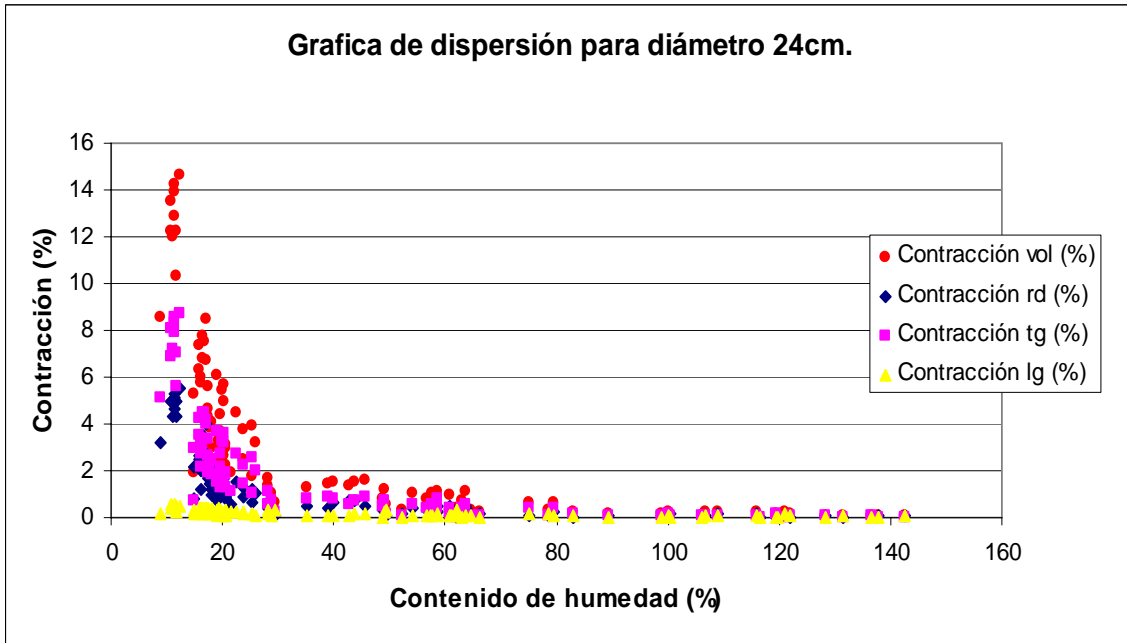


Gráfico 8: Dispersión de las contracciones para el diámetro 28 cm.

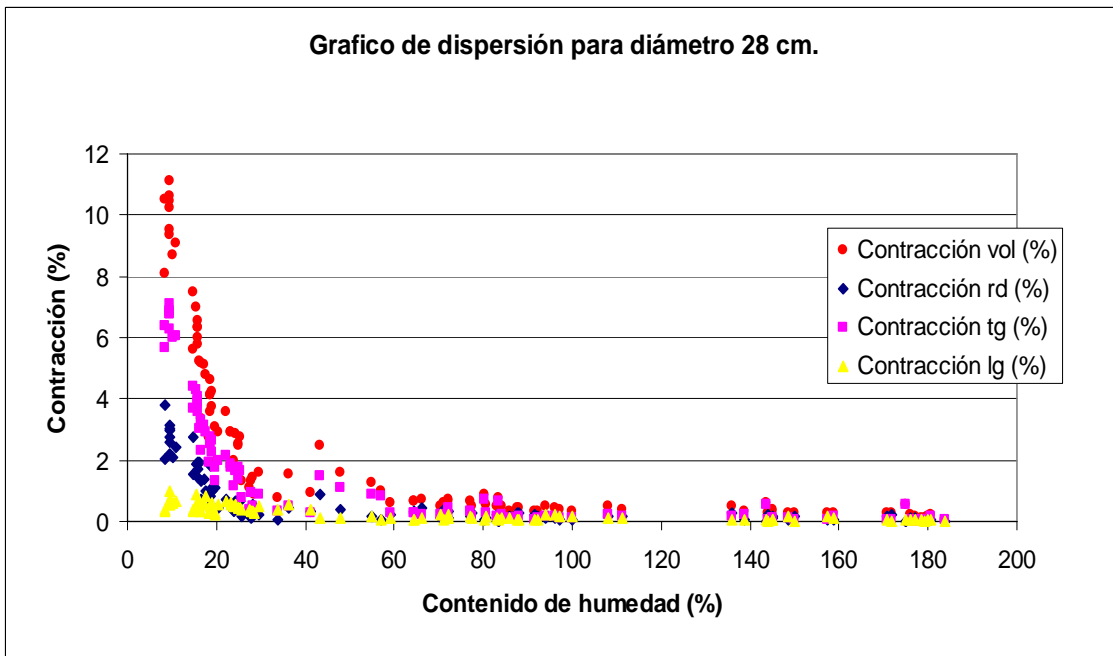
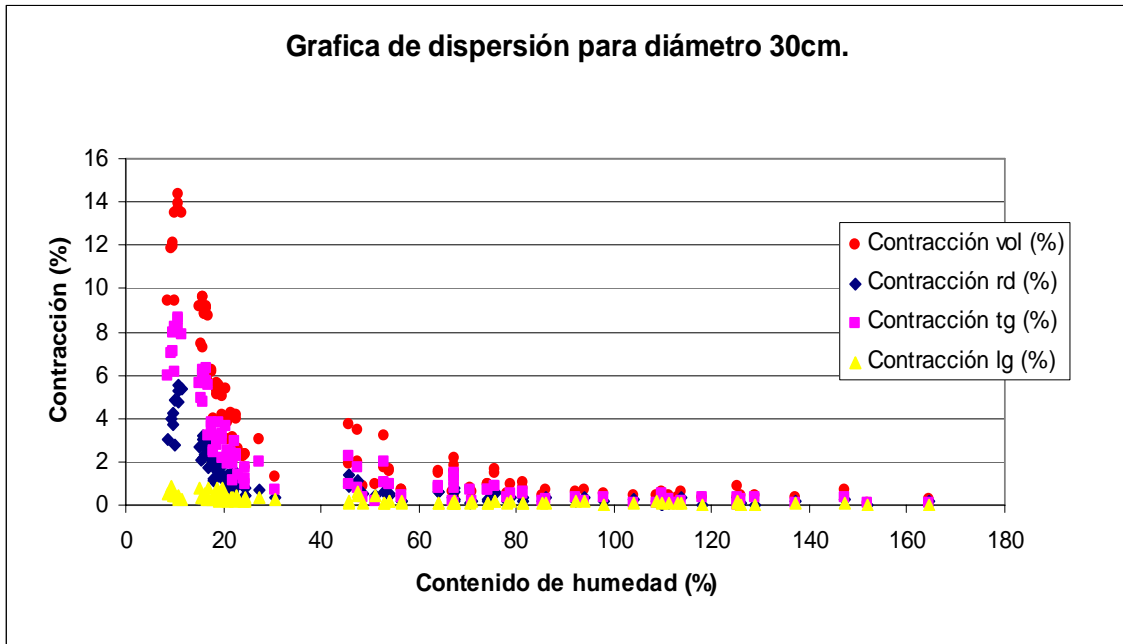


Gráfico 9: Dispersión de las contracciones para el diámetro 30 cm.



Cuadro 1: Contracción total de las muestras para un diámetro 24 cm.

Probeta	Peso (gr.)	CH (%)	Contracción rd (%)	Contracción tg (%)	Contracción lg (%)	Contracción volumétrica (%)
1	26,154	8,9	3,17	5,15	0,20	8,52
2	34,724	11,7	4,96	7,01	0,25	12,22
3	34,084	12,3	5,50	8,71	0,45	14,66
4	28,998	11,3	5,10	8,29	0,56	13,95
5	29,635	11,5	4,61	7,89	0,37	12,86
6	31,849	11,5	5,24	8,55	0,43	14,21
7	35,984	11,7	4,34	5,57	0,45	10,36
8	30,551	11,0	4,34	7,18	0,45	11,96
9	31,158	10,6	4,97	6,86	0,43	12,27
10	32,962	10,9	4,98	8,04	0,53	13,55

Cuadro 2: Contracción total de las muestras para un diámetro 28 cm.

Probeta	Peso (gr.)	CH (%)	Contracción rd (%)	Contracción tg (%)	Contracción lg (%)	Contracción volumétrica (%)
1	23,366	8,3	2,03	5,66	0,38	8,1
2	24,632	9,6	2,58	6,26	0,54	9,4
3	24,220	9,5	2,96	6,78	0,73	10,5
4	23,787	9,4	2,78	6,84	0,65	10,3
5	24,378	10,9	2,40	6,04	0,67	9,1
6	24,267	10,1	2,07	6,02	0,59	8,7
7	23,888	9,5	3,13	6,86	0,50	10,5
8	24,331	9,6	2,18	6,78	0,57	9,5
9	25,595	9,5	3,04	7,09	0,98	11,1
10	24,612	8,5	3,78	6,38	0,35	10,5

Cuadro 3: Contracción total de las muestras para un diámetro 30 cm.

Probeta	Peso (gr.)	CH (%)	Contracción rd (%)	Contracción tg (%)	Contracción lg (%)	Contracción volumétrica (%)
1	28,487	9,2	3,95	7,03	0,89	11,87
2	32,886	10,6	5,49	8,51	0,36	14,37
3	31,925	11,0	4,75	8,68	0,25	13,68
4	31,644	10,9	5,28	8,16	0,46	13,90
5	33,770	11,6	5,33	7,85	0,28	13,46
6	27,065	9,7	4,28	7,09	0,58	11,95
7	24,596	8,6	2,99	5,95	0,48	9,41
8	31,094	10,2	4,83	8,24	0,42	13,49
9	28,826	9,9	2,81	6,18	0,40	9,38
10	26,141	9,7	3,72	7,93	0,47	12,12

ANEXOS 3

Gráficos de densidad
Y

Cuadros De densidad y ancho de anillo

Gráfico 10: Distribución de la densidad para el diámetro 24 cm.

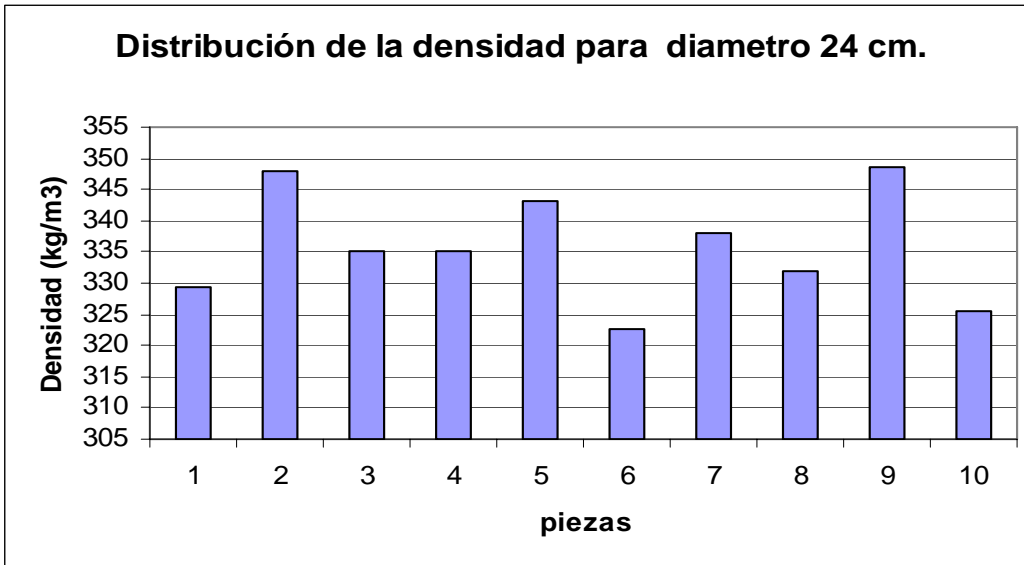


Gráfico 11: Distribución de la densidad para el diámetro 28 cm.

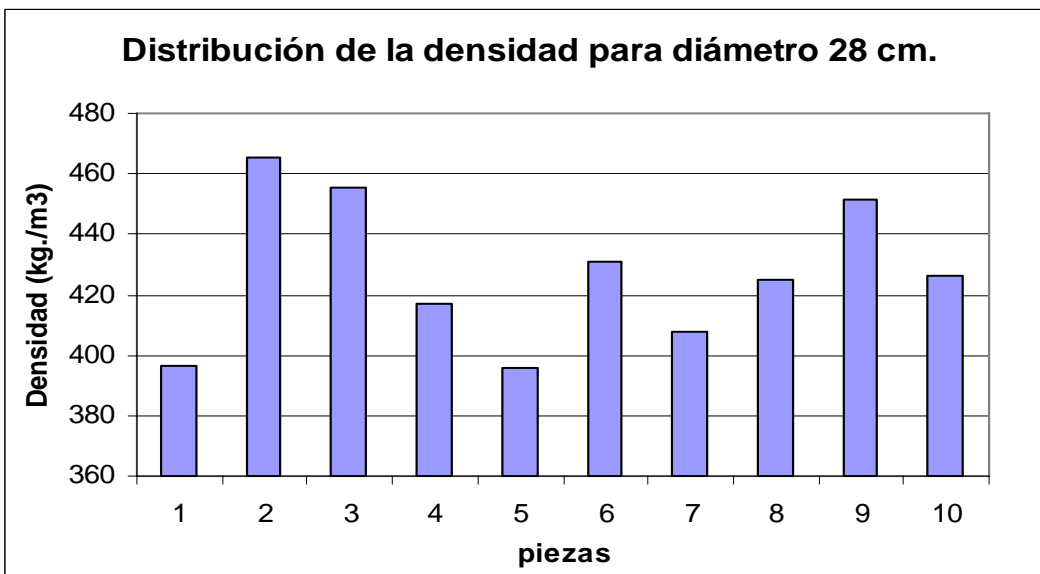
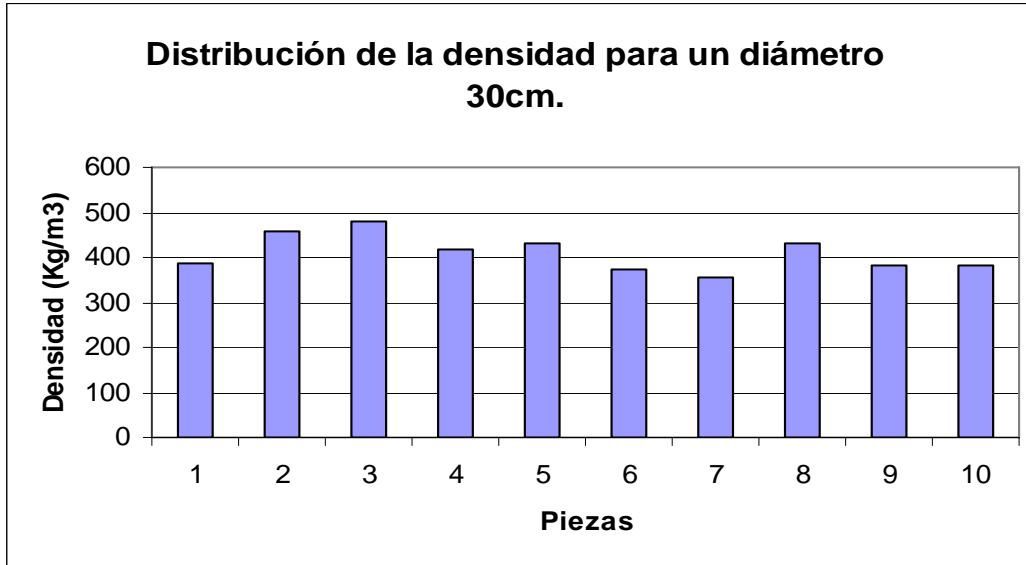


Gráfico 12: Distribución de la densidad para el diámetro 24 cm.



Cuadro 4: Resultados de la densidad por probeta para el diámetro 24 cm.

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm ³)	Peso húmedo (gr.)	Peso anhidro (gr.)	Densidad (kg./m ³)
1	40,44	40,34	70,62	11,52	116,06	45,69	396,61
2	41,52	40,32	70,62	11,82	126,54	55,03	465,43
3	40,84	40,46	70,92	11,72	126,42	53,37	455,45
4	41,22	40,50	71,08	11,87	122,05	49,48	416,98
5	40,76	40,28	70,62	11,59	120,08	45,90	395,90
6	40,34	40,54	70,78	11,58	123,39	49,86	430,77
7	45,12	40,54	70,78	12,95	132,80	52,80	407,83
8	42,20	40,24	70,54	11,98	126,95	50,94	425,24
9	40,44	40,18	70,66	11,48	121,11	51,83	451,43
10	40,54	40,68	71,14	11,73	123,61	50,03	426,43

Cuadro 5: Resultados de la densidad por probeta para el diámetro 28 cm.

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm3)	Peso húmedo (gr.)	Peso anhidro (gr.)	Densidad (kg./m3)
1	41,10	41,50	70,74	12,07	123,81	39,73	329,25
2	40,16	36,90	70,52	10,45	109,42	36,35	347,87
3	41,60	40,24	70,84	11,86	124,12	39,73	334,99
4	40,24	42,00	70,74	11,96	124,80	40,05	335,01
5	40,28	38,82	70,90	11,09	116,67	38,04	343,16
6	40,10	39,96	70,86	11,35	115,98	36,62	322,53
7	40,24	40,72	70,66	11,58	121,39	39,15	338,09
8	39,00	40,22	70,86	11,11	113,88	36,89	331,91
9	37,52	40,20	70,66	10,66	111,99	37,16	348,64
10	41,86	40,52	70,92	12,03	124,72	39,15	325,45

Cuadro 6: Resultados de la densidad por probeta para el diámetro 30 cm.

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Volumen (cm3)	Peso húmedo (gr.)	Peso anhidro (gr.)	Densidad (kg./m3)
1	40,00	40,46	70,30	11,38	113,92	43,90	385,85
2	40,00	42,10	70,60	11,89	124,56	54,55	458,78
3	39,92	42,20	70,52	11,88	124,67	56,88	478,81
4	39,84	40,12	70,86	11,33	115,62	47,56	419,93
5	40,04	40,36	70,34	11,37	116,52	49,09	431,89
6	39,96	41,34	70,36	11,62	116,83	43,56	374,79
7	39,74	39,92	70,28	11,15	92,26	39,43	353,67
8	39,66	40,12	70,50	11,22	115,31	48,55	432,81
9	40,10	40,24	70,44	11,37	113,15	43,61	383,64
10	40,02	40,82	70,54	11,52	111,99	43,97	381,54

Cuadro 7: Medición del ancho de anillo en las probetas para el diámetro 24 cm.

Probeta	Ancho de anillo (mm)				Promedio (mm)
1	6,550	8,250			7,40
2	4,100	3,350	3,900	2,850	3,55
3	4,000	4,200	3,800		4,00
4	6,500	5,450			5,97
5	6,850	4,500			5,67
6	3,800	3,200	3,9		3,63
7	3,850	3,700	3,850		3,80
8	3,550	3,600	2,450		3,20
9	5,800	3,200			4,50
10	4,850	3,900	3,65		4,13

Cuadro 8: Medición del ancho de anillo en las probetas para el diámetro 28 cm.

Probeta	Ancho de anillo (mm)		Promedio (mm)
1	8,900	8,300	8,60
2	7,600	7,500	7,55
3	3,550	3,900	3,72
4	7,400	6,650	7,02
5	8,900	7,800	8,35
6	7,800	7,150	7,47
7	8,700	7,200	7,95
8	7,850	7,250	7,55
9	7,700	6,900	7,30
10	7,400	6,650	7,02

Cuadro 9: Medición del ancho de anillo en las probetas para el diámetro 30 cm.

Probeta	Ancho de anillo (mm)			Promedio (mm)
1	9,800			9,80
2	4,600	5,650	5,300	5,18
3	4,800	4,800	4,700	4,77
4	4,400	4,000	3,600	4,00
5	4,150	3,400	3,500	3,68
6	6,350	7,300		6,83
7	5,550	7,350	5,200	6,03
8	5,450	5,950	6,100	5,83
9	8,400	8,500		8,45
10	8,700			8,70