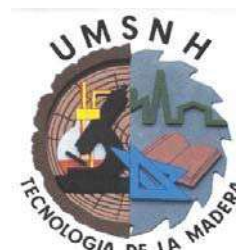




UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
DE LA MADERA**

**“Interrelación de las características de
la trocería con el coeficiente de
aprovechamiento y las características
de la madera aserrada”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

P R E S E N T A :

FERNANDO VEGA GARIBAY

DIRECTOR DE TESIS:

DR. DAVID ZAVALA ZAVALA

MORELIA, MICH.

ENERO DE 2007

RESUMEN

Actualmente la industria de aserrío en México compite con países que poseen un gran desarrollo tecnológico, por lo que requiere ser más competitiva en los procesos de transformación que permitan mejorar los coeficientes de aserrío (CA) e incrementar la rentabilidad del proceso. Este estudio se realizó con la finalidad de evaluar la interrelación de las características de las trozas en el CA y en la calidad de la madera aserrada, y para determinar la proporción de subproductos, utilizando una muestra de 132 trozas de calidad 4 y 5 para generar tablas y cuartones. En general el diámetro de las trozas no influyó en el coeficiente de aserrío, pero si su calidad; el CA real promedio para las trozas de calidad 4, fue de 71.02% que corresponde a un CA nominal de 56.1% y para las de calidad 5 los valores fueron de 66.47% y 53.39% respectivamente. Promediando ambas calidades de trocería el CA real fue de 70.31% para la alternativa de tablas y 67.17% para la alternativa de tablas y cuartones, que corresponden a un CA nominal de 54.48% y 55% respectivamente. El CA nominal y real considerando ambos productos para las dos calidades de trozas fue de 54.74% y 68.74% respectivamente. Se presentó una relación directa entre la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada, la trocería de calidad 4 generó 6.87% de madera calidad 2 y M, 10.47% de calidad 3, 16.77% de 4ta y 65.87% de madera de 5ta, mientras que las trozas de calidad 5 generaron 3.95% en madera 2 y M, 4.87% de 3ra, 9.23% de 4ta y 81.94 % de 5ta. La proporción de subproductos fue de 19.35% de costeras y recortes, 13.38% de aserrín y 67.27% de madera aserrada. Se determinó una dimensión optima de corte de 26.42 mm para el espesor nominal de $\frac{7}{8}$ ", puesto, que representó el 93% del volumen total de madera aserrada de la alternativa de producción de tablas.

SUMMARY

Now days, the sawmilling industry in México competes with countries with a very high technological development. To overcome this situation, it is necessary to be more competitive in the transformation process to improve the lumber recovery factor (LRF) in order to increase the revenue. In this study the relationship of log characteristics with the LRF, and with the lumber quality, together with the byproducts were evaluated from 132 logs of grades 4 and 5, to produce boards and planks. It was found that the log diameter had no effect on the LRF, but the quality does. The average LRF of logs grade 4th was 71.02% which represents 56.1% of nominal LRF and for logs grade 5th these values were 66.47% and 53.39% respectively. The average LRF from both log grades was 70.31% for boards and 67.17% for boards and planks. The real and nominal LRF for both products from the two log grades were 54.74% and 68.74% respectively. A direct relationship between log grades and lumber quality was found; the logs of grade 4th generated 6.87% of 2-M lumber quality, 10.47% of 3rd quality, 16.77% of 4th and 65.87% of 5th lumber quality, while the logs of grade 5th generated 3.95% of 2-M lumber quality, 4.87% of 3rd quality, 9.27% of 4th and 81.94 of 5th quality. The lumber and byproducts proportions were 19.35% of slabs and trimmers, 13.38% of sawdust and 67.27% of lumber. An optimal sawing dimension of 26.42 mm of nominal thickness for the 7/8" boards was determined; this dimension represents 93% of the total lumber thickness production.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	I
SUMMARY	II
INDICE DE CONTENIDO	III
INDICE DE CUADROS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE APENDICE	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Tamaño de muestra	3
2.2. Cubicación de la trocería y de madera aserrada	3
2.3. Coeficiente de aserrío	5
2.4. Relación de la calidad de la trocería con el coeficiente de aserrío	6
2.5. Relación de refuerzos o sobremedidas de la trocería con el coeficiente de aserrío	7
2.6. Clasificación de la trocería de pino	9
2.7. Clasificación de la madera aserrada de pino	9
2.8. Proporción de subproductos	10
3. OBJETIVOS	11
4. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Determinación del número de trozas (Tamaño de la muestra)	14
4.2. Cubicación de las trozas	14
4.3. Clasificación de las trozas	15

4.4. Clasificación de la madera aserrada	15
4.5. Coeficiente de aserrío	16
4.6. Proporción de subproductos	18
4.7. Efecto de la calidad de las trozas en el coeficiente de aserrío	18
4.8. Refuerzos de la madera aserrada	19
4.9. Determinación de la variación del proceso de aserrío	19
4.10. Determinación de la dimensión óptima de corte	23
4.11. Gráficas de control de calidad	25
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
5.1. Tamaño de muestra	28
5.2. Coeficiente de aserrío	31
5.2.1. Coeficiente de aserrío nominal y real para la alternativa de producción de tablas	31
5.2.2. Coeficiente de aserrío nominal y real para la alternativa de producción de tablas y cuartones	33
5.2.3. Coeficientes de aserrío globales (Nominales y reales)	34
5.3. Calidad de la madera aserrada	37
5.3.1. Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas	38
5.3.2. Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas y Cuartones	40
5.3.3. Proporción de calidad (Global)	43
5.4. Proporción de subproductos	47
5.5. Refuerzos de la madera aserrada	50
5.6. Variación del espesor de la madera en el proceso de aserrío	50
5.7. Dimensión óptima de corte	51

5.8. Madera aserrada con dimensiones inferiores a la especificada	52
5.9. Gráficas de control de calidad	54
5.9.1. Gráfica de $\overline{\overline{X}}$	54
5.9.2. Gráfica de $\overline{R} b$	55
5.9.3. Gráfica de $\overline{R} w$	56
6. CONCLUSIONES	57
7. RECOMENDACIONES	59
8. BIBLIOGRAFÍA	61
9. ANEXOS	64

INDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Características de la trocería muestreada para el proceso de aserrío (Para la alternativa de producción de tablas).	30
Cuadro 2. Características de la trocería muestreada para el proceso de aserrío (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones).	30
Cuadro 3. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas).	31
Cuadro 4. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones).	33
Cuadro 5. Proporción de calidades de la madera aserrada por categoría diamétrica de las trozas procesadas para la alternativa de producción de tablas.	38
Cuadro 6. Proporción de calidades de la madera aserrada por categoría diamétrica de las trozas procesadas para la alternativa de producción de tablas y cuartones.	41
Cuadro 7. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas.	43
Cuadro 8. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas y cuartones.	45
Cuadro 9. Proporción de madera aserrada y de subproductos, a través de la ecuación utilizada por Méndez, 1996.	48
Cuadro 10. Proporción de madera aserrada y de subproductos, a través de la ecuación utilizada por Zavala, 1981.	48
Cuadro 11. Proporción de refuerzos y sus excedentes.	50

INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Aserradero de SEZARIC.	12
Figura.2. Diagrama de flujo del aserradero.	13
Figura 3. Cuartones.	17
Figura 4. Piezas obtenidas de los cuartones (Polines y barrotes).	18
Figura 5. Toma de mediciones en espesor y su ubicación a lo largo de la tabla.	20
Figura 6. Medición en uno de los 6 puntos de la tabla.	21
Figura 7. Dimensiones de la madera aserrada y su interrelación con distintos tipos de refuerzos.	24
Figura 8. Distribución de las trozas por categoría diamétrica.	29
Figura 9. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas).	32
Figura 10. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones)	34
Figura 11. Coeficientes de aserrío globales (Nominales y reales).	35
Figura 12. Coeficiente de aserrío global (Nominal y real) para las dos alternativas de productos generados.	36
Figura 13. Coeficiente de aprovechamiento nominal y real considerando ambas alternativas de productos generados y ambas calidades.	37
Figura 14. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 4.	39
Figura 15. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 5.	40
Figura 16. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas y cuartones con trozas de calidad 4	42
Figura 17. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas y cuartones con trozas de calidad 5.	43

Figura 18. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas.	44
Figura 19. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas y cuartones.	45
Figura 20. Proporción de calidad promediando ambas alternativas de productos generados y ambas calidades de trocería.	46
Figura 21. Proporción de madera aserrada y de subproductos.	49
Figura 22. Distribución de frecuencias de espesores promedio.	53
Figura 23. Gráfica de $\bar{X}$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.	54
Figura 24. Gráfica de $\bar{R} b$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.	55
Figura 25. Gráfica de $\bar{R} w$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.	56

INDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Características de las trozas para la determinación del tamaño de muestra.	65
Anexo 2. Determinación del volumen por troza y categoría diamétrica.	67
Anexo 3. Piezas generadas de las trozas.	71
Anexo 4. Determinación del coeficiente de aserrío nominal y real.	85
Anexo 5. Volúmenes nominales y reales de los diferentes tipos de piezas generadas de las trozas muestreadas para este fin.	93
Anexo 6. Proporción de calidad de la madera aserrada por categoría diamétrica de la trocería	94
Anexo 7. Proporción de calidades de la madera aserrada (Global).	98
Anexo 8. Características y volumen de las trozas procesadas para determinar la proporción de subproductos.	99
Anexo 9. Piezas generadas de las trozas para determinar la proporción de subproductos.	100
Anexo 10. Determinación de la proporción de madera aserrada y de subproductos	103
Anexo 11. Determinación de la variación del espesor de la madera en el proceso de aserrío.	108

1. INTRODUCCIÓN

En México y en todo el mundo, el volumen de madera en rollo convertido en madera aserrada, excede al volumen empleado para cualquier otro fin (Caraveo, 1982). El proceso de aserrío es la forma mas simple de industrializar la madera a partir de la trocería y puede considerarse como una de las actividades más importantes de la industria forestal del país, ya que 757 empresas se dedican a esta actividad, y se generan mas de 12,367 empleos (INEGI, 2004). La producción forestal maderable del año 2003, alcanzó un volumen de 7 millones de metros cúbicos de madera en rollo. El 69% de la producción de 2003 se destinó a aserrío (4.8 millones de m^3r), el 12% a productos celulósicos (845 mil m^3r) y el restante 19% (1.3 millones de m^3r) a tableros, postes, pilotes, morillos y combustibles (SEMARNAT, 2003). La mayoría son aserraderos pequeños que se localizan principalmente en los estados de Durango, Chihuahua, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Guerrero, con una producción diaria promedio de menos de 20,000 pt, (FAO, 2005). Sin embargo, y no obstante lo sencillo del proceso y su importancia, se considera que el grado de avance o adaptación tecnológica en México ha sido muy lento, respecto a países desarrollados, por argumentos de diferente índole. Incluso, los industriales madereros, así como los fabricantes de maquinaria, conocen de diversas tecnologías, pero por diversos motivos los aserraderos han permanecido al margen de mejorías que en algún grado pudieran considerarse importantes.

En la actualidad la industria de aserrío compite con países que poseen un gran desarrollo tecnológico, por lo que requiere ser más competitiva en los procesos de transformación que permitan mejorar los coeficientes de aprovechamiento e incrementar la rentabilidad del proceso.

El primer principio para evaluar la eficiencia de un aserradero es a través de un monitoreo constante en el coeficiente de aserrío (Williston, 1976). En el proceso de aserrío una forma de evaluar la eficiencia de transformación de la trocería es a través de estudios de coeficientes de aprovechamiento, los cuales reflejan la interrelación de las características de las trozas, (dimensiones y calidades) con el tipo de productos generados, (proporción de

espesores, refuerzos y calidad de la madera aserrada); además de la influencia del tipo de maquinaria empleada y de la habilidad de los operarios (Zavala, 1995).

La integración de estos factores en los análisis de evaluación de aserraderos, que normalmente no se consideran en estudios tradicionales, es un aspecto que cada día cobra mayor importancia debido al aumento de los precios y a la disminución en calidad y en cantidad de la madera en rollo disponible. Esta tendencia repercute en forma directa en el proceso de aserrío, el cual deberá ser más eficiente para contrarrestar los efectos de las limitantes de materia prima y poder conservar el mismo margen de utilidades sin afectar en forma significativa los precios de la madera aserrada; sobretodo considerando que con la apertura comercial generalmente se compite con productos mas baratos que los nacionales (Zavala, 1995).

2. ANTECEDENTES

2.1. Tamaño de muestra

Para estudios de coeficientes de aserrío, generalmente se utiliza una muestra de 100 trozas al azar, con base en los lineamientos establecidos por la Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF, 1978). En un estudio, García, *et al.*, (2001), determinaron para 4 aserraderos banda del estado de Jalisco un tamaño de muestra 120 de trozas por cada aserradero con base en la variación del volumen de una premuestra de 60 trozas, considerando un 95 % como límite de confiabilidad de la media. Zavala (1981), determinó un tamaño de muestra para 6 aserraderos en el Edo. de Durango, que varió de 124 a 150 trozas con base en la variación del volumen de una premuestra de 80 trozas, considerando un 95% como límite de confiabilidad de la media.

2.2. Cubicación de la trocería y de la madera aserrada

El sistema oficial de cubicación indica que el volumen de las trozas y de la madera aserrada se debe expresar en unidades del sistema métrico decimal (Zavala *et al.*, 2000). Tradicionalmente se han utilizado reglas madereras para cubicar trozas expresadas en pies-tabla, predominando la regla Doyle, la Internacional y la Scribner. Spelter (2004), señala que las reglas que cubican las trozas en pies-tabla se fundamentan en viejas suposiciones sobre cuanta madera aserrada puede obtenerse de la trocería, y estas ofrecen una aproximación pobre a la realidad. Williston (1976), indica que la cubicación de la trocería debe hacerse en base al sistema métrico decimal y no utilizando la regla Scribner u otras mas viejas, inexactas y obsoletas.

La regla Doyle genera errores en la cubicación de trozas de diámetros pequeños proporcionando un volumen inferior al real y errores por exceso en diámetros grandes (Romahn *et al.*, 1994). Spelter (2004), reporta que la regla Doyle, es la menos exacta en el rango de los diámetros pequeños a medianos debido a una deducción para el desperdicio que llega a ser muy desproporcional en los diámetros pequeños. En la regla Internacional,

las trozas de diámetro pequeño tienden a producir mas madera aserrada que la indicada; además esta regla supone que solo se elaborarán tablas de 1" y no toma en cuenta el desperdicio intencional que se produce en material sano para obtener mejores calidades de madera (Romahn *et al.*, 1994).

Las reglas para cubicar que se basan en el sistema métrico decimal han sido consideradas mejores que las reglas que utilizan las dimensiones en pies tabla, porque las reglas decimales generalmente dan estimados más razonables de los volúmenes de las trozas a través del rango de los diámetros y las longitudes (Orchard 1953, Garlan 1984, en Spelter, 2004). Por ser mas exactas las cubicaciones en el sistema métrico decimal están mejor relacionadas con la escala de peso, facilitando las conversiones a volumen cuando las trozas están en escala de peso (DeLong and Skillicorn 1984, en Spelter, 2004). Este tipo de reglas asumen que las trozas son cilíndricas pero con una sección transversal que es un promedio de los diámetros en distintos puntos, lo que requiere una gran cantidad de medidas en diferentes secciones de la troza (Bell 2002, en Spelter, 2004).

Para cubicar la trocería usando el sistema métrico decimal, generalmente se utilizan las formulas de Smalian, la de Huber y la de Newton (Zavala *et al.*, 2000, Romahn *et al.*, 1994). Dobie (1972), en Zavala *et al.*, (2000), indica que la formula de Smalian es la base para cubicar la trocería en Columbia Británica, Canada. Zavala *et al.*, (2000), considera que la imprecisión en la determinación del volumen, aplicando la formula de Smalian, no es tan significativa desde el punto de vista económico y comercial. Spelter (2004), señala que la fórmula de Smalian requiere únicamente de las medidas de los dos diámetros de las cabezas, y ha sido la mas utilizada en Norte América.

Romahn *et al.*, (1994), señala que la fórmula de Huber es seguramente el método mas sencillo, para obtener el volumen de una troza, puesto que basta multiplicar el área de su sección media por su longitud. Por otra parte, Zavala *et al.*, (2000), menciona que en la fórmula de Huber, la toma de datos (diámetro en la parte media de la troza) se dificulta mas, sobretodo cuando la trocería esta apilada.

La fórmula de Newton se considera que es la más exacta de las tres, pero requiere de mas mediciones en las trozas, que no justifican en forma práctica el trabajo adicional en cuanto a precisión comparada con la de Smalian (Zavala *et al.*, 2000). Spelter (2004), señala que esta fórmula, en general no se usa en la práctica.

Para la cubicación de la madera aserrada en el sistema de comercialización tradicional, predomina como sistema de cubicación el “pie tabla” (Romahn *et al.*, 1994, Spelter 2002), pero para aspectos oficiales únicamente se reconoce el sistema métrico decimal.

El volumen de la madera aserrada se puede expresar en dos formas: volumen real y volumen nominal o comercial. El volumen real se determina a través de las dimensiones reales de las tablas en espesor, anchura y longitud., en el primero y segundo caso, expresada en milímetros, y la longitud en centímetros. El volumen nominal se determina multiplicando las tres dimensiones nominales de las tablas o tablonés, (Zavala *et al.*, 2000).

La dimensión real, es igual a la dimensión comercial más un refuerzo que varia con el espesor de las tablas y que compensa la pérdida de madera por contracciones, por variación del corte en el aserrío y por cepillado de las tablas. La dimensión nominal se considera como la dimensión final que adquiere la madera después de secada y cepillada, (Zavala *et al.*, 2000).

Para la madera húmeda de pino, se considera un refuerzo de 3 mm para espesores hasta de 38 mm para las piezas de mayor grosor el refuerzo es de 5 mm. El refuerzo de las tablas en anchura es de 13 mm, y el refuerzo en longitud es de 25 mm (DGN, 1986).

2.3. Coeficiente de aserrío

El coeficiente de aserrío se determina a través de la relación del volumen de la madera aserrada entre el volumen de trocería que se utiliza para obtenerla, expresada en por

ciento (SFF, 1978). Se puede referir al volumen de madera de dimensiones comerciales, al volumen de madera de cortas dimensiones, y se puede expresar en dimensiones reales y/o nominales de la madera aserrada y las dimensiones reales de la trocería (Rodríguez, 1978, Zavala, 1994, en Zavala *et al.*, 2000). En un estudio realizado por Alvarado (1970) en Corral (1997), se indica un coeficiente de aserrío de 59.11% en aserraderos banda. Hallock (1973), menciona que en estudios realizados en Estados Unidos y Canada, indican que los aserraderos poseen un coeficiente de aserrío ubicado en un rango de 33.31% (141.25 pt/m³) a 74.96% (317.83 pt/m³) y el promedio es de 54.13% (229.54 pt/m³). En estudios realizados sobre coeficientes de aserrío de pino, Zavala (1996), en Zavala *et al.*, (2000), determinó un coeficiente de aserrío nominal en seis aserraderos de Durango, que varió de 41.54 a 44.18%, y que correspondió a un coeficiente de aserrío real de 54.96% a 61.63%. En otro estudio, García, *et al.*, (2001), determinaron para aserraderos banda del estado de Jalisco un coeficiente nominal promedio de 44.58% (190.5 pt/m³), que corresponde a un coeficiente real promedio de 61.72% (262.9 pt/m³). Kilborn (2002) determinó un coeficiente de aserrío para aserraderos del estado de Alaska que varió de 50.13% (212.59 pt/m³) para el sureste, 56.88% (241.19 pt/m³) para el interior, y 62.21% (263.8pt/m³) para el sur central. En otro estudio Spelter, *et al.*, (2005), determinaron un coeficiente de aserrío promedio para aserraderos de la región Boreal de Canada que varió de 62.73% (266 pt/m³) a 55.66% (236 pt/m³). La productividad de los aserraderos de México es generalmente baja, el coeficiente de aserrío a nivel nacional fluctúa entre 45-60%, (FAO, 2005).

2.4. Relación de la calidad de la trocería con el coeficiente de aserrío

Se ha determinado que la calidad de la madera aserrada decrece con la calidad de las trozas y que el coeficiente de aserrío se reduce con el aumento de los defectos de las trozas. En general las trozas torcidas generan menos madera que las rectas, para la misma categoría diamétrica y longitud. Como regla empírica, Brown y Miller (1975) y Dobie (1966) en Zavala *et al* (2000), establecieron que cada incremento de 0.1 en la relación torcedura/diámetro, se reduce el coeficiente de aprovechamiento hasta en un 7% comparado con trozas rectas, y que el tiempo de asierre se incrementa hasta en un 40%.

Respecto a la conicidad de las trozas., el coeficiente de aserrío disminuye con el aumento de la conicidad (Steele, 1984). Las trozas con conicidad acentuada requieren 12% mas tiempo de asierre y generan 5.7 % menos madera que las trozas cilíndricas. Cuando las trozas se cubican con reglas madereras, a mayor conicidad corresponde un mayor coeficiente de aprovechamiento, pero si la cubicación se hace con el sistema de medición directa, el coeficiente de aserrío se reduce (Dobie y Wright, 1975, Allock *et al.*, en Zavala *et al.*, 2000).

El diámetro de las trozas tiene un efecto directo en la calidad y cantidad de madera aserrada (Zavala *et al.*, 2000). El coeficiente de aserrío tiende a ser menor con la reducción del diámetro (Hallock, 1973). Las trozas con diámetros más grandes generan un coeficiente de aserrío mayor que las trozas con diámetros pequeños, aunque pueden aparecer algunas excepciones (Williston 1976, Steele, 1984, Willits y Fahey, 1988, Wade *et al.*, 1992)

Conforme aumenta el diámetro de las trozas, por lo general se reducen los defectos de la madera (Bailey, 1973, en Zavala *et al.*, 2000). Se ha determinado que el coeficiente de aserrío aumenta con el diámetro de las trozas, variando de 40 a 43% para las trozas de 10 a 12 pulgadas y de 58 a 65% para trozas de 24 a 28 pulgadas (Clark *et al.*, 1974, Phillips y Schoeder, 1975, en Zavala *et al.*, 2000). Integrando ambos conceptos, se establece que para trozas de la misma calidad hay un aumento en el coeficiente de aprovechamiento con un aumento en el diámetro y para trozas del mismo diámetro hay una reducción en el coeficiente de aserrío con una disminución en la calidad (Kerbes y McIntosh, 1968, Pnevmaticos *et al.*, 1971, en Zavala *et al.*, 2000). En un estudio realizado por Zavala, (1995), se determinó que el coeficiente de aserrío fue directamente proporcional a la calidad de las trozas.

2.5. Relación de refuerzos o sobremedidas de la trocería con el coeficiente de aserrío

El espesor final de la madera verde, incluye un refuerzo por el volumen que se pierde por contracciones de la madera verde al secarla para su uso final, por cepillado y por la variación del corte en el proceso de aserrío. Los aserraderos a menudo incluyen un exceso

de refuerzo del requerido para los factores mencionados. A este exceso de refuerzo se le conoce como sobredimensión, (Steele, 1984).

En México, la sobredimensión en el espesor de la madera aserrada es una práctica común en el proceso de aserrío, (Zavala, 1995).

Un exceso de refuerzo en la madera aserrada para compensar por estos factores, aumenta el volumen de madera que se pierde, lo cual repercute en un impacto negativo en el coeficiente de aserrío, (Wade *et al.*, 1992, Zavala, 1981, 1991, 1995).

Las dimensiones más comunes en que se asierra y comercializa la madera aserrada varía de 4 a 12 pulgadas y de 2 pies, respectivamente. Los espesores oscilan de $\frac{1}{2}$ a 2 pulgadas en dimensiones nominales. El refuerzo por cepillado en madera áspera seca fluctúa de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{8}$ pulgadas en grosor, con un mínimo de $\frac{1}{2}$ pulgadas en anchura y de 3 pulgadas en longitud (Rodríguez, 1978).

La subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF), estableció en 1978, las dimensiones del refuerzo en grosor y en volumen para madera serrada producida mas comúnmente, para $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$ y 2 pulgadas, las dimensiones reales en grosor con su respectivo refuerzo deberían ser de 16, 22, 28, 41 y 54 mm, con un refuerzo en volumen para la dimensión final de 40%, 30%, 22%, 14% y 8% respectivamente a través de la conversión de las 5 dimensiones de pulgadas a milímetros, se obtienen las dimensiones nominales para el grosor de la madera aserrada en milímetros, que corresponden a 13, 19, 25, 38 y 51 mm respectivamente.

La Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986), estipula para estas dimensiones un refuerzo de 3 mm que coincide con el previamente establecido por la SFF (1978), a excepción de la de 51 mm., para dimensiones mayores a 38 mm la Norma establece un refuerzo de 5 mm. Los refuerzos correspondientes en anchura y longitud son de 13 mm y de 25 mm respectivamente, indistintamente de las categorías en dimensiones de las piezas.

2.6. Clasificación de la trocería de pino

La Norma Mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988), establece la siguiente clasificación para trocería de pino: México Extra = Alta calidad, México 1 = De primera calidad, México 2 = De segunda calidad, México 3 = De tercera calidad, México 4 = De cuarta calidad, México 5 = De quinta calidad. Las trozas deben tener un diámetro y longitud mínimos de 25 cm y 2.44 metros, respectivamente.

Las especificaciones para cada clase incluyen diámetro mínimo, forma de la sección transversal, nudos, curvatura, ahuzamiento, cicatrices, abultamientos, raspaduras, rajaduras, ataque de insectos, manchas, duramen, albura y caladuras. Conforme disminuye la calidad de las trozas los defectos que se aceptan son mayores.

La clasificación de la trocería, aun cuando existe la Norma Oficial, generalmente se modifica dependiendo de la región del país. En la región norte del país, la clasificación incluye las categorías: Clase 2 y Mejor, Clases 3, 4 y 5.

2.7. Clasificación de la madera aserrada de pino

La Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986), establece la siguiente clasificación para la madera aserrada de pino:

Grado “A” = Selecta

Grado “B” = de primera

Grado “C” = de segunda

Grado “D” = de tercera

Grado “E” = de cuarta

Grado “F” = de desecho

Las especificaciones para cada clase incluyen las características de los nudos, grietas, manchas, bolsas de resina, picaduras, pudriciones, orientación del hilo o grano de la madera y torceduras.

Con frecuencia, se utilizan sistemas de clasificación regional que no necesariamente coinciden con la Norma Oficial, por ejemplo, la clasificación de la madera aserrada en el norte del país incluye las siguientes categorías: 2 y Mejor, Clase 3, Clase 4 y Clase 5, cada una delimitada por el tipo, extensión o severidad y número de defectos, principalmente nudos, rajaduras, manchas y resina.

2.8. Proporción de subproductos

En general, en la mayoría de los aserraderos los subproductos derivados del aserrío (costeras, recortes y aserrín), no se cuantifican. Sin embargo, por la importancia que están adquiriendo para la industria de tableros aglomerados y la de celulosa y papel, se considera importante analizar su composición y rentabilidad. También es importante cuantificar la cantidad de aserrín, con la finalidad de definir su potencialidad para la generación de calor para estufas de secado. Zavala *et al*, (2000) en un estudio realizado en el estado de Durango, determinó una proporción de madera de 51%, un volumen de costeras y recortes de 27% y un porcentaje de aserrín de 22%. Williston (1976), en aserraderos para obtención de madera para construcción (2 x 4”), reporta una proporción de madera de 36%, un volumen de astillas de 56.5% y un porcentaje de aserrín de 7.2% para trozas con 15.24 cm (6”) de diámetro y para trozas de 45.72 cm (18”) de diámetro menciona los siguientes porcentajes 67.4% de madera, 23.1% en astillas y 9.5% en aserrín. Méndez (1996), reporta una proporción de 59.18% de madera aserrada, 17.24% de costera y 18.52% de aserrín, sin embargo en la práctica generalmente la proporción de aserrín no excede el volumen de costeras y recortes.

3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Determinar el coeficiente de aserrío para trocería de calidad 4 y 5, en las categorías diamétricas de 25 - 30, 30 - 35, 35 - 40, 40 - 45, 45 - 50 y 50 - 55.
2. Determinar la calidad de la madera aserrada obtenida para estas dos clases de trocería, analizando dos alternativas de productos generados, la primera obteniendo únicamente tablas de las trozas procesadas y la segunda generando tablas y cuartones con la finalidad de determinar en cual alternativa se mejora el coeficiente de aserrío.
3. Determinar la proporción de subproductos (costeras, tiras, recortes y aserrín) que se generan en el proceso de aserrío.
4. Determinar la variación de los refuerzos en la madera de las dimensiones más frecuentemente producidas en un aserradero banda.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizó trocería de *Pinus arizonica*, *Pinus duranguensis* y *Pinus leiophylla*, que son las especies que generalmente se procesan en el aserradero donde se realizó este trabajo, en la fábrica de triplay de la Unión de Ejidos y Comunidades General Emiliano Zapata, ubicada en la ciudad de Santiago Papasquiaro, Durango.

El aserradero consta de una torre de 1.16 m (46") de diámetro para sierra banda de 15.24 cm (6") de ancho, cal. 17 (1.47mm) con paso de diente de 4.44 cm (1 ¾"), profundidad de garganta de 1.58 cm (5/8"), con ángulo de corte de 39°, ángulo libre de 11° y el ángulo del diente de 50°; el suage o ancho del diente es de 3.17 mm (1/8"). El sistema de movimiento del carro para el corte de la trocería es de fricción. La desorilladora es de dos sierras circulares de 35.56 cm (14") para sanear y dimensionar a lo ancho las tablas, accionadas por un motor de 15 caballos (hp). Para el dimensionado y saneo en longitud de las tablas se utiliza una sierra de péndulo de 50.8 cm (20"), accionada por un motor de 7.5 hp (Figura 1 y Figura 2).



Figura 1. Aserradero de SEZARIC.

También se utilizó un flexómetro o cinta métrica para determinar las dimensiones de las trozas, en longitud y en diámetro y la longitud y la anchura de las tablas; crayones para marcar las trozas y las tablas, un vernier digital para medir el espesor de las tablas y una báscula para pesar las tablas, costeras y recortes.

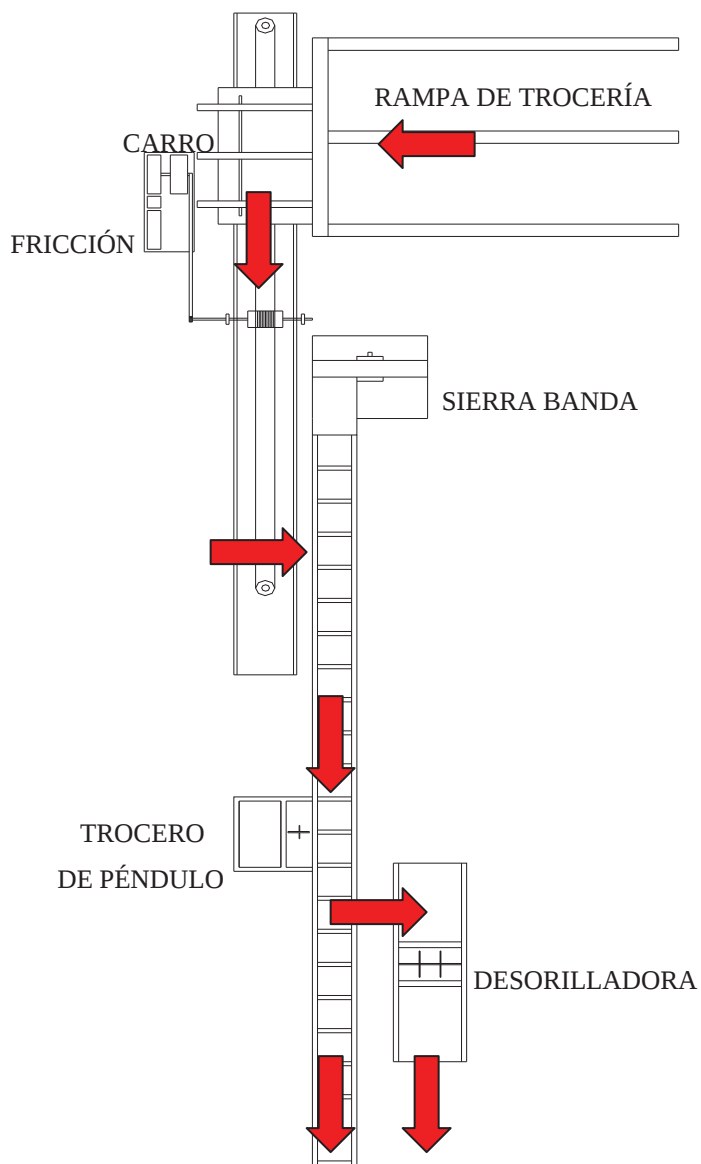


Figura 2. Diagrama de flujo del aserradero

4.1. Determinación del número de trozas (Tamaño de la muestra)

En este estudio se determino el tamaño de la muestra con base en la variación del volumen de una premuestra de 62 trozas, considerando un 95 % como limite de confiabilidad de la media, a través de la siguiente ecuación (Dobie, 1972, en Zavala *et al.*, 2000):

$$N = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

Donde:

N = tamaño de la muestra

t^2 = valor apropiado del estadístico t

S^2 = varianza de la población

E^2 = error permitido

4.2. Cubicación de las trozas

Aun cuando en la industria de la madera es común utilizar reglas de cubicación con equivalencias en pies tabla, predominando la regla Doyle, oficialmente estos sistemas no se reconocen, (DGN, 1988; Freese, 1974 en Zavala *et al.*, 2000). En este estudio el volumen de las trozas se determinó con la fórmula de Smalian, (Hallock *et al.*, 1979 en Zavala *et al.*, 2000).

$$V = \frac{(B+b)}{2} L$$

Donde:

V = volumen, m^3

B, b = áreas de la sección transversal de las trozas, m^2

L = longitud, m

Para determinar las superficies de las áreas transversales de las trozas se midieron dos diámetros en centímetros en cada extremo, sin considerar la corteza. La longitud también se midió al centímetro más próximo.

4.3. Clasificación de las trozas

Para este estudio, se utilizaron trozas de calidad 4 y 5. La clasificación de la trocería se llevo a cabo considerando los defectos permisibles en estas calidades, en base a la clasificación del norte del país (Corral, 1997), como se indica a continuación:

Calidad 4: Trozas con un máximo del 60% de mancha azul, máximo 8 nudos con diámetros menores de 38 mm (1 ½”), con un mínimo de 25% de albura.

Calidad 5: Trozas con un máximo de 80% de manchas, con 10 nudos como máximo con diámetros hasta de 76 mm (3”) y con un mínimo de 10% de albura.

4.4. Clasificación de la madera aserrada

La clasificación de la madera aserrada también se realizó de acuerdo a la clasificación del norte del país (Corral, 1997), considerando 4 calidades: Calidad 2 y M, calidad 3, calidad 4 y calidad 5.

Calidad 2 y M: Tablas y tablonés de primera y segunda calidad, uniformemente aserrados y libre de alabeos; presentan una cara limpia y pequeños defectos en la otra, la cual admite un nudo firme no mayor a 19 mm de diámetro por cada 1.22 m de longitud; acepta hasta un 20% de manchas en la superficie, sin partes pútridas ni bolsas de resina; sin rajaduras en las caras y en las cabezas que no excedan a 1 mm de ancho y 13 mm de longitud.

Calidad 3: Tablas y tablonés de tercera calidad, uniformemente aserrados y libres de alabeos; admiten un nudo firme con diámetro máximo de 38 mm, pequeñas manchas de resina y manchas azules tenues en la totalidad de la superficie; se aceptan rajaduras que no

excedan a 3 mm de ancho por 3 cm de longitud en las caras y en las cabezas de 4 mm de ancho por 20 cm de longitud; puede tener ligeras torceduras en sentido longitudinal y transversal.

Calidad 4: Tablas y tablones de cuarta calidad, con todo tipo de nudos firmes de diámetros menores a 38 mm, siempre que no excedan a uno en cada sección de 91 cm de longitud; admite manchas de resina hasta un 33% por cara y bolsas de 20 mm de ancho por 25 cm de longitud como máximo; acepta manchas de cualquier intensidad y tamaño así como rajaduras de 3 mm de ancho por 3 mm de profundidad por 20 cm de longitud en las caras y en las cabezas de 5 mm de ancho por 20 cm de longitud; hilo encontrado y torceduras hasta de 25 mm en sentido longitudinal y 12 mm en sentido transversal por cada 2.44 m de longitud.

Calidad 5: Tablas y tablones de quinta calidad, admiten todo tipo de nudos con diámetros menores a 38 mm en cada sección de 61 cm de longitud; acepta manchas de cualquier tamaño, manchas de resina hasta un 80% por cara y bolsas de resina de 30 mm de ancho por 50 cm de longitud como máximo; admite rajaduras con un máximo de 9 mm de ancho por 9 mm de profundidad por 60 cm de longitud, hilo encontrado y torceduras hasta de 38 mm en sentido longitudinal y 19 mm en sentido transversal por cada 2.44 m de longitud.

4.5. Coeficiente de aserrío

El aserrío se realizó procesando en forma alternada una troza muestreada con dos del inventario normal, con la finalidad de no interrumpir el proceso de producción. El coeficiente de aprovechamiento de las trozas procesadas se determinó por la relación madera aserrada/volumen de las trozas, en unidades métricas y expresada en porcentaje; considerando el volumen de madera aserrada en dimensiones nominales, dividido entre el volumen real de las trozas (coeficiente de aprovechamiento nominal) y el coeficiente de aserrío real que se determinará de la relación del volumen real de madera aserrada y el volumen real de las trozas.

Las dimensiones nominales de los diferentes tipos de madera aserrada para la alternativa de tablas fueron:

Espesor: $\frac{3}{4}$ " y $\frac{7}{8}$ ".

Ancho: $3\frac{3}{4}$ ", 4", $5\frac{1}{2}$ ", 6", 8", 10" y 12"

Longitud: 3', 4', 6', 7' y 8'.

Para la alternativa de tablas y cuartones las dimensiones fueron:

Para las tablas: se obtuvieron en las mismas dimensiones que en la alternativa anterior.

Para los cuartones las piezas que se indican a continuación:

Los cuartones son piezas que generalmente tienen un espesor de $3\frac{1}{2}$ ", el ancho depende del diámetro de la troza, y la longitud es de 8' (Figura 3). Estas piezas se procesan en una sierra tabletera y se obtienen polines, barrotes y tiras de las siguientes dimensiones:

Barrote de $1\frac{1}{4}$ " x $3\frac{1}{2}$ " x 8', polín de 3" x 3" x 8' y $3\frac{1}{4}$ " x $3\frac{1}{4}$ " x 8' y tiras de $1\frac{3}{4}$ " x 3" x 8' y $\frac{3}{4}$ " x $2\frac{3}{4}$ " x 8' (Figura 4).



Figura 3. Cuartones.



Figura 4. Piezas obtenidas de los cuarterones (Polines y barrotes).

4.6. Proporción de subproductos

En los estudios de coeficiente de aserrío, generalmente se cuantifica el volumen de madera, pero no se consideran los subproductos generados, los cuales en la actualidad están adquiriendo más importancia, sobre todo las costeras y recortes para la generación de astillas para la industria de los tableros aglomerados o de la celulosa. La proporción de costeras y de aserrín se determinó por la relación peso-volumen a través de los productos generados de la muestra de trozas procesadas, pesando las costeras y recortes, y relacionando su valor con el peso de las tablas de dimensiones conocidas para determinar el volumen de las costeras. El volumen de aserrín se determinó por la diferencia entre el volumen real de la madera aserrada y de las costeras (Zavala, 1981).

4.7. Efecto de la calidad de las trozas en el coeficiente de aserrío

Para analizar el efecto de la calidad de la trocería en el coeficiente de aprovechamiento, se agruparon las trozas por clases integradas por 4 y 5, relacionando su volumen con sus respectivos volúmenes de madera generada de cada grupo de trozas.

4.8. Refuerzos de la madera aserrada

Para determinar los refuerzos de la madera aserrada, se compararon las dimensiones reales con las nominales de las tablas provenientes de las trozas. Para calcular los volúmenes reales de cada tabla, se utilizó el espesor y el ancho promedios con aproximación al milímetro y la longitud con aproximación al centímetro. Posteriormente se comparó el refuerzo calculado con el refuerzo oficial o comercial, y por la diferencia entre ambos, la pérdida de madera por efecto de una sobredimensión en espesor de las tablas producidas.

4.9. Determinación de la variación del proceso de aserrío

Para determinar la variación del corte en el aserrío se seleccionaron al azar 100 tablas en subgrupos de 5 tablas, de las que se produjeron en la forma normal de trabajo de las dimensiones mas frecuentemente producidas, especialmente en espesor. Se encontró que el espesor mas común en este aserradero correspondió a las tablas de $\frac{7}{8}$ ", puesto que representaron el 93% del volumen nominal aserrado para la alternativa de tablas en las dos calidades de trocería. La secuencia del muestreo de las 100 tablas se distribuyo a intervalos de 1 hora de trabajo, desde el inicio del turno hasta completar las 100 tablas, considerando una submuestra de 10 a 20 tablas en cada intervalo especificado.

Se tuvo cuidado de marcar el sentido en el que fueron procesadas las tablas en la sierra principal, para que al momento de tomar las mediciones del espesor en ambos cantos de la tabla y a lo largo de la misma, sean coincidentes las medidas de todas las tablas que integran la muestra. Conservar el mismo sentido y orden de las mediciones es importante porque permite determinar el origen de posibles fallas de corte en el aserradero.

Para este estudio se utilizó el método de puntos múltiples ya que permite determinar la variación en espesor con mayor precisión y detectar el origen de las fallas y sus posibles correcciones. En este caso se recomienda tomar un mínimo de 6 mediciones, 3 en cada canto de la tabla y en forma equidistante a lo largo de la misma, la primera medición debe

hacerse a 30 cm (12”) de los extremos de las tablas, evitando que se tomen en puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defectos que no sean originados por efecto del corte (Figuras 5 y 6).

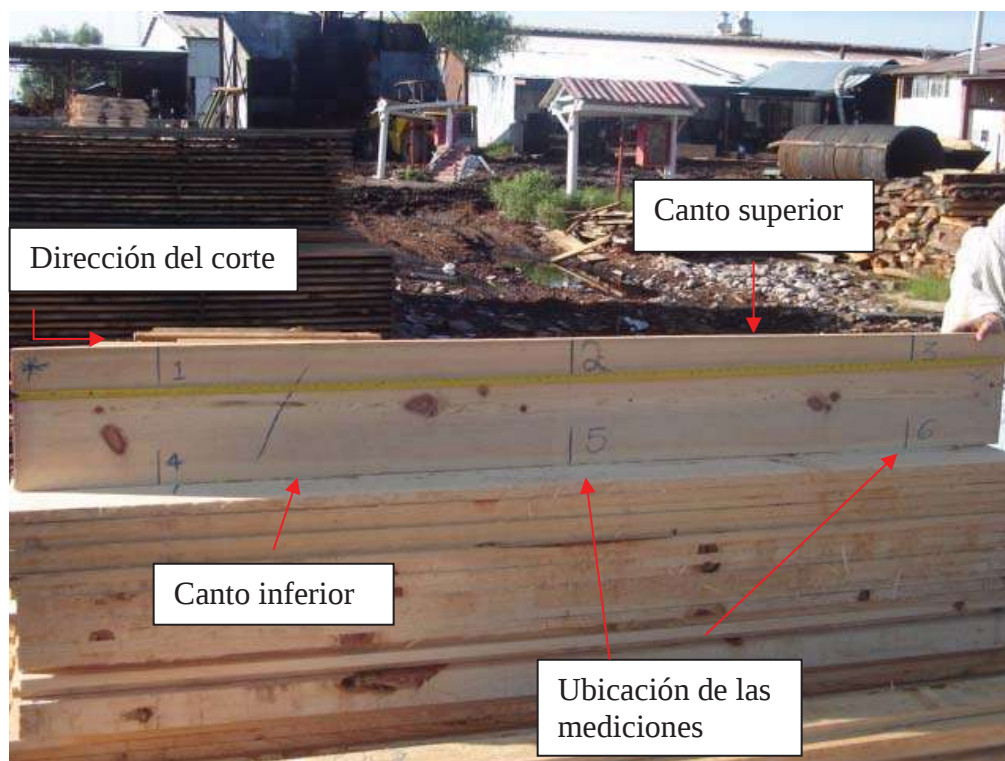


Figura 5. Toma de mediciones en espesor y su ubicación a lo largo de la tabla.



Figura 6. Medición en uno de los 6 puntos de la tabla.

La variación del corte en el aserrío se determinó a través de la desviación estándar total del proceso (St), la cual esta integrada por la variación en espesor o anchura a lo largo de las tablas denominada “desviación estándar dentro de las tablas (Sw)”, un indicador de la forma como esta cortando la sierra y por la variación que ocurre de una tabla a otra denominada “desviación estándar entre tablas (Sb)”, un indicador de qué tan bien están los engranajes de las escuadras y la alineación de las guías del carro . Para este fin se utilizó la siguiente fórmula (Zavala, 1981):

$$St = \sqrt{(Sw)^2 + (Sb)^2}$$

$$Sw = \frac{\overline{Rw}}{d_2}$$

$$Sb = \sqrt{\left(\frac{\overline{Rb^2}}{d_2} \right) - \left(\frac{Sw^2}{n_2} \right)}$$

Donde:

Rw = rango de la variación dentro de las tablas

Rb = rango de la variación entre tablas

d_2 = factor de tamaño del subgrupo que convierte el rango en desviación estándar

Para determinar las variables de la fórmula se efectuaron los siguientes cálculos:

En cada tabla, se determinó el rango de las medidas dentro de las tablas (Rw), a través del espesor más grande de la tabla menos el espesor más pequeño de las seis mediciones, y el promedio en espesor de las tablas ($\bar{X}$), a través del promedio de las seis mediciones.

El rango entre tablas (Rb), fue calculado en cada punto medido (1, 2, 3, 4, 5 y 6) entre las 5 tablas del subgrupo, restando el espesor más pequeño al espesor más grande de los correspondientes puntos medidos.

El rango promedio de las medidas dentro de las tablas ($\bar{R}w$) y el espesor promedio ($\bar{X}$) para el subgrupo fue determinado por el promedio de los 5 rangos correspondientes y promedios de las tablas en cada subgrupo.

El rango promedio entre tablas ($\bar{R}b$) fue calculado por el promedio de las mediciones en los 6 puntos de las cinco tablas en cada subgrupo.

El rango total promedio dentro de las tablas ($\overline{\bar{R}w}$) para las 100 tablas fue calculado por el rango promedio dentro de las tablas ($\bar{R}w$) de cada uno de los 20 subgrupos.

El rango total promedio entre las tablas ($\overline{\bar{R}b}$) para las 100 tablas fue calculado promediando los 20 rangos entre promedios ($\bar{R}b$) de cada subgrupo.

El espesor total promedio ($\overline{\bar{X}}$) para las 100 tablas se determinó promediando los 20 espesores promedio ($\bar{X}$) de cada subgrupo.

4.10. Determinación de la dimensión óptima de corte

Para determinar la dimensión óptima de corte a la que debe aserrarse la madera, a la dimensión nominal se le debe agregar una serie de refuerzos para poder obtener una dimensión final especificada. Estos refuerzos representan el volumen que se pierde por el secado de las especies que se estén procesando, el volumen que se remueve durante el cepillado y el volumen que se pierde por efecto de la variación en espesor de las tablas debido al corte al momento de aserrar la trocería. Los dos primeros factores se pueden considerar como constantes e independientes del proceso de aserrío, en tanto que la variación del aserrío cambia de un aserradero a otro como un efecto de las características y condiciones del equipo y de la habilidad de los operarios.

Cualquier espesor o anchura que exceda la cantidad de madera requerida para obtener una superficie tersa, representa un volumen que se pierde injustificadamente (Figura 7).

La dimensión óptima de la madera verde áspera se determinó a través de la siguiente fórmula (Zavala, 1991):

$$DO = \frac{(DF + RC)}{1 - \%C} + (Z \times St)$$

Donde:

DO = dimensión óptima de la madera verde áspera

DF = dimensión final

RC = refuerzo por cepillado (en ambos lados de la tabla)

$\%C$ = refuerzo por contracciones (de verde al C.H. final)

Z = factor de dimensión mínima aceptable

St = desviación estándar del proceso

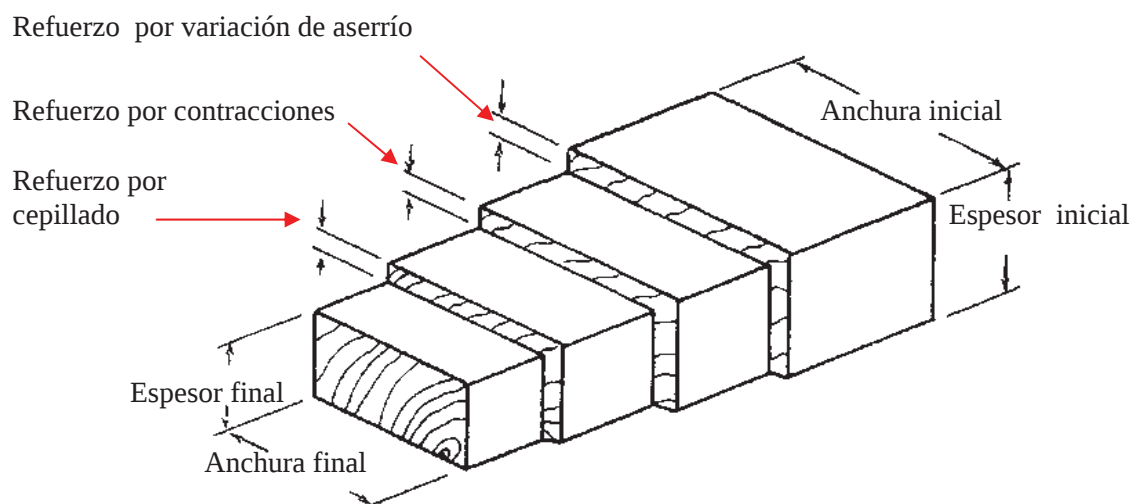


Figura 7. Dimensiones de la madera aserrada y su interrelación con distintos tipos de refuerzos. (Zavala, 1991).

La dimensión final (DF), es el espesor final que debe tener la madera, se asume que la dimensión nominal debe ser igual a la dimensión real. De este modo, para las tablas de $\frac{7}{8}$ " el espesor final cepillado debe ser 22.225 mm (0.875").

El refuerzo por cepillado (RC), representa el volumen total de madera que se elimina en ambas caras de la tabla a través de las cuchillas del cepillo. Para este efecto se consideran 1.27 mm (0.05") como el volumen mínimo de madera perdida durante el cepillado.

El refuerzo por contracciones ($\%C$), representa el volumen que se debe incluir en la dimensión verde áspera para compensar por las contracciones que se presentan cuando la madera se seca debajo de un 30% de C.H. Considerando que la madera se contrae mas en la dirección tangencial, para efectos de cálculo se utiliza este valor por ser el mas crítico. Para el presente estudio se utilizó el % de contracción tangencial del *Pinus leiophylla* (5.51%) por ser la especie que presenta el valor más alto entre las que se procesan en este aserradero y considerando que la madera se va a secar a un C.H. del 10%.

El factor de dimensión mínima aceptable (Z), es un valor estadístico que especifica el número de tablas cepilladas que se producirán con dimensiones inferiores a la requerida. La norma mexicana de clasificación de madera no especifica ningún porcentaje de piezas permitidas con dimensiones inferiores para una determinada dimensión en espesor nominal, en la práctica se considera que se acepta hasta un 5% de tablas con dimensiones inferiores a la categoría establecida. Bajo esta consideración se utilizará el valor de Z correspondiente al 5% (1.65).

Como ya se indicó en el tema anterior la variación del corte en el aserrío se determina a través de la desviación estándar del proceso (St).

4.11. Gráficas de control de calidad

La variación en dimensiones de la madera aserrada en distintos intervalos de tiempo, se determinó a través de las 100 tablas utilizadas en los análisis anteriores y se dividieron en 20 subgrupos de 5 tablas para determinar las siguientes gráficas:

Gráfica del Rango o Amplitud ($\bar{R}$)

Esta gráfica, muestra la variación de la amplitud de la dimensión de la madera. Se caracteriza por tener una línea central y límites de control superior e inferior. La línea central representa el promedio de las variaciones de las amplitudes de todas las tablas que integran la muestra. Los límites de control superior e inferior, representan los valores óptimos aceptables de variación de la dimensión. Las observaciones que caen fuera de estos límites son indicadores de fallas o anomalías del proceso de aserrío, las cuales deben corregirse para eliminar esta variación.

La gráfica del rango se desglosó en dos componentes, la que represente la variación entre tablas (Rb) y la que represente la variación dentro de tablas (Rw).

Gráfica de $\bar{R} b$

Para determinar los límites de control de la gráfica de $\bar{R} b$, se calcula el rango o amplitud entre cada grupo de tablas, para que del promedio de los rangos de los grupos se determine el $\bar{R} b$. La fórmula para la gráfica $\bar{R} b$ es la siguiente (Zavala, 1991):

$$L.C.S. = D4 \bar{R} b$$

$$L.C.I. = D3 \bar{R} b$$

Donde:

$L.C.S.$ = límite de control superior

$L.C.I.$ = límite de control inferior

$D4$ y $D3$ = factores para determinar los límites de control del rango o amplitud para subgrupos de “n” mediciones por tablas

$\bar{R} b$ = rango total promedio entre las tablas

Gráfica de $\bar{R} w$

Para determinar los límites de control de la gráfica $\bar{R} w$, se calcula el rango dentro de cada tabla de las que integran los subgrupos (5 tablas); posteriormente se deriva el rango promedio de las tablas que integran al subgrupo, y finalmente el $\bar{R} w$ de todos los grupos. La fórmula correspondiente para esta gráfica es (Zavala, 1991):

$$L.C.S. = D4 \bar{R} w$$

$$L.C.I. = D3 \bar{R} w$$

Donde:

$\bar{R} w$ = rango total promedio dentro de las tablas

Gráfica de $\bar{\bar{X}}$

Esta gráfica muestra la variación de los promedios de la dimensión de la muestra. Al igual que la gráfica del rango o amplitud, se caracteriza por tener una línea central y límites de control superior e inferior. El valor de $\bar{\bar{X}}$ representa el promedio en espesor de las tablas muestreadas (100 tablas). La fórmula para la gráfica $\bar{\bar{X}}$ es la siguiente (Zavala, 1991):

$$L.C.S. = \bar{\bar{X}} + A2 \bar{R} b$$

$$L.C.I. = \bar{\bar{X}} - A2 \bar{R} b$$

Donde:

$\bar{\bar{X}}$ = media total de la muestra

$A2$ = factor para determinar los límites de control de $\bar{X}$, considerando el número de observaciones que integran cada grupo (5)

$\bar{R} b$ = rango total promedio entre las tablas

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Tamaño de muestra

Tradicionalmente, para estudios oficiales de coeficientes de aserrío, se utiliza una muestra de 100 trozas al azar, con base en los lineamientos establecidos por la Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF) en la década de los 70's (SFF, 1978). Con la finalidad de determinar estadísticamente el tamaño de muestra para lograr un 95% de confiabilidad con base en la variación del volumen de la trocería, se tomó una premuestra de 62 trozas al azar.

Del análisis de la premuestra de estas trozas, se determinó la varianza del volumen que resultó de $S^2 = 0.00842308$, el valor estadístico t para las 62 trozas es de 2, el volumen promedio de las trozas fue de 0.3297 y el error permitido E de la media del volumen de las trozas de la premuestra fue de 0.016485. Sustituyendo estos valores en la fórmula correspondiente se determinó un tamaño de muestra N de 124 trozas. Este número de trozas es similar al utilizado en otros trabajos (Zavala, 1981 y García, *et al*, 2001) y mayor al establecido por la SFF (1978) de 100 trozas. Las características de las trozas utilizadas para determinar el tamaño de muestra se indican en el Anexo 1.

$$N = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

$$N = \frac{(2)^2 (0.00842308)}{(0.016485)^2}$$

$$N = 124$$

Del análisis de la premuestra se determinó que la categoría diamétrica mas frecuente correspondió al rango 35-40 con 30.65%. El 96.77% de las trozas se ubicaron en un rango de 30-50. Para las categorías diamétricas de 25-30 y 50-55 se generó un porcentaje de 1.61% para cada uno de los rangos (Figura 8).

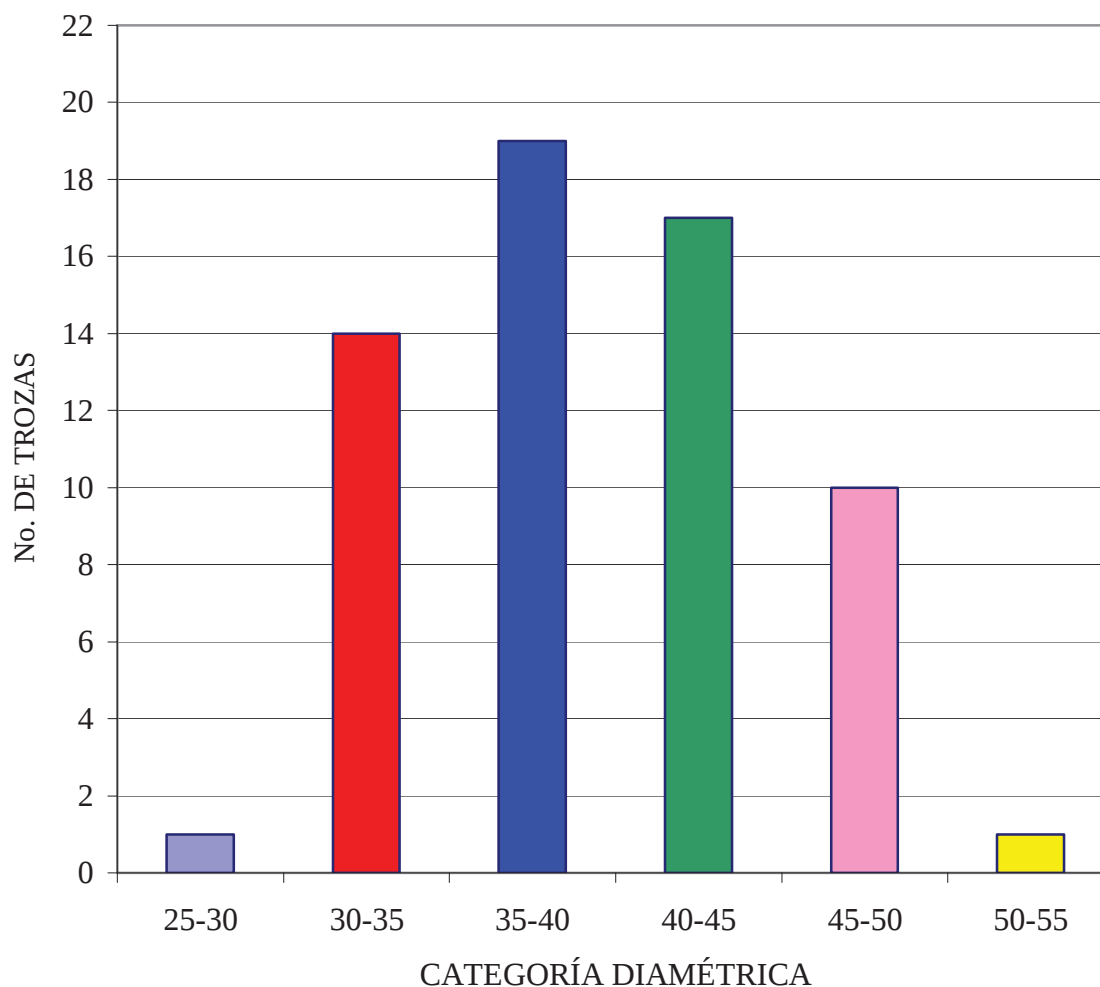


Figura 8. Distribución de las trozas por categoría diamétrica.

Con la finalidad de integrar en el estudio todas las categorías diamétricas y evitar ser repetitivo en la frecuencia de 35-40 cm de diámetro, se optó por realizar un muestreo dirigido que abarcará las categorías diamétricas menos frecuentes y agrupadas de 5 en 5 cm.

El número de trozas utilizadas para determinar los coeficientes de aserrío fue de 120 considerando: 6 categorías diamétricas, dos alternativas de productos generados y dos calidades de trocería (4 y 5) y para la determinación de la proporción de subproductos se utilizaron 12, lo que hace un total de 132 trozas estudiadas.

De las 120 trozas estudiadas para las dos alternativas de productos generados se utilizaron 5 trozas por cada categoría diamétrica (Cuadros 1 y 2). Los resultados de los cálculos para determinar el volumen por troza y clase diamétrica para ambas alternativas se integran en el Anexo 2.

Cuadro 1. Características de la trocería muestreada para el proceso de aserrío (Para la alternativa de producción de tablas).

CATEGORÍA DIAMÉTRICA	C A L I D A D D E L A S T R O Z A S			
	4		5	
	NO. DE TROZAS	VOL. m ³ r	NO. DE TROZAS	VOL. m ³ r
25-30	5	0.8619	5	0.8061
30-35	5	1.0938	5	1.0034
35-40	5	1.5384	5	1.3969
40-45	5	1.8935	5	1.8500
45-50	5	2.3112	5	2.4209
50-55	5	2.9340	5	2.8026

Cuadro 2. Características de la trocería muestreada para el proceso de aserrío (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

CATEGORÍA DIAMÉTRICA	C A L I D A D D E L A S T R O Z A S			
	4		5	
	NO. DE TROZAS	VOL. m ³ r	NO. DE TROZAS	VOL. m ³ r
25-30	5	0.7887	5	0.8501
30-35	5	1.0608	5	1.0493
35-40	5	1.4044	5	1.5123
40-45	5	1.9123	5	1.7975
45-50	5	2.3259	5	2.2645
50-55	5	2.8996	5	2.8172

5.2. Coeficiente de aserrío

Para determinar el coeficiente de aserrío se cuantificaron las piezas generadas de cada una de las trozas procesadas en el aserradero (Anexo 3). El coeficiente de aserrío se determinó en dos formas, considerando el volumen de madera aserrada en dimensiones nominales, dividido entre el volumen real de las trozas (coeficiente de aprovechamiento nominal) y el coeficiente de aserrío real que se determinó de la relación del volumen real de madera aserrada y el volumen real de las trozas, los cálculos para determinar ambos coeficientes de aserrío se encuentran en el Anexo 4. Los volúmenes nominales y reales de los diferentes tipos de piezas generadas por las trozas se indican en el Anexo 5.

5.2.1. Coeficiente de aserrío nominal y real para la alternativa de producción de tablas

Los resultados de los cálculos para determinar los coeficientes de aserrío se sintetizan en el Cuadro 3 y se representan gráficamente en la Figura 9.

Cuadro 3. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas).

CALIDAD DE LAS TROZAS	CAT. DIAM	VOL. m ³ r	N O M I N A L			R E A L		
			VOLUMEN ASERRADO EN m ³	C.A %	C.A GLOBAL %	VOLUMEN ASERRADO EN m ³	C.A %	C.A GLOBAL %
4	25-30	0.8619	0.4674	54.23	56.84	0.6077	70.51	73.30
	30-35	1.0938	0.5992	54.78		0.7801	71.32	
	35-40	1.5384	0.8552	55.59		1.1023	71.65	
	40-45	1.8935	1.0810	57.09		1.3925	73.54	
	45-50	2.3112	1.3552	58.64		1.7527	75.84	
	50-55	2.9340	1.6858	57.46		2.1586	73.57	
T O T A L		10.6328	6.0438			7.7939		
5	25-30	0.8061	0.4068	50.47	52.14	0.5285	65.56	67.33
	30-35	1.0034	0.5346	53.28		0.6946	69.22	
	35-40	1.3969	0.7173	51.35		0.9276	66.40	
	40-45	1.8500	0.9213	49.80		1.1929	64.48	
	45-50	2.4209	1.2913	53.34		1.6552	68.37	
	50-55	2.8026	1.4883	53.10		1.9226	68.60	
T O T A L		10.2799	5.3596			6.9214		

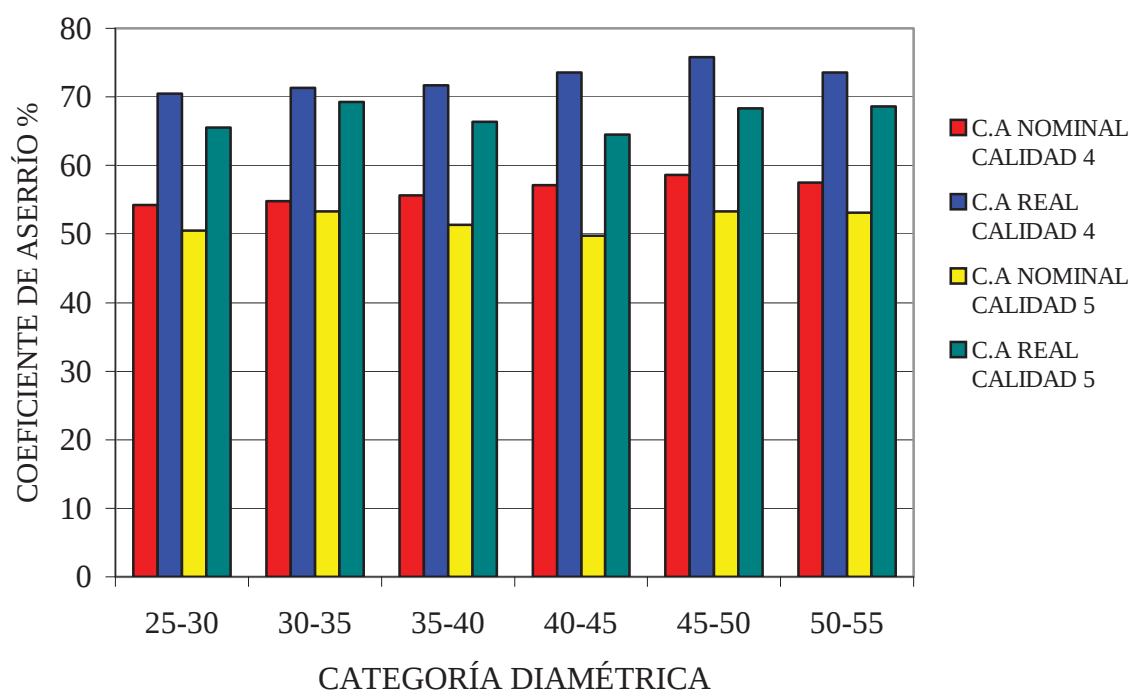


Figura 9. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas).

El coeficiente de aserrío presenta una tendencia ascendente, conforme aumenta la categoría diamétrica con excepción del rango 50-55, en el cual disminuyó con respecto al rango 45-50 para las trozas de calidad 4. Para la trocería de calidad 5 no se observa la misma tendencia, puesto que el coeficiente de aserrío tiene un comportamiento irregular respecto a la clase diamétrica, debido a la mala conformación que presentó la trocería de esta clase (Figura 9).

Con relación a la calidad de las trozas con el coeficiente de aserrío, se observa que ésta influyó, puesto que para la misma categoría diamétrica se presentaron valores mas elevados para ambos coeficientes de aserrío en las trozas de calidad 4 respecto a la clase 5 de la trocería (Figura 9).

5.2.2. Coeficiente de aserrío nominal y real para la alternativa de producción de tablas y cuartones

De igual forma que en la alternativa de producción de tablas los resultados de los cálculos para determinar los coeficientes de aserrío para tablas y cuartones se sintetizan en el Cuadro 4 y se representan gráficamente en la Figura 10.

Cuadro 4. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

CALIDAD DE LAS TROZAS	CAT. DIAM	VOL. m ³ r	N O M I N A L			R E A L		
			VOLUMEN ASERRADO EN m ³	C.A %	C.A GLOBAL %	VOLUMEN ASERRADO EN m ³	C.A %	C.A GLOBAL %
4	25-30	0.7887	0.4480	56.80	55.36	0.5429	68.83	68.74
	30-35	1.0608	0.6141	57.89		0.7557	71.24	
	35-40	1.4044	0.8079	57.53		1.0016	71.32	
	40-45	1.9123	1.0175	53.21		1.2730	66.57	
	45-50	2.3259	1.2522	53.84		1.5577	66.97	
	50-55	2.8996	1.6132	55.64		2.0119	69.39	
T O T A L		10.3917	5.7529			7.1428		
5	25-30	0.8501	0.4700	55.29	54.65	0.5507	64.78	65.61
	30-35	1.0493	0.6040	57.56		0.7209	68.70	
	35-40	1.5123	0.7973	52.72		0.9674	63.97	
	40-45	1.7975	1.0168	56.57		1.2293	68.39	
	45-50	2.2645	1.1920	52.64		1.4481	63.95	
	50-55	2.8172	1.5434	54.78		1.8355	65.15	
T O T A L		10.2909	5.6235			6.7519		

Para esta alternativa de productos generados, el coeficiente de aserrío no presenta una tendencia definida respecto a las categorías diamétricas, puesto que hay incrementos y decrementos indistintamente del rango del diámetro, se observa el mismo comportamiento para las dos calidades de trocería (Figura 10).

En cuanto a la calidad de las trozas con el coeficiente de aserrío, se observa que ésta en general influyó en los resultados generados, con excepción del rango 40-45 en el cual los valores resultaron más altos para las trozas con calidad 5. Además, la diferencia entre los coeficientes de aserrío de ambas calidades, no resultó ser tan significativa como en la alternativa de productos generados para tablas (Figura 10).

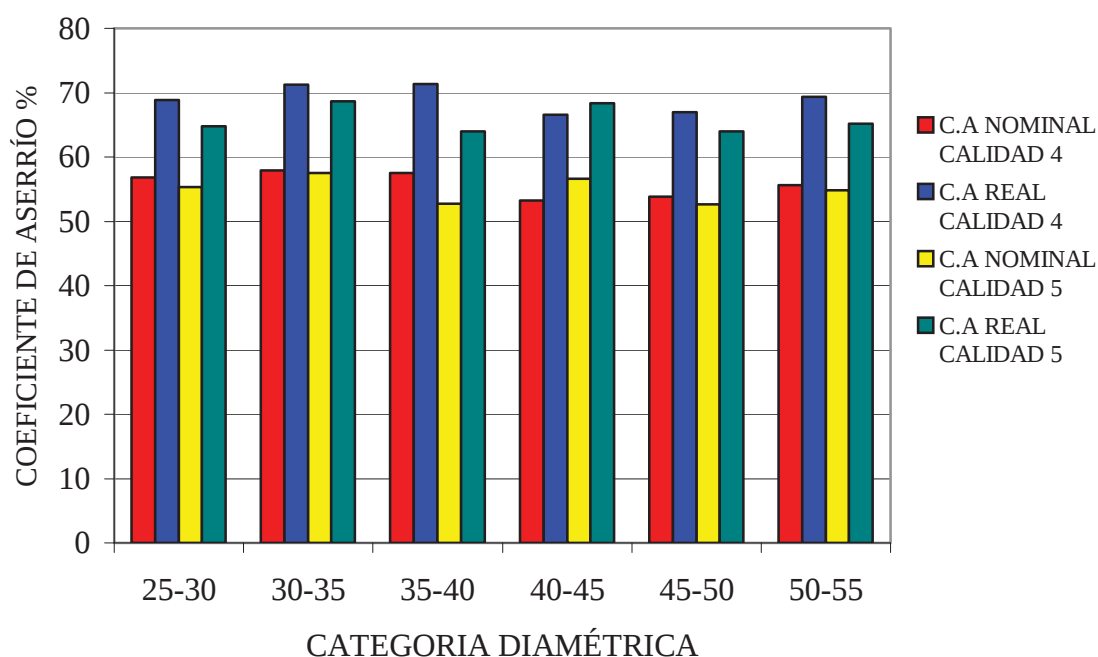


Figura 10. Coeficiente de aserrío nominal y real (Para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

5.2.3. Coeficientes de aserrío globales (nominales y reales).

Respecto a los coeficientes de aserrío nominales globales para ambas alternativas de productos generados, resultaron muy semejantes con excepción de la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 5 con un CA de 52.14%. Para la alternativa de producción de tablas y cuartones con trozas de calidad 5 el CA fue de 54.65%, mientras que para la alternativa de producción de tablas y cuartones con trozas de calidad 4 el CA fue de 55.36% y el CA nominal más elevado se presentó en la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 4 con un CA de 56.84% (Cuadros 3 y 4)

Los valores de los coeficientes de aserrío reales globales presentaron diferencias mas significativas, el CA mas bajo se ubicó en la alternativa de producción de tablas y cuartones con trozas de calidad 5 con 65.61%. Para la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 5 el CA fue de 67.33%. En la alternativa para generar tablas y cuartones con

trozas de calidad 4 el CA fue de 68.74% y el CA mas elevado se presentó en la alternativa para generar tablas con trozas de calidad 4 con 73.30% (Cuadros 3 y 4).

En la alternativa para generar únicamente tablas de las trozas procesadas, los coeficientes de aserrío reales globales fueron más altos para las dos calidades de la trocería que se incluyeron en el presente trabajo (Figura 11).

La calidad de la trocería influyó en el coeficiente de aserrío real global, puesto que para las dos alternativas de productos generados se presentaron valores más altos para las trozas con calidad 4 (Figura 7). Esta relación coincide con la de Kerbes y McIntosh, 1968, Pnevmaticos *et al.*, 1971 y Zavala, 1995, quienes establecen una relación entre la calidad de la trocería con el coeficiente de aserrío.

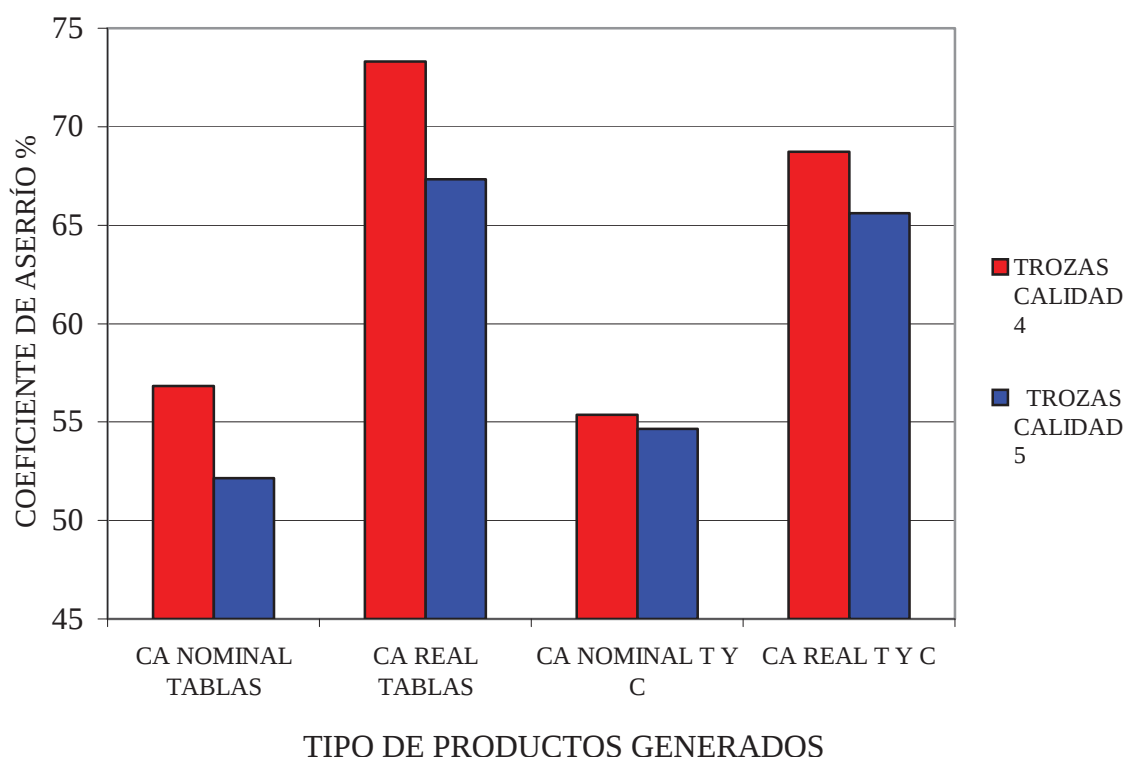


Figura 11. Coeficientes de aserrío globales (Nominales y reales).

El coeficiente de aserrío real promedio para las trozas de calidad 4, considerando ambas alternativas de productos generados es de 71.02% que corresponde a un coeficiente nominal promedio de 56.1%. De igual forma para las trozas de calidad 5 los valores son de 66.47% y 53.39% respectivamente.

El coeficiente de aserrío nominal global promedio para la alternativa de producción de tablas fue de 54.48% y el real de 70.31% considerando las dos calidades de trocería. Para alternativa de producción de tablas y cuartones el nominal es de 55% y el real de 67.17% (Figura 12).

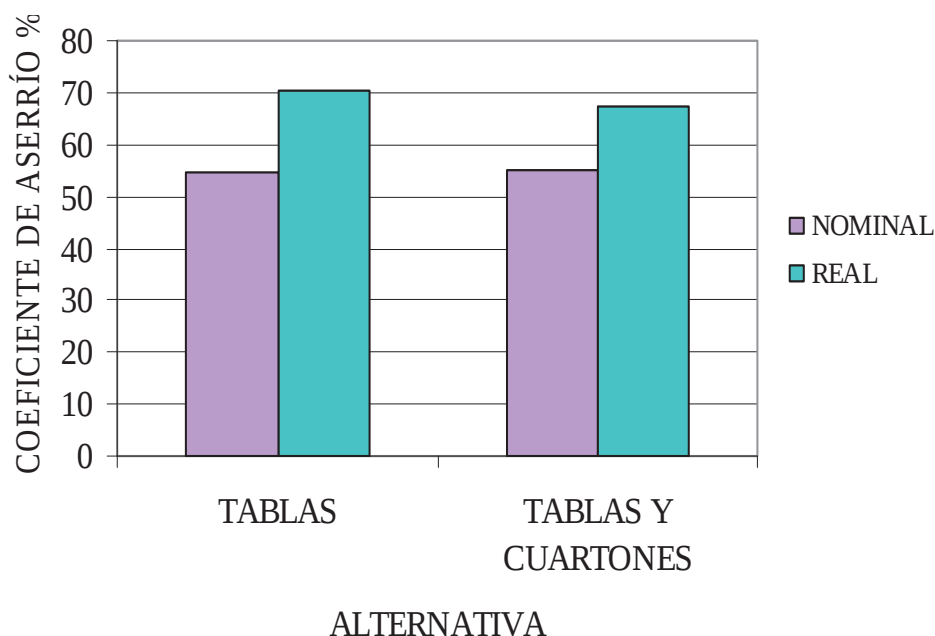


Figura 12. Coeficiente de aserrío global (Nominal y real) para las dos alternativas de productos generados.

El coeficiente de aserrío nominal y real considerando ambas alternativa de productos generados y ambas calidades es de 54.74% y 68.74% respectivamente (Figura 13). Este resultado es mayor que los reportados por Alvarado, 1970, Zavala *et al.*, 2000, García, *et al.*, 2001, Kilborn, 2002, Spelter, *et al.*, 2005 y similar al reportado por Williston, 1976 e inferior al reportado por Hallock, 1973.

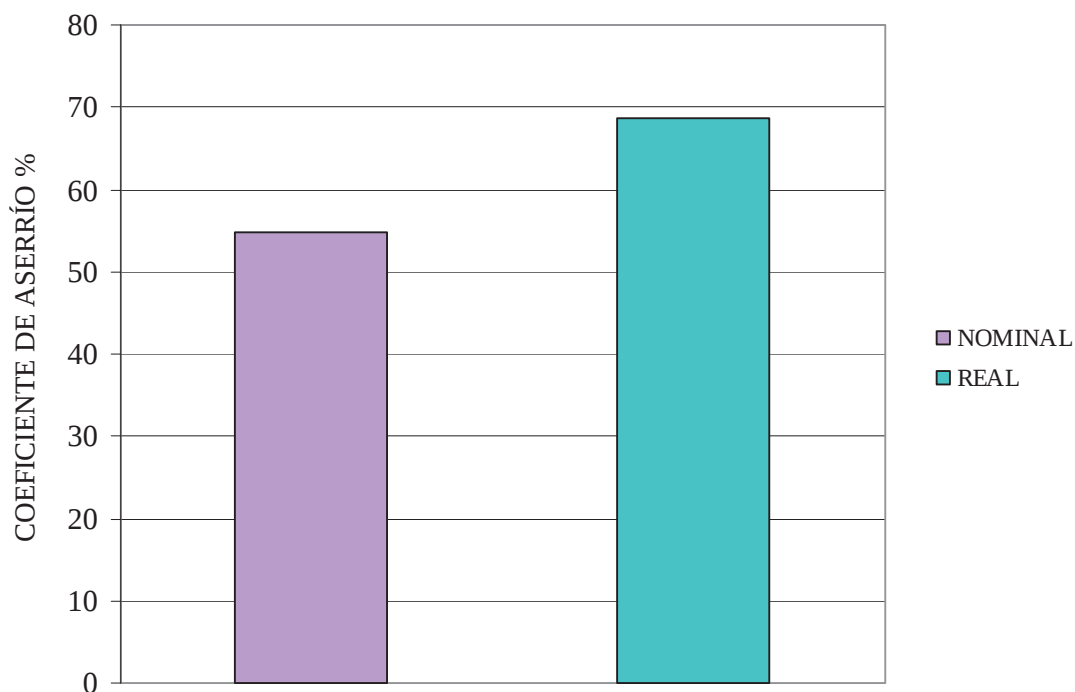


Figura 13. Coeficiente de aprovechamiento nominal y real considerando ambas alternativas de productos generados y ambas calidades.

En general el diámetro de las trozas no influyó en el coeficiente de aserrío, puesto que no se observa una tendencia definida por esta variable. Esta relación difiere con la tendencia determinada por Hallock, 1973, Williston 1976, Steele, 1984, Willits y Fahey, 1988, Wade *et al.*, 1992, Clark *et al.*, 1974, Phillips y Schoeder, 1975, quienes establecen un aumento en el coeficiente de aserrío con un incremento en el diámetro.

5.3. Calidad de la madera aserrada

Para determinar la proporción por calidades de la madera aserrada en cada categoría diamétrica, se registraron las calidades de cada una de las piezas generadas de cada troza procesada (Anexo 3). Los cálculos realizados para obtener las cantidades por clase diamétrica se indican en el Anexo 6.

5.3.1. Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas

Los resultados de los cálculos para determinar la proporción por calidades de la madera aserrada se sintetizan en el Cuadro 5.

Para las trozas de calidad 4 la categoría diamétrica en general influyó en la proporción por calidades de la madera aserrada, puesto que la madera aserrada de calidad 5 disminuyó a medida que la categoría diamétrica se elevó con excepción de los rangos 45-50 y 50-55 en los que se incrementó nuevamente (Figura 14).

Cuadro 5. Proporción de calidades de la madera aserrada por categoría diamétrica de las trozas procesadas para la alternativa de producción de tablas.

CALIDAD DE LAS TROZAS	CATEGORÍA DIAMETRICA	VOLUMEN ASERRADO EN m ³	CALIDAD DE LAS PIEZAS GENERADAS			
			2 y M	3	4	5
			%			
4	25-30	0.6077	0.76	7.57	11.17	80.50
	30-35	0.7801	0.70	9.91	26.52	62.87
	35-40	1.1023	3.17	15.41	24.62	56.80
	40-45	1.3925	16.82	15.31	13.30	54.56
	45-50	1.7527	7.83	16.42	16.47	59.28
	50-55	2.1586	8.62	5.83	10.78	74.77
5	25-30	0.5285	0.00	5.38	2.06	92.56
	30-35	0.6946	0.81	0.67	8.93	89.59
	35-40	0.9276	1.17	4.92	6.56	87.35
	40-45	1.1929	0.26	5.25	16.55	77.94
	45-50	1.6552	0.19	5.72	11.39	82.71
	50-55	1.9226	6.82	7.30	12.01	73.86

En la trocería de calidad 4 la proporción de madera aserrada de calidades 2 y M, 3 y 4 en general se incrementó conforme aumento la categoría diamétrica, aunque en los rangos 25-30 y 30-35 la proporción de madera aserrada de calidad 2 y M es casi nula con 0.76% y 0.70% respectivamente y en el rango 40-45 se ubicó la proporción más baja de calidad 5 (Cuadro 5 y Figura 14).

La madera aserrada de calidad 5 se presentó en mayor proporción en la categoría diamétrica 25-30, la calidad 4 se presentó en mayor proporción en el rango 30-35, en el

rango 45-50 se generó mayor proporción de calidad 3 y en el rango 40-45 se ubicó la proporción más elevada para la calidad 2 y M para las trozas de calidad 4 (Figura 14).

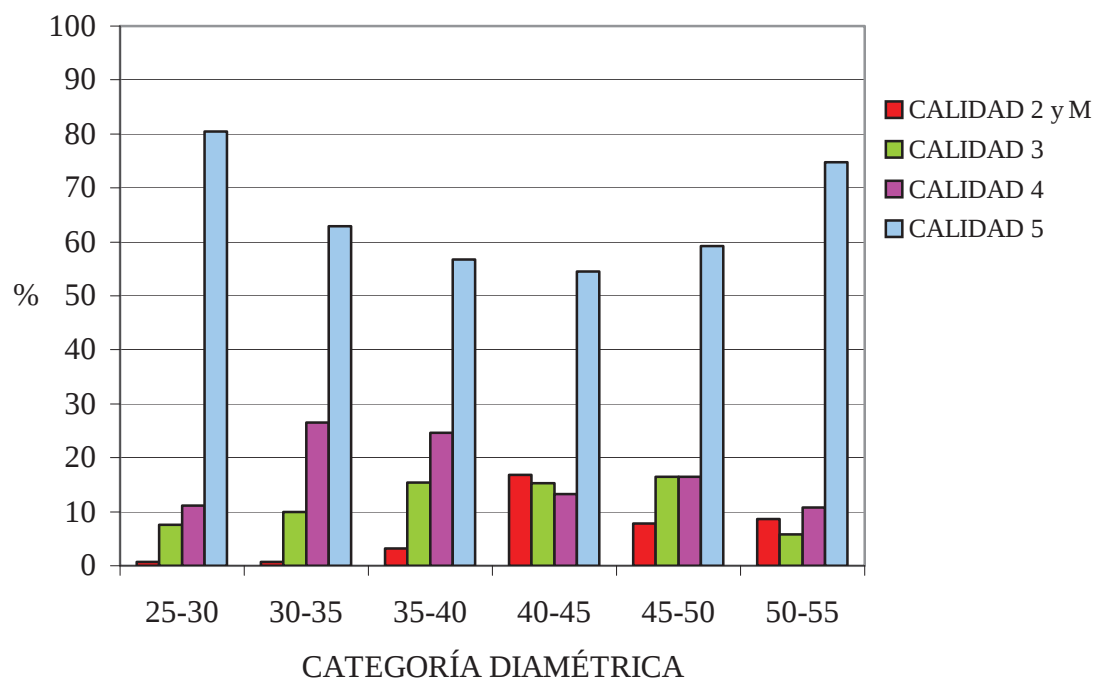


Figura 14. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 4.

En las trozas de calidad 5 se presentó el mismo efecto que en las trozas de calidad 4 respecto a la categoría diamétrica y la proporción de madera aserrada de calidad 5, con excepción del rango 45-50, en el cual la cantidad de madera aserrada de calidad 5 superó a la del rango 40-45 (Figura 15).

Al igual que en las trozas de calidad 4, la proporción de madera aserrada en las calidades 2 y M, 3 y 4 también se incremento con el aumento en la categoría diamétrica aunque no fue tan significativa como en las trozas de calidad 4, ya que en el rango 25-30 no se generó madera aserrada de calidad 2 y M y para los rangos 30-35, 35-40, 40-45 y 45-50 fue casi nula con los siguientes porcentajes 0.81%, 1.17%, 0.26% y 0.19% respectivamente (Cuadro 5 y Figura 15).

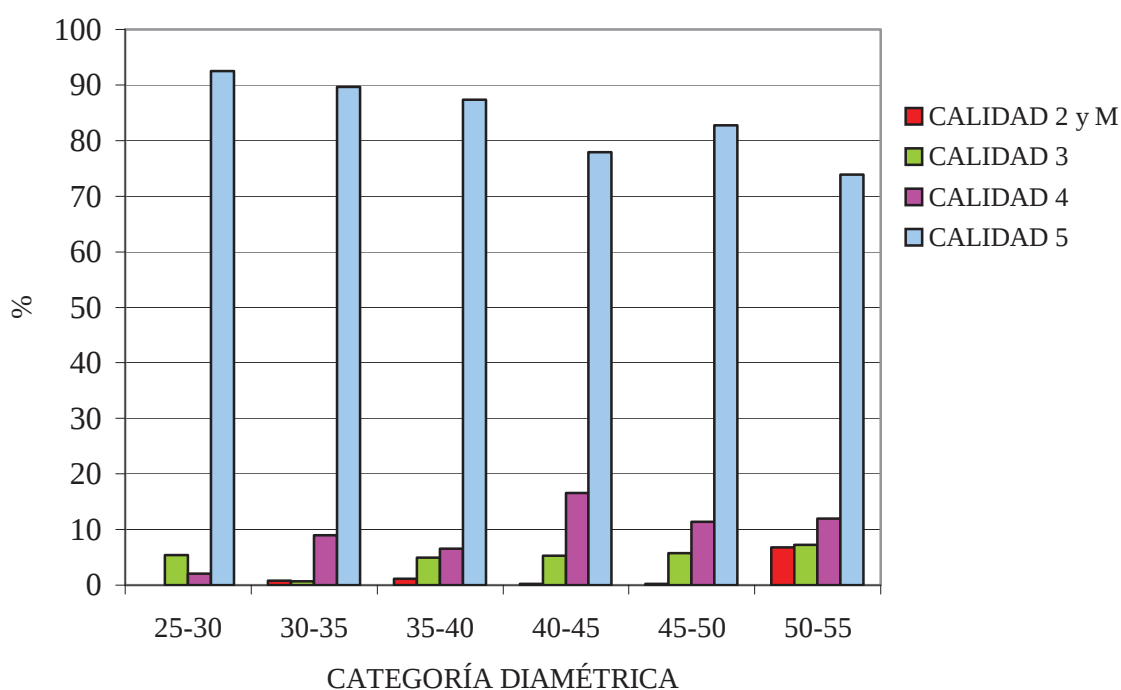


Figura 15. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 5.

Para las trozas de calidad 5, la categoría diamétrica 25-30, también fue la que generó mayor proporción de madera aserrada de calidad 5, la calidad 4 se presentó en mayor proporción en el rango diamétrico 40-45, y en el rango de 50-55, se generaron las proporciones más elevadas para la madera de las calidades 2 y M, y 3 (Figura 15).

5.3.2. Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas y cuartones

Los resultados de los cálculos para determinar la proporción por calidades de la madera aserrada para esta alternativa se sintetizan en el Cuadro 6.

Al igual que en la alternativa de producción de tablas con trozas de calidad 4, con el aumento en la categoría diamétrica la madera aserrada de calidad 5 disminuyó, con excepción del rango diamétrico 50-55 en el cual la proporción de madera aserrada de calidad 5 superó a la del rango 45-50, aunque para la alternativa de producción de tablas y

cuartones se observa una tendencia mejor definida que para la alternativa de tablas (Figura 16).

Cuadro 6. Proporción de calidades de la madera aserrada por categoría diamétrica de las trozas procesadas para la alternativa de producción de tablas y cuartones.

CALIDAD DE LAS TROZAS	CATEGORÍA DIAMETRICA	VOLUMEN ASERRADO EN m ³	CALIDAD DE LAS PIEZAS GENERADAS			
			2 y M	3	4	5
			%			
4	25-30	0.5429	2.70	2.58	9.38	85.34
	30-35	0.7557	0.74	4.81	18.05	76.39
	35-40	1.0016	1.08	9.74	15.28	73.89
	40-45	1.2730	3.72	10.11	13.74	72.44
	45-50	1.5577	12.99	13.86	19.20	53.94
	50-55	2.0119	7.42	7.97	21.59	63.02
5	25-30	0.5507	0.00	1.01	1.41	97.58
	30-35	0.7209	1.02	4.50	9.42	85.06
	35-40	0.9674	1.56	9.58	9.18	79.68
	40-45	1.2293	0.00	0.00	4.45	95.55
	45-50	1.4481	13.59	4.38	11.24	70.78
	50-55	1.8355	8.94	5.27	7.21	78.58

En el rango diamétrico de 45-50, de las trozas de calidad 4 se ubicaron las proporciones más elevadas de madera aserrada para las calidades 2 y M, y 3 con 12.99% y 13.86% respectivamente, la calidad 4 de productos aserrados se presentó en mayor proporción en el rango de 50-55 cm de diámetro con 21.59% y de igual forma que en la alternativa para tablas el rango diamétrico 25-30 generó la proporción mas elevada de madera aserrada de calidad 5 con 85.34% (Cuadro 6).

Las categorías diamétricas 40-45, 45-50 y 50-55 son las que generaron mayor proporción de madera aserrada en las calidades 2 y M y 3, para las dos alternativas de productos generados con trozas de calidad 4 (Figuras 14 y 16).

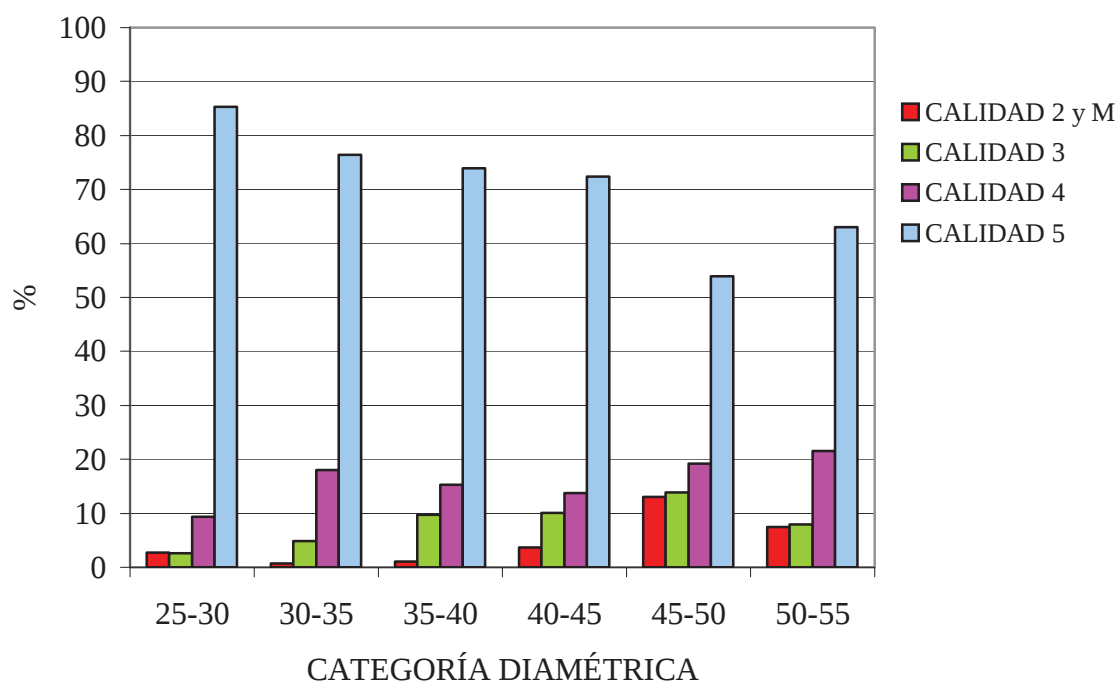


Figura 16. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas y cuarterones con trozas de calidad 4.

Respecto a la categoría diamétrica con la proporción de madera aserrada de calidad 5 se observa que disminuyó conforme se incrementó el diámetro hasta el rango 35-40, para el rango 40-45 se incrementó significativamente igualando casi la cantidad del rango 25-30, en el rango 45-50 disminuyó con relación al rango anterior y en el rango diamétrico de 50-55 se incrementó nuevamente para las trozas de calidad 5 (Figura 17).

En la trocería de calidad 5, la categoría diamétrica de 25-30 también generó el valor mas alto de madera aserrada de calidad 5 con 97.58%, la proporción mas alta de calidad 4 se ubicó en el rango 45-50 con 11.24%, en el rango diamétrico de 35-40 se presentó la proporción mas alta de calidad 3 con 9.58% y la calidad 2 se ubicó en mayor proporción en el rango 45-50 con 13.59% (Cuadro 6).

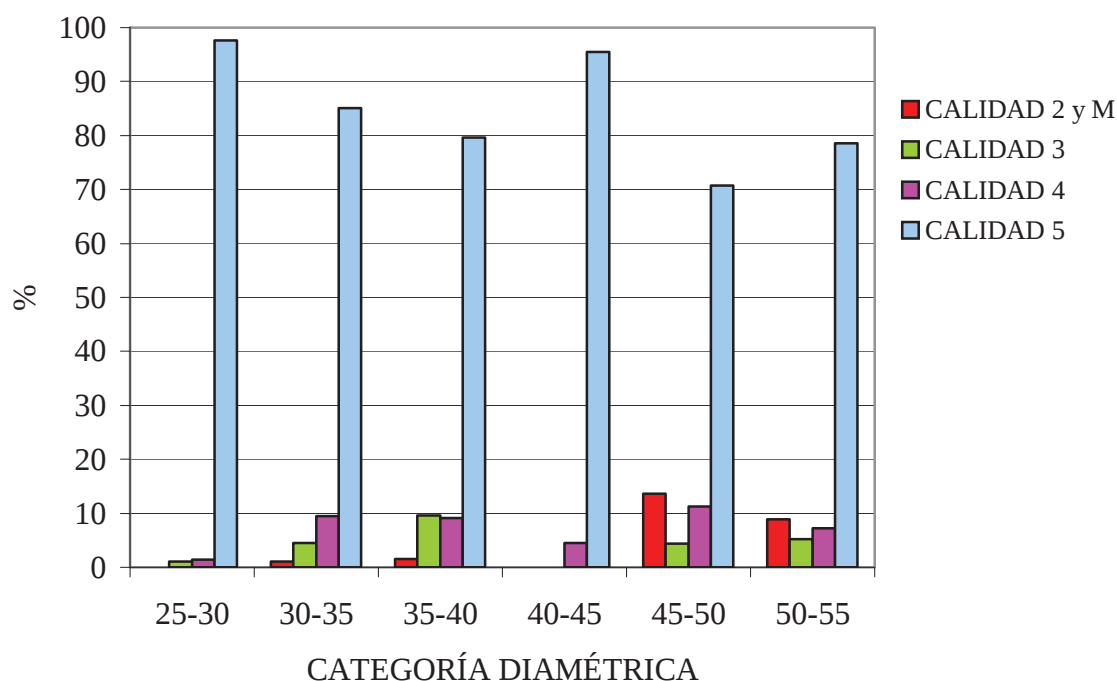


Figura 17. Proporción de calidades por categoría diamétrica para la alternativa de producción de tablas y cuarterones con trozas de calidad 5.

Para la alternativa de tablas y cuarterones la calidad 5 se presentó en menor proporción en el rango 45-50 con 70.78% y para la alternativa de tablas en el rango 50-55 con 73.86% en trozas de calidad 5 (Cuadro 6).

5.3.3. Proporción de calidad global

Los cálculos efectuados para determinar la proporción de calidad global para las dos alternativas de productos generados se integran en el Anexo 7 y los resultados se sintetizan en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas.

CALIDAD DE LAS TROZAS	VOL. DE MADERA ASERRADA m ³	% D E C A L I D A D			
		2 y M	3	4	5
4	7.7939	7.73	11.80	16.07	64.39
5	6.9215	2.22	5.44	10.84	81.49

La calidad de las trozas influyó en la proporción por calidades de la madera aserrada, puesto que las trozas de calidad 4 generaron mayor cantidad en las calidades de madera de 2 y M, 3 y 4, y las trozas de calidad 5 se generó un volumen mayor de calidad 5 (Figura 18).

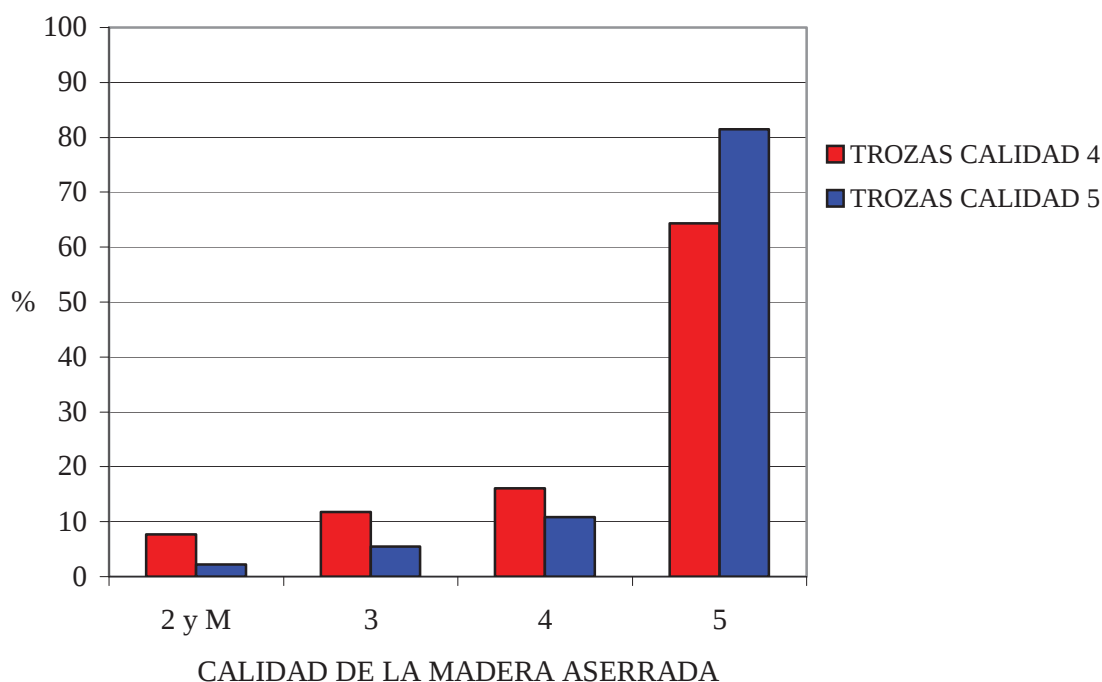


Figura 18. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas.

Para la alternativa de productos aserrados de tablas y cuartones se presentó el mismo comportamiento que para la alternativa de tablas respecto a la calidad de las trozas y la proporción por calidades de la madera aserrada, ya que las trozas de calidad 4 generaron mayor cantidad de madera aserrada en las calidades 2 y M, 3 y 4, y en las trozas de calidad 5 se generó un volumen mayor de madera aserrada de calidad 5, sin embargo en la calidad 2 y M se obtuvieron proporciones muy similares para las dos calidades de trocería (Figura 19).

Cuadro 8. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas y cuartones.

CALIDAD DE LAS TROZAS	VOL. DE MADERA ASERRADA m ³	% D E C A L I D A D			
		2 y M	3	4	5
4	7.1428	6.02	9.14	17.48	67.35
5	6.7519	5.68	4.31	7.62	82.40

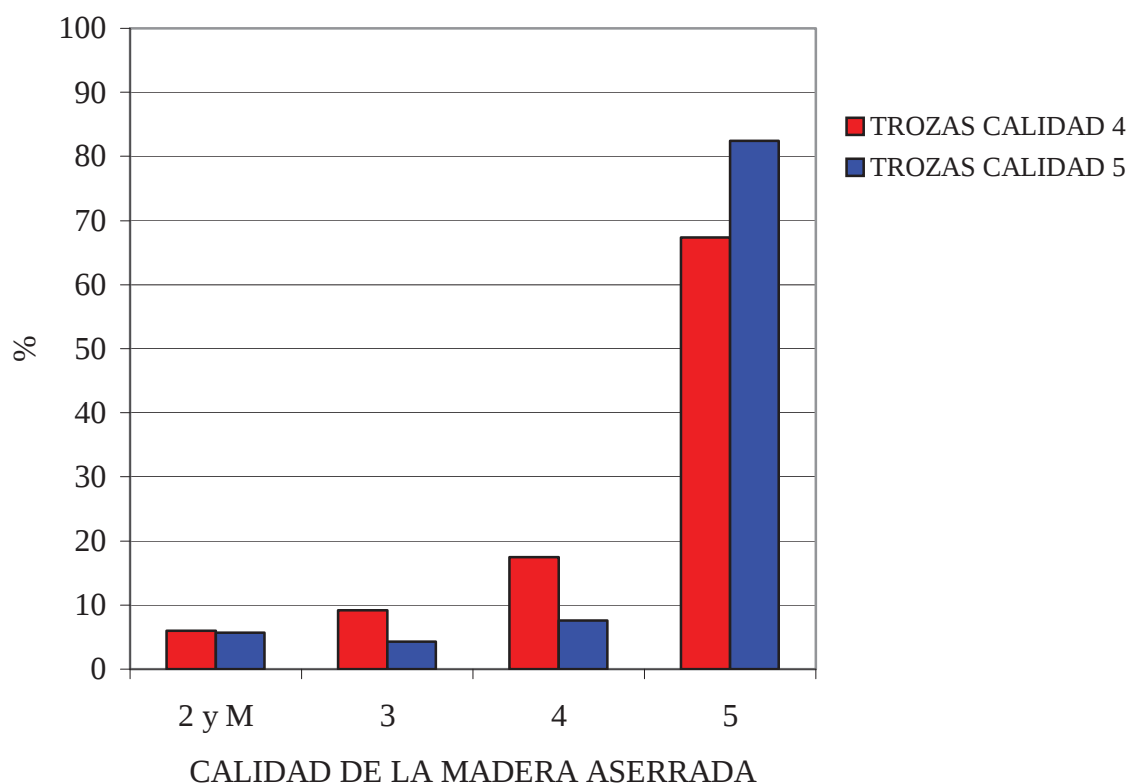


Figura 19. Proporción de calidad global para la alternativa de producción de tablas y cuartones.

Respecto a la trocería de calidad 4, la proporción por calidades de madera aserrada resultó muy similar para las dos alternativas de productos generados, puesto que los porcentajes fueron: 6.02% de calidad 2 y M, 9.14% de calidad 3, 17.48% y 67.35% para las calidades 4 y 5 respectivamente en la alternativa de producción de tablas y cuartones. Para la alternativa de producción de tablas se generó un 7.73% de calidad 2 y M, 11.80% de calidad 3, 16.07% y 64.39% para las calidades de la madera aserrada 4 y 5 respectivamente (Cuadros 7 y 8).

De igual forma en las trozas de calidad 5 la proporción en las calidades de la madera aserrada 3, 4 y 5 resultó también muy similar con excepción de la calidad 2 y M. La alternativa de producción de tablas generó los siguientes valores 2.22% de calidad 2 y M, 5.44% de 3ra, 10.84% de 4ta y 81.49% de 5ta. Para la alternativa de producción de tablas y cuartones se generó 5.68% de calidad 2 y M, 4.31% de 3ra, 7.62% y 82.40% para las calidades 4 y 5 respectivamente (Cuadros 7 y 8).

La proporción de calidad de madera aserrada generada de las trozas de calidad 4, promediando ambas alternativas de productos obtenidos, fue de 6.87% de calidad 2 y M, 10.47% de 3ra, 16.77% de 4ta y 65.87% de 5ta, mientras que las trozas de calidad 5 generaron 3.95% en 2 y M, 4.87% de 3ra, 9.23% de 4ta y 81.94% de 5ta (Figura 20).

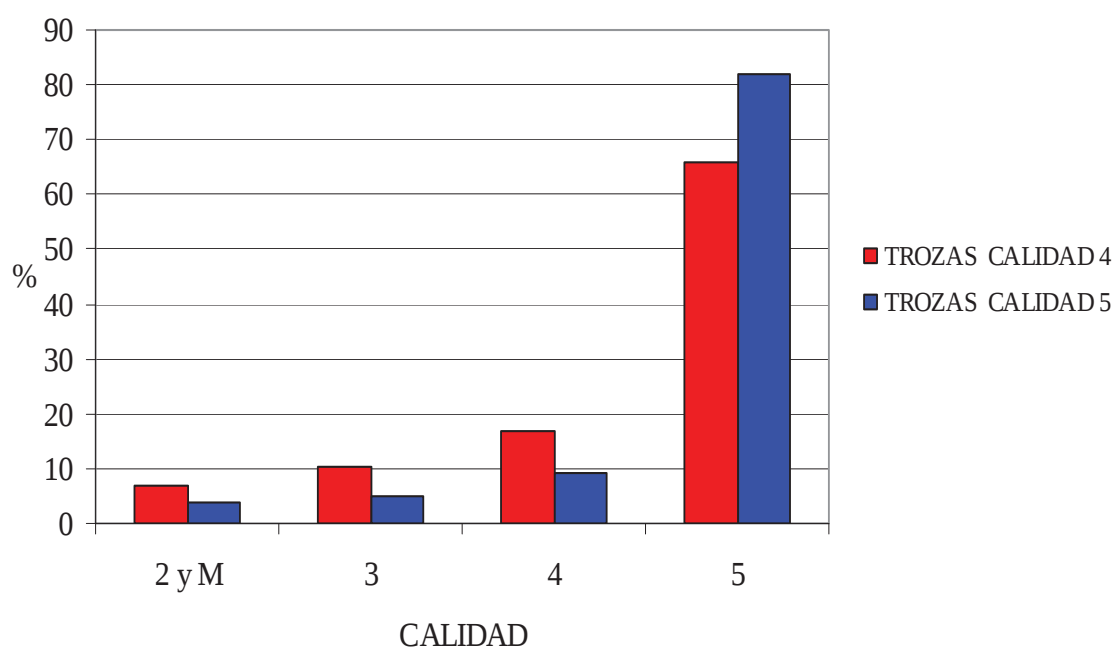


Figura 20. Proporción de calidad promediando ambas alternativas de productos generados y ambas calidades de trocería.

5.4. Proporción de subproductos

La proporción de subproductos se determinó de una muestra de 12 trozas, cuyas características y volumen se integran en el Anexo 8. Las piezas generadas de cada una de las 12 trozas procesadas se cuantificaron para determinar la proporción de madera aserrada (Anexo 9). El volumen de costeras y recortes se determinó por la siguiente ecuación (Méndez, 1996):

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

Donde:

V = volumen de costeras y recortes

P = peso de costeras y recortes

D = densidad promedio de la madera aserrada contigua a las costeras

También se determinó por la relación peso-volumen de la madera aserrada a través de la siguiente fórmula (Zavala, 1981):

$$\text{Volumen costeras} = \frac{(\text{Volumen tabla})(\text{Peso costeras})}{\text{Peso tabla}}$$

El volumen de aserrín se determinó por la diferencia entre el volumen real de la madera aserrada y de costeras, con el volumen de la troza. Los cálculos realizados para obtener la proporción de madera aserrada y de subproductos se integran en el Anexo 10 y se sintetizan en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Proporción de madera aserrada y de subproductos a través de la ecuación utilizada por Méndez, 1996.

No. DE TROZA	VOL DE LA TROZA m ³	VOL. DE MADERA ASERRADA m ³	VOL. DE COSTERAS EN m ³	VOL. DE ASERRÍN EN m ³
1	0.4941	0.3275	0.1043	0.0623
2	0.5952	0.3744	0.1392	0.0817
3	0.3528	0.2451	0.0676	0.0401
4	0.2085	0.1390	0.0530	0.0165
5	0.3077	0.2109	0.0545	0.0423
6	0.4235	0.3103	0.0640	0.0491
7	0.1980	0.1408	0.0408	0.0164
8	0.3721	0.2473	0.0467	0.0782
9	0.1558	0.1001	0.0401	0.0156
10	0.6005	0.4191	0.0859	0.0955
11	0.1458	0.0904	0.0293	0.0261
12	0.2659	0.1665	0.0718	0.0277
TOTAL	4.1199	2.7714	0.7971	0.5514
%	100	67.27	19.35	13.38

Cuadro 10. Proporción de madera aserrada y de subproductos a través de la ecuación utilizada por Zavala, 1981.

No. DE TROZA	VOL DE LA TROZA m ³	VOL. DE MADERA ASERRADA m ³	VOL. DE COSTERAS EN m ³	VOL. DE ASERRÍN EN m ³
1	0.4941	0.3275	0.1040	0.0626
2	0.5952	0.3744	0.1376	0.0833
3	0.3528	0.2451	0.0673	0.0404
4	0.2085	0.1390	0.0527	0.0168
5	0.3077	0.2109	0.0544	0.0424
6	0.4235	0.3103	0.0635	0.0497
7	0.1980	0.1408	0.0415	0.0157
8	0.3721	0.2473	0.0463	0.0786
9	0.1558	0.1001	0.0400	0.0157
10	0.6005	0.4191	0.0858	0.0956
11	0.1458	0.0904	0.0290	0.0264
12	0.2659	0.1665	0.0711	0.0284
TOTAL	4.1199	2.7714	0.7929	0.5557
%	100	67.27	19.25	13.49

Como se puede observar, la proporción de subproductos resultó muy similar utilizando las dos ecuaciones, puesto, que las diferencias entre ambas no son significativas (Cuadros 9 y 10). Por medio de la primera ecuación se determinó la siguiente proporción de subproductos: 67.27% de madera aserrada, 19.35% de costeras y recortes y 13.38% de aserrín (Figura 21). Con la segunda ecuación los valores fueron de 67.27%, 19.25% y 13.49% respectivamente.

Esta proporción es similar a la indicada por Williston, 1976 y mayor a la de Zavala *et al*, 2000 y Méndez, 1996; en la proporción de madera aserrada. También la proporción de madera aserrada coincide con el coeficiente de aserrío que se determinó para la alternativa de tablas con trozas de calidad 5 (67.33%).

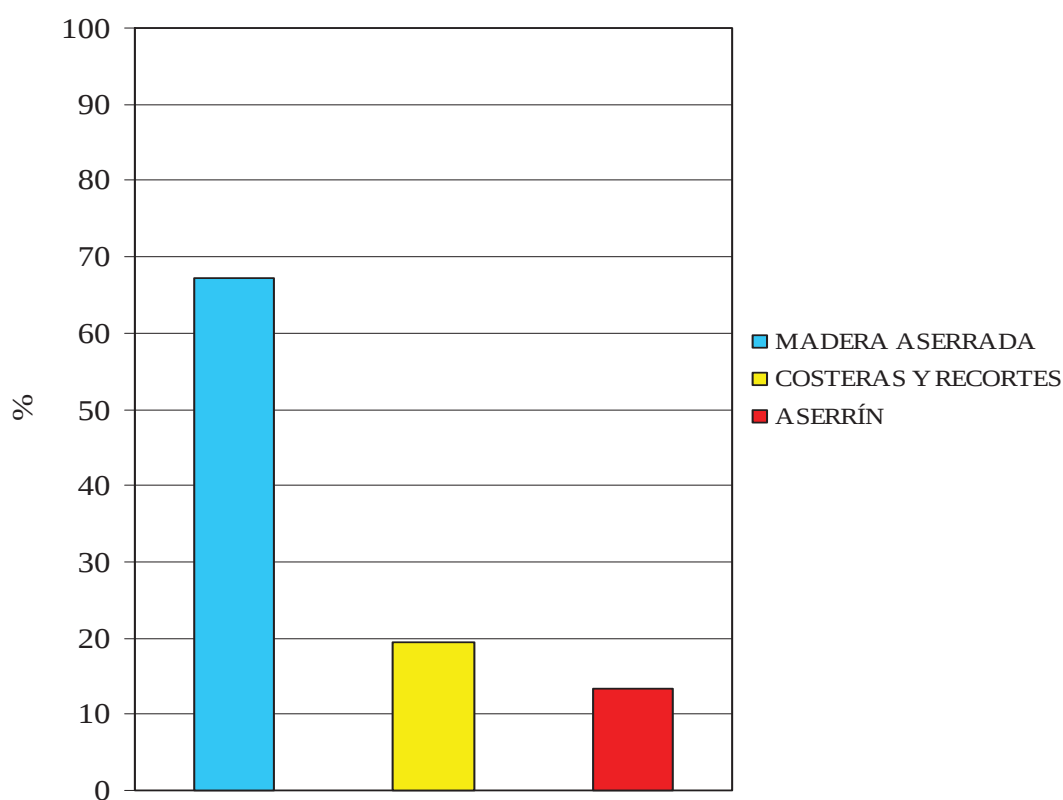


Figura 21. Proporción de madera aserrada y de subproductos.

Se tomaron muestras de las tablas contiguas y costeras de cada una de las 12 trozas procesadas para determinar su contenido de humedad, y en general se presentó entre las tablas contiguas y costeras de una misma troza, un contenido de humedad muy heterogéneo. Esta diferencia en el contenido de humedad en una misma troza podría representar un error en la relación peso-volumen.

5.5. Refuerzos de la madera aserrada

Del total de la madera aserrada para la alternativa de tablas en las dos calidades de trocería (60 trozas) se determinó que el espesor nominal de $\frac{7}{8}$ " representó el 93% del volumen total de madera aserrada y el espesor nominal $\frac{3}{4}$ " representó el 7%.

De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986), se presentó un excedente de refuerzo de 6.16% para la madera de $\frac{7}{8}$ " y para la de $\frac{3}{4}$ " no se determinó ningún excedente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Proporción de refuerzos y sus excedentes.

ESPESORES	DISTRIBUCIÓN % VOL MADERA DIM. NOMINAL	R E F U E R Z O S		
		TOTAL %	NMX-C-18-1986 %	EXCESO %
$\frac{3}{4}$ "	7	29.04	29.47	- 0.43
$\frac{7}{8}$ "	93	29.02	22.86	6.16

5.6. Variación del espesor de la madera en el proceso de aserrío

El espesor promedio de las tablas de 22.225 mm ($\frac{7}{8}$ ") de espesor nominal varió de 25.35 mm (0.998") a 26.80 mm (1.055") para los 20 subgrupos ($\bar{X}$), con un espesor promedio de 26.14 mm (1.029") para todos los subgrupos ($\bar{\bar{X}}$). La desviación estándar total del proceso fue de 0.944 mm (0.03729"). El valor para la desviación estándar entre

tablas (S_b) fue más acentuado que para la desviación estándar dentro de las tablas (S_w), con 0.79485 y 0.51041 respectivamente.

La variación del proceso de aserrío entre tablas (S_b), originó en mayor medida la variación en espesor de las tablas. Este problema se debe a los engranajes de las escuadras, la alineación de los rieles, el sistema de retroceso y de avance de la trocería en el carro, por lo que la corrección de las fallas deberá enfocarse en mayor medida a este problema. Los cálculos para determinar la variación del proceso de aserrío se encuentran en el anexo 11.

5.7. Dimensión óptima de corte

La dimensión final que deberá tener la madera cepillada es de 22.225mm ($\frac{7}{8}$ ”), el refuerzo por cepillado de 1.27 mm (0.05”) y el espesor de la madera después del secado es de 23.49 mm. La relación que determina la dimensión requerida antes del secado, es: (Zavala, 1991).

$$\frac{DF + RC}{1 - (\%C)}$$

Considerando que la contracción tangencial del *Pinus leiophylla* con un C.H. del 10% es de 5.51% (0.0551), el espesor que se requiere antes del secado es de:

$$\frac{22.225 + 1.27}{1 - 0.0551} = 24.865 \text{ mm (0.9789”)}$$

Si la madera aserrada no presentara variación en espesor, la dimensión óptima de la madera verde se calcularía por la relación: $(DF + RC) / (1 - \%C)$ denominada como dimensión crítica (DC). Sin embargo la madera no se puede aserrar perfectamente, por lo que se requiere compensar con un volumen adicional para este efecto. Por la tanto la

dimensión óptima de corte agregando el volumen por variación del aserrío queda de la siguiente forma:

$$DO = DC + (Z \times St)$$

$$DO = 24.865 + (1.65 \times 0.944)$$

$$DO = 26.42 \text{ mm (1.04")}$$

La norma oficial mexicana establece un refuerzo de $\frac{1}{8}$ " hasta las piezas con 38 mm. Dicho refuerzo incluye la pérdida de volumen por cepillado, contracciones y variación del corte. Sin embargo el refuerzo de $\frac{1}{8}$ " varía un poco debido a que por lo general no se considera el refuerzo real por contracciones, ni el refuerzo adicional por variación en espesor por el aserrío. Según la norma, las tablas con un espesor de $\frac{7}{8}$ " deberán tener un espesor de 25.4 mm, si se resta a esta cifra la dimensión crítica (DC) se tendrían $25.4 \text{ mm} - 24.865 \text{ mm}$, se tiene una diferencia de 0.533 mm que representa el volumen de refuerzo para la variación del espesor, no obstante la variación del corte en el aserrío para este aserradero fue mayor a esta cifra (0.944 mm).

La dimensión a la que debe aserrarse la madera para que únicamente el 5% de la producción tenga un valor inferior a la dimensión real de $\frac{7}{8}$ " de espesor, una vez secada y cepillada es de 26.42 mm. Cualquier refuerzo que exceda esta cifra se considera como una pérdida de volumen, que repercutirá en un coeficiente de aserrío menor y por ende en pérdidas económicas.

5.8. Madera aserrada con dimensiones inferiores a la especificada

Analizando la media de los espesores de las 100 tablas con espesor de $\frac{7}{8}$ " con una dimensión óptima de corte de 26.42 mm, solamente 58 tablas tienen el grosor requerido, si se considera que se acepta un 5% de las tablas con dimensión inferior a la requerida se incluirían 5 tablas mas y la cantidad total sería de 63 tablas (Figura 22).

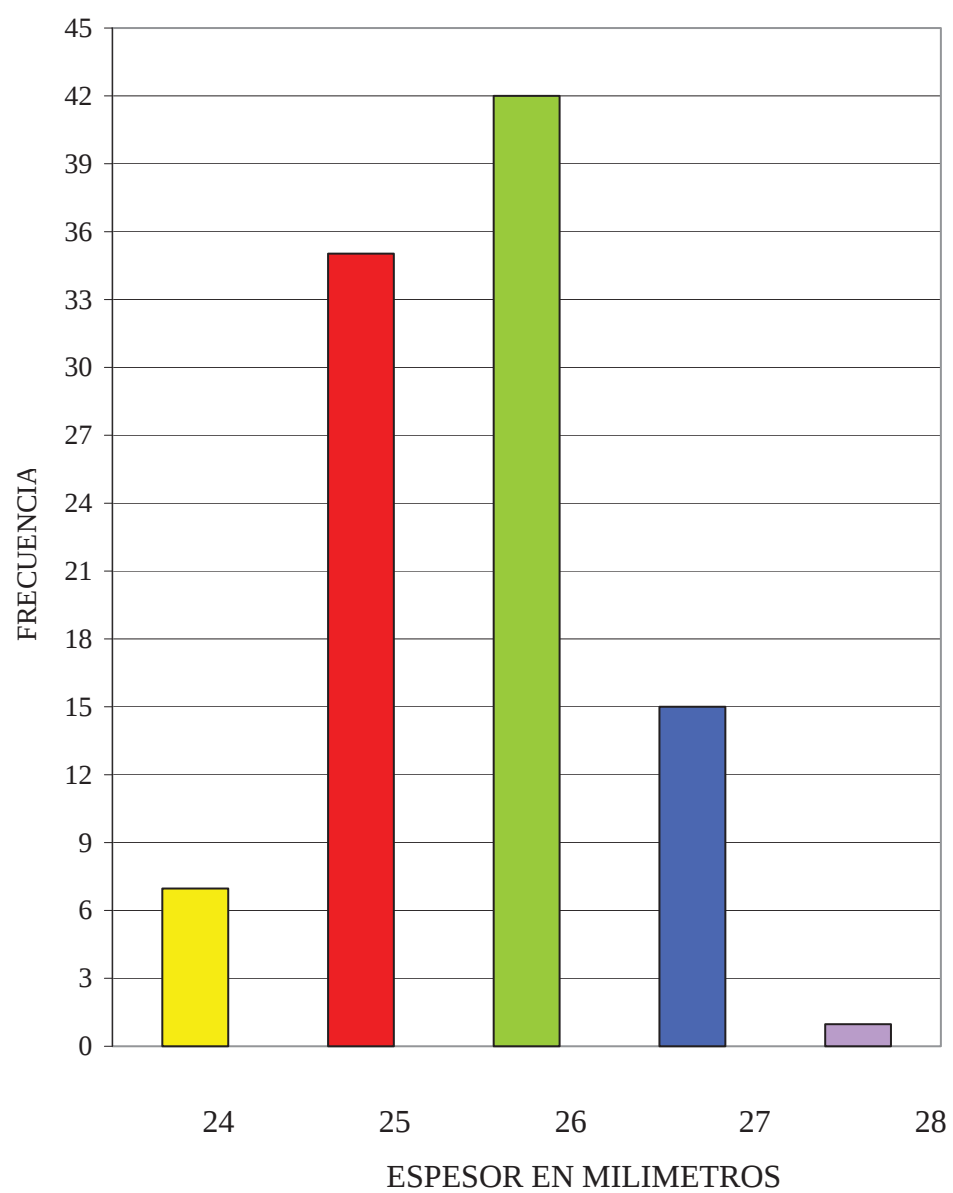


Figura 22. Distribución de frecuencias de espesores promedio.

5.9. Gráficas de control de calidad

5.9.1. Gráfica de $\bar{\bar{X}}$

Del análisis de las 100 tablas se determinó el valor de $\bar{\bar{X}} = 26.14$, el factor $A2$ fue de 0.577, y el rango total promedio entre las tablas ($\bar{R}b$) es de 2.01. Integrando estos valores en la fórmula correspondiente se determinó el valor para el $L.C.S.$ de 27.30 y para el $L.C.I.$ de 24.98.

$$L.C.S. = \bar{\bar{X}} + A2 \bar{R}b$$

$$L.C.I. = \bar{\bar{X}} - A2 \bar{R}b$$

$$L.C.S. = 26.14 + (0.577 \times 2.01) = 27.30$$

$$L.C.I. = 26.14 - (0.577 \times 2.01) = 24.98$$

Como se puede apreciar todas las observaciones se ubican dentro de los límites de control, por lo que se considera que el proceso de aserrío esta bajo control con respecto a la media de los espesores de las tablas analizadas (Figura 23).

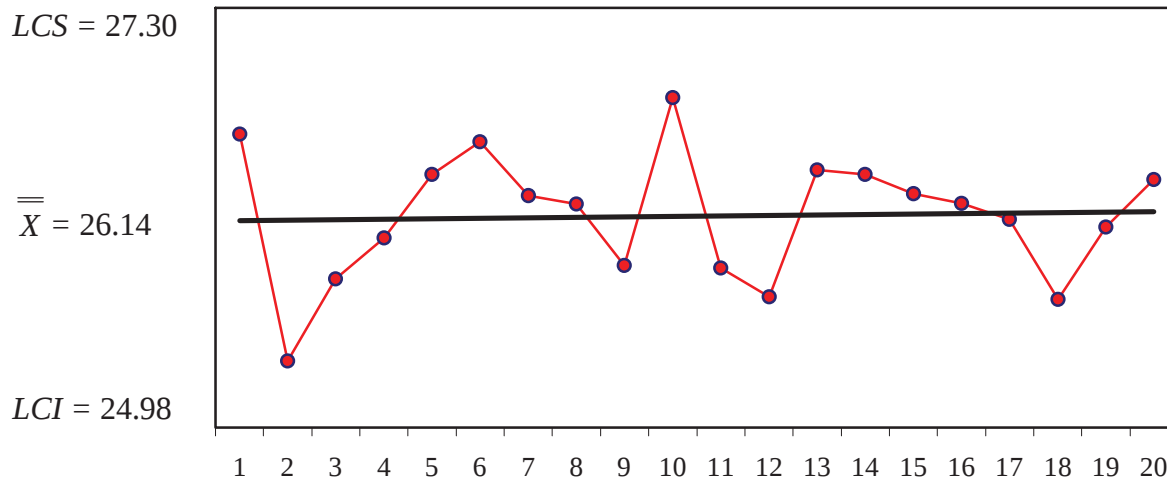


Figura 23. Gráfica de $\bar{\bar{X}}$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.

5.9.2. Gráfica de $\bar{R}b$

Para las variables de esta gráfica se determinaron los siguientes valores: para el factor $D3$ el valor fue de 0, el valor de $D4$ es de 2.115 y el rango total promedio entre las tablas ($\bar{R}b$) es de 2.01. Sustituyendo estos valores en la fórmula correspondiente, el valor del $L.C.S.$ es de 4.25 y el del $L.C.I.$ es 0.

$$L.C.S. = D4 \bar{R}b$$

$$L.C.I. = D3 \bar{R}b$$

$$L.C.S. = (2.115)(2.01) = 4.25$$

$$L.C.I. = (0)(2.01) = 0$$

Al igual que en la grafica de $\bar{X}$, todos los puntos se ubicaron dentro de los límites de control, por lo tanto las diferencias en dimensiones entre las tablas están dentro de los límites aceptables (Figura 24).

$$LCS = 4.25$$

$$\bar{R}b = 2.01$$

$$LCI = 0$$

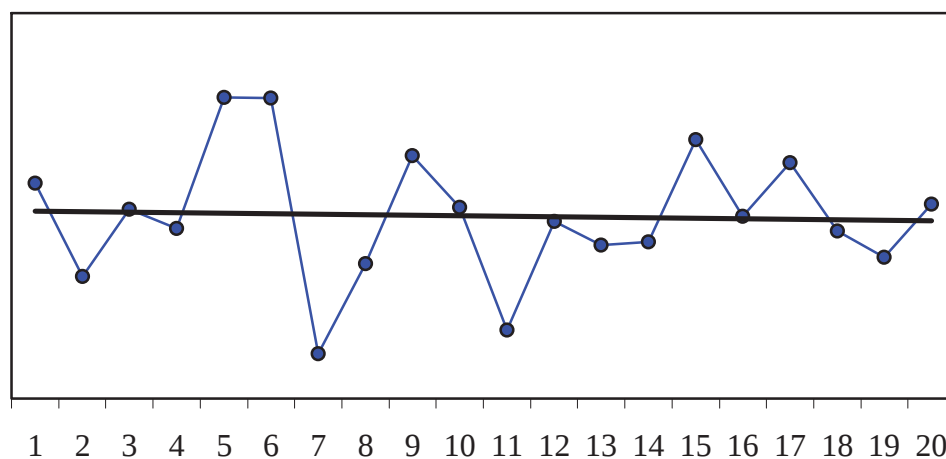


Figura 24. Gráfica de $\bar{R}b$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.

5.9.3. Gráfica de $\bar{R} w$

Para esta gráfica los valores de las variables $D4$ y $D3$ fueron los mismos que los utilizados en el caso anterior y solo se determinó el valor del rango total promedio dentro de las tablas ($\bar{R} w$) que fue de 1.293. Utilizando estos valores en la fórmula, el valor para el $L.C.S.$ fue de 2.73 y para el $L.C.I.$ es de 0.

$$L.C.S. = D4 \bar{R} w$$

$$L.C.I. = D3 \bar{R} w$$

$$L.C.S. = (2.115) (1.293) = 2.73$$

$$L.C.I. = (0) (1.293) = 0$$

Como en los casos anteriores, todos los puntos también se ubicaron dentro de los límites de control. Comparando la gráfica $\bar{R} b$ con la de $\bar{R} w$, se puede observar que la variación dentro de las tablas se da en menor escala, puesto que los puntos se encuentran más cercanos respecto a la línea de tendencia central (Figura 25).

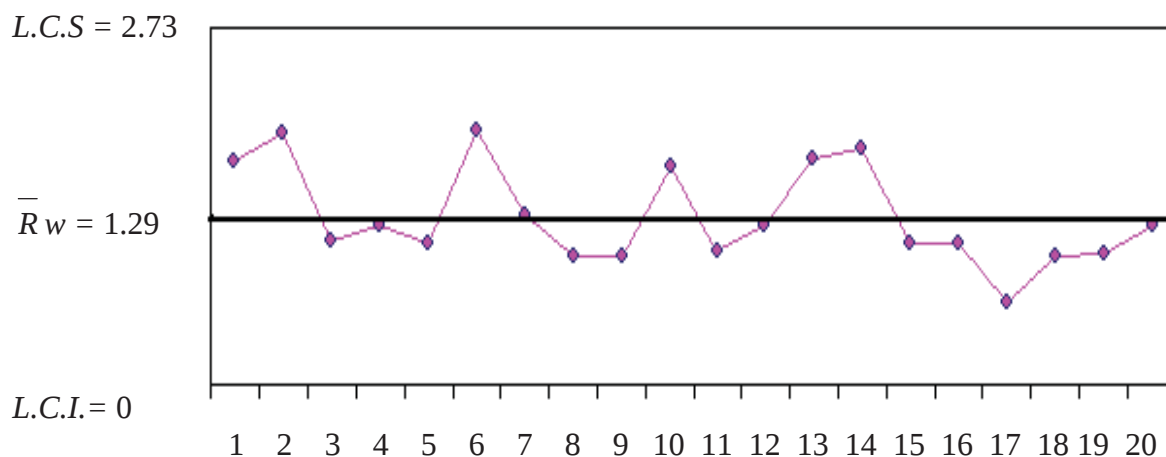


Figura 25. Gráfica de $\bar{R} w$ para una muestra de 100 tablas integradas en 20 subgrupos.

6. CONCLUSIONES

El tamaño de muestra que se determinó para el presente trabajo es mayor que el mencionado por la SFF, (1978).

La categoría diamétrica mas frecuente correspondió al rango 35-40 con 30.65% y el 96.77% de las trozas se ubicaron en un rango de 30-50.

En general el diámetro de las trozas no influyó en el coeficiente de aserrío, puesto que no se observa una tendencia definida por esta variable, posiblemente por la mala conformación que presentan las trozas de calidad 4 y 5.

En la alternativa para generar tablas, se ubicaron los coeficientes de aserrío reales globales mas elevados para las dos calidades de trocería.

En términos generales, con el aumento de la categoría diamétrica la proporción de madera aserrada de calidad 5 disminuyó y la proporción de calidades 2 y M, 3 y 4 aumentó.

La calidad de la trocería influyó en el coeficiente de aserrío real global, puesto que para las dos alternativas de productos generados se presentan valores mas elevados para las trozas de calidad 4.

La calidad de las trozas también influyó en la proporción por calidades de la madera aserrada, puesto que las trozas de calidad 4, generan mayor proporción de madera aserrada en las calidades 2 y M, 3 y 4, mientras que las trozas de calidad 5 generan mayor proporción de madera aserrada de calidad 5.

Los coeficientes de aserrío nominal y el real presentaron valores relativamente elevados con respecto a los reportados por otros autores, posiblemente por la poca variación del espesor de las tablas por el proceso de aserrío, además de la diversidad de dimensiones en que se obtienen las tablas.

El coeficiente de aserrío fue de 54.74% cuando se utilizó la expresión nominal y de 68.74% en la real, con una diferencia entre ambos de 14%.

El espesor nominal más común correspondió a las tablas de $\frac{7}{8}$ ", mismo que representó el 93% del volumen total de madera aserrada, y el espesor nominal $\frac{3}{4}$ " representó el 7%.

7. RECOMENDACIONES

Para la cubicación de la trocería se recomienda que se realicen los cálculos con los diámetros sin corteza, puesto que si se considera la corteza, se generan volúmenes por encima del volumen real de las trozas y se verá reflejado con una merma en el coeficiente de aserrío.

Debido a que la calidad de la trocería presentó una relación directa con la calidad de la madera aserrada, sería importante considerar este factor en la definición de precios por calidad de trocería, específicamente en la 4 y 5.

Para mejorar el coeficiente de aserrío sería conveniente estudiar más alternativas de productos generados y de esta forma incrementar la proporción de madera aserrada respecto al volumen de la troza.

La proporción de costeras y recortes (19.35%), representa un volumen significativo de subproductos que podría ser una fuente de materia prima para las fábricas de celulosa y de tableros aglomerados y la proporción de aserrín (13.38%), también representa un volumen importante que se puede utilizar como combustible para generar calor para el proceso de secado de la madera.

Aun cuando la variación en espesor por el proceso de aserrío entre tablas (Sb), fue relativamente baja y originó en mayor medida la variación en espesor de las tablas, se recomienda corregir esta falla, que se debe a los engranajes de las escuadras, a la alineación de los rieles y al sistema de retroceso y de avance de la trocería en el carro.

Los cuarterones son procesados en una sierra tabletera, este trabajo es realizado por dos personas, una que alimenta la sierra y la otra que recibe las piezas cortadas. Generalmente se obtienen piezas de las mismas dimensiones por periodos relativamente largos, por lo que sería conveniente analizar la posibilidad de instalar una sierra múltiple, puesto que seguramente aumentaría la producción en este punto del proceso.

Para estudios posteriores del coeficiente de aserrío sería conveniente que estos se expresen en valores nominales y reales, puesto que en algunas referencias no se indica que tipo de coeficiente se está citando y se puede generar una confusión al momento de compararlos.

Sería conveniente capacitar al personal que clasifica la trocería para que se unifiquen los criterios de clasificación, puesto que durante el tiempo en que se efectuó el estudio se detectó que una troza se podía clasificar con diferente categoría de calidad por el personal de diferentes áreas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Caraveo M. A. 1982. La madera aserrada. Primera edición. Centro librero la prensa S.A. DE C.V. México. 332 pp.

Corral M. A. 1997. Optimización del uso de la trocería para la producción de triplay y de madera aserrada. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 110 p.

Dirección General de Normas (DGN). 1986. Norma Mexicana NMX-C-18-1986. Industria de la construcción – Tablas y Tablones de pino - Clasificación. DGN. SECOFI. México. 16 p.

Dirección General de Normas (DGN). 1988. Norma Mexicana NMX-C-359-1988. Industria Maderera-Trocería de Pino- Clasificación. DGN. SECOFI. México. 23 p.

García R. J. D., Morales. Q. L., y Valencia M. S. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. Foresta-AN. Nota técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 pp.

Hallock H. 1973. Best opening face for second growth timber. Chapter 4. Modern Sawmill Techniques. Ed. Vernon S. White. United States of America. p 93-116.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004. Censos económicos 2004. Sistema automatizado de información censal.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 2 de mayo de 2006.

Kilborn, K. A. 2002. Lumber recovery studies of Alaska sawmills, 1997 to 1999 Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-544. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 15 p.

Méndez, C. L. 1996. Principios generales para la determinación del coeficiente de aserrío. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 49 p.

<http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s00.htm#TopOfPage> Fecha de consulta 4 de agosto de 2006.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). 2005. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México

Romahn de la V. C. F; Ramírez M. H; y Treviño. G. J. L. 1994. Dendrometria. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 354 pp.

Rodríguez, C.R. 1978. Coeficientes de refuerzo y aserrío en la práctica mexicana de producción de madera aserrada de pino. México y sus Bosques. 17(1):8-23.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Anuario Forestal 2003. 152 p.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 2 de mayo de 2006.

Spelter, H. 2002. Conversion of board foot scaled logs to cubic meters in Washington State, 1970–1998 Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-131. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 6 p.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 2 de mayo de 2006.

Spelter, H. 2004. Converting among log scaling methods: Scriber, International, and Doyle versus cubic Journal of forestry. Vol. 102, no. 4 (June 2004): p. 33-39.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 9 de mayo de 2006.

Spelter, H; Alderman, M. 2005. Profile 2005: softwood sawmills in the United States and Canada Research Paper FPL-RP-630. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 85 pages.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 9 de mayo de 2006.

Steele, P. H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling Gen. Tech. Rep. FPL-39. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1984. 8 pages.

Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF). 1978. Disposiciones sobre coeficientes de aserrío y usos de refuerzos. México. SFF. Dirección General de Control y Vigilancia Forestal. Circular 2/78. 3 p.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 9 de mayo de 2006

Wade, M. W.; Bullard, Steven H.; Steele, P. H.; Araman, P. A. 1992. Estimating Hardwood Sawmill Conversion Efficiency Based on Sawing Machine and Log. Forest Products Journal. 42(11): 21-26.

Williston M. Ed. 1976. Lumber Manufacturing: The Design and Operation of Sawmills and Planer Mills .First printing. A Forest Industries Book, Miller Freeman Publications, Inc. United States of America. 512 pp.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/> Fecha de consulta 9 de mayo de 2006.

Willits, S; Fahey, T. D. 1988. Lumber recovery of Douglas-fir from the Coast and Cascade Ranges of Oregon and Washington Res. Pap. PNW-RP-400. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 32 p.

Zavala, Z.D. 1981. Analysis of the sawmilling practices in the State of Durango, Mexico. Thesis of Master of Science. The University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canada. 91 p.

Zavala Z.D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Universidad Autónoma Chapingo. Serie de Apoyo Académico No. 44, Chapingo, Edo. de Méx. 50 p.

Zavala Z.D. 1995. The effect of log length and lumber thickness over-allowance on lumber recovery. Forest Products Journal. 45(2):41-45.

Zavala Z.D. 1995. Interrelación de las características de la trocería con el coeficiente de aprovechamiento en aserraderos banda. Universidad. Michoacana. de San Nicolás de Hidalgo. Rev. Ciencia y Tecnología de la Madera 6:3-14

Zavala Z.D. y Hernández C. R. 2000 Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. Rev. Madera y Bosques 6 (2) 2000.

9. ANEXOS

Anexo 1. Características de las trozas para la determinación del tamaño de muestra

No. Troza	Diámetro promedio	Categoría diamétrica	Vol. m ³
1	46,63	45-50	0.4485
2	44,63	40-45	0.4108
3	43,63	40-45	0.3926
4	33,75	30-35	0.2350
5	37,13	35-40	0.2843
6	39,50	35-40	0.3219
7	41,00	40-45	0.3468
8	47,25	45-50	0.4606
9	41,75	40-45	0.3596
10	38,50	35-40	0.3058
11	36,50	35-40	0.2748
12	39,63	35-40	0.3239
13	41,25	40-45	0.3510
14	39,50	35-40	0.3219
15	36,00	35-40	0.2674
16	36,75	35-40	0.2786
17	39,75	35-40	0.3260
18	40,88	40-45	0.3447
19	42,63	40-45	0.3748
20	44,63	40-45	0.4108
21	38,00	35-40	0.2979
22	36,50	35-40	0.2748
23	31,38	30-35	0.2031
24	45,50	45-50	0.4271
25	42,00	40-45	0.3639
26	41,00	40-45	0.3468
27	38,50	35-40	0.3058
28	50,00	45-50	0.5157
29	47,25	45-50	0.4606
30	46,25	45-50	0.4413
31	43,25	40-45	0.3859
32	47,75	45-50	0.4704
33	43,50	40-45	0.3904
34	43,00	40-45	0.3814
35	41,00	40-45	0.3468
36	38,00	35-40	0.2979
37	41,50	40-45	0.3553
38	44,50	40-45	0.4085
39	47,75	45-50	0.4704

Continuación del anexo1.

40	44,25	40-45	0.4039
41	45,50	45-50	0.4271
42	47,75	45-50	0.4704
43	53,50	50-55	0.5905
44	28,25	25-30	0.1646
45	31,75	30-35	0.2080
46	33,50	30-35	0.2315
47	38,00	35-40	0.2979
48	32,50	30-35	0.2179
49	34,50	30-35	0.2455
50	36,00	35-40	0.2674
51	39,50	35-40	0.3219
52	32,75	30-35	0.2213
53	34,50	30-35	0.2455
54	37,50	35-40	0.2901
55	30,50	30-35	0.1919
56	32,00	30-35	0.2112
57	34,25	30-35	0.2420
58	37,25	35-40	0.2863
59	31,00	30-35	0.1983
60	31,50	30-35	0.2047
61	33,00	30-35	0.2247
62	37,75	35-40	0.2940

Volumen promedio = 0.3297
 Varianza del volumen (S^2) = 0.00842308

Anexo 2. Determinación del volumen por troza y categoría diamétrica

Trozos para la alternativa de producción de tablas

Troza No.	Calidad	Extremo A		Extremo B		Diámetro promedio en cm.	Categoría diamétrica	Diámetro promedio extremo A	Diámetro promedio extremo B	Área. Extremo A en cm ²	Área. Extremo B en cm ²	Longitud en cm.	Volumen de la troza en m ³	Volumen por cat.diamétrica en m ³									
		en cm		en cm.																			
		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2																		
6	4	30	28	31	30	29.75	25-30	29	30.5	660.52	730,62	262.00	0.1822	0.8619									
11	4	30	30	29	28	29.25	25-30	30	28.5	706.86	637,94	262.00	0.1762										
13	4	30	29.5	28	26	28.38	25-30	29.75	27	695.13	572,56	262.00	0.1661										
25	4	30.5	29	28.5	28	29.00	25-30	29.75	28.25	695.13	626,80	262.00	0.1732										
26	4	28	29	28	28	28.25	25-30	28.5	28	637.94	615,75	262.00	0.1642										
2	4	33	35	29	30	31.75	30-35	34	29.5	907.92	683,49	262.00	0.2085										
4	4	31	32	34	32	32.25	30-35	31.5	33	779.31	855,30	262.00	0.2141	1.0938									
5	4	30	30	32	31	30.75	30-35	30	31.5	706.86	779,31	262.00	0.1947										
7	4	33	34	35	35	34.25	30-35	33.5	35	881.42	962,12	262.00	0.2415										
9	4	36	35	33	31	33.75	30-35	35.5	32	989.80	804,25	262.00	0.2350	1.5384									
10	4	43	38	40	37	39.50	35-40	40.5	38.5	1288.25	1164,16	262.00	0.3213										
14	4	37	34	45	40	39.00	35-40	35.5	42.5	989.80	1418,63	262.00	0.3155										
16	4	36	35	37	36	36.00	35-40	35.5	36.5	989.80	1046,35	262.00	0.2667										
27	4	41	38	40	37	39.00	35-40	39.5	38.5	1225.42	1164,16	262.00	0.3130										
28	4	36	39	40	43	39.50	35-40	37.5	41.5	1104.47	1352,66	262.00	0.3219										
3	4	44	44	44	43	43.75	40-45	44	43.5	1520.53	1486,17	262.00	0.3939	1.8935									
12	4	46	46	43	43	44.50	40-45	46	43	1661.91	1452,20	262.00	0.4079										
15	4	45	43	43	37	42.00	40-45	44	40	1520.53	1256,64	262.00	0.3638										
18	4	42	44	44	46	44.00	40-45	43	45	1452.20	1590,44	262.00	0.3986										
20	4	40	40	41	39	40.00	40-45	40	40	1256.64	1256,64	262.00	0.3292										
1	4	45	48	43	47	45.75	45-50	46.5	45	1698.23	1590,44	262.00	0.4308										
8	4	53	46	51	46	49.00	45-50	49.5	48.5	1924.43	1847,46	262.00	0.4941	2.3112									
19	4	46	41	47	49	45.75	45-50	43.5	48	1486.17	1809,56	262.00	0.4317										
21	4	46	44	51	46	46.75	45-50	45	48.5	1590.44	1847,46	262.00	0.4504										
24	4	49	50	49	50	49.50	45-50	49.5	49.5	1924.43	1924,43	262.00	0.5042	2.9340									
17	4	49	53	62	55	54.75	50-55	51	58.5	2042.83	2687,84	262.00	0.6197										
22	4	58	53	51	53	53.75	50-55	55.5	52	2419.23	2123,72	262.00	0.5951										
23	4	52	56	49	52	52.25	50-55	54	50.5	2290.23	2002,97	262.00	0.5624										
29	4	53	50	52	57	53.00	50-55	51.5	54.5	2083.08	2332,83	262.00	0.5785										
30	4	52	52	55	53	53.00	50-55	52	54	2123.72	2290,23	262.00	0.5782										

Continuación del anexo 2. Trozas para la alternativa de producción de tablas

Troza No.	Calidad	Extremo A		Extremo B		Diámetro promedio en cm.	Categoría diamétrica	Diámetro promedio extremo A	Diámetro promedio extremo B	Área. Extremo A en cm ²	Área. Extremo B en cm ²	Longitud en cm.	Volumen de la troza en m ³	Volumen por cat.diamétrica en m ³									
		en cm		en cm.																			
		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2																		
22	5	28	28	27	29	28.00	25-30	28	28	615.75	615.75	262.00	0.1613	0,8061									
23	5	33	27	29	26	28.75	25-30	30	27.5	649.18	593.96	262.00	0.1629										
24	5	28	28	26	26	27.00	25-30	28	26	572.56	530.93	262.00	0.1446										
26	5	27	26	30	29	28.00	25-30	26.5	29.5	615.75	683.49	262.00	0.1702	1,0034									
27	5	29	25	30	28	28.00	25-30	27	29	615.75	660.52	262.00	0.1672										
10	5	36	34	30	32	33.00	30-35	35	31	855.30	754.77	262.00	0.2109										
13	5	35	36	33	31	33.75	30-35	35.5	32	894.62	804.25	262.00	0.2226	1,3969									
14	5	32	33	27	28	30.00	30-35	32.5	27.5	706.86	593.96	262.00	0.1704										
17	5	27	30	32	35	31.00	30-35	28.5	33.5	754.77	881.42	262.00	0.2143										
18	5	30	30	31	29	30.00	30-35	30	30	706.86	706.86	262.00	0.1852	1,8500									
11	5	40	36	34	33	35.75	35-40	38	33.5	1003.79	881.42	262.00	0.2470										
16	5	36	37	34	33	35.00	35-40	36.5	33.5	962.12	881.42	262.00	0.2415										
21	5	38	34	37	38	36.75	35-40	36	37.5	1060.73	1104.47	262.00	0.2836	2,4209									
3	5	32	38	42	36	37.00	35-40	35	39	1075.21	1194.59	262.00	0.2973										
9	5	35	38	43	39	38.75	35-40	36.5	41	1179.33	1320.26	262.00	0.3274										
1	5	42	40	45	44	42.75	40-45	41	44.5	1435.37	1555.29	262.00	0.3918	2,8026									
2	5	48	45	42	45	45.00	40-45	46.5	43.5	1590.44	1486.17	262.00	0.4030										
12	5	41	47	40	42	42.50	40-45	44	41	1418.63	1320.26	262.00	0.3588										
19	5	42	38	45	40	41.25	40-45	40	42.5	1336.41	1418.63	262.00	0.3609	2,4209									
20	5	41	42	40	40	40.75	40-45	41.5	40	1304.21	1256.64	262.00	0.3355										
7	5	48	50	49	51	49.50	45-50	49	50	1924.43	1963.50	262.00	0.5093										
8	5	44	48	44	47	45.75	45-50	46	45.5	1643.89	1625.97	262.00	0.4284	2,8026									
15	5	49	40	49	53	47.75	45-50	44.5	51	1790.76	2042.83	262.00	0.5022										
25	5	47	44	49	44	46.00	45-50	45.5	46.5	1661.91	1698.23	262.00	0.4402										
28	5	51	44	52	53	50.00	45-50	47.5	52.5	1963.50	2164.76	262.00	0.5408	2,8026									
4	5	52	56	57	55	55.00	50-55	54	56	2375.84	2463.01	262.00	0.6339										
5	5	48	55.5	48	53	51.13	50-55	51.75	50.5	2103.35	2002.97	262.00	0.5379										
6	5	51	51	48	50	50.00	50-55	51	49	2042.83	1885.75	262.00	0.5146	2,8026									
29	5	53	52	50	51	51.50	50-55	52.5	50.5	2083.08	2002.97	262.00	0.5353										
30	5	56	45	57	51	52.25	50-55	50.5	54	2144.19	2290.23	262.00	0.5809										

Continuación del anexo 2. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones

Troza No.	Calidad	Extremo A		Extremo B		Diámetro promedio en cm.	Categoría diamétrica	Diámetro promedio extremo A	Diámetro promedio extremo B	Área. Extremo A en cm ²	Área. Extremo B en cm ²	Longitud en cm.	Volumen de la troza en m ³	Volumen por cat.diamétrica en m ³									
		en cm		en cm.																			
		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2																		
1	4	27	28	28	29	28	25-30	27.5	28.5	593.96	637.94	262.00	0.1614	0,7887									
7	4	30	29	26	27	28	25-30	29.5	26.5	683.49	551.55	262.00	0.1618										
10	4	25	27	29	29	27.5	25-30	26	29	530.93	660.52	262.00	0.1561										
11	4	29	30	27	28	28.5	25-30	29.5	27.5	683.49	593.96	262.00	0.1673										
12	4	25	25	28	27	26.25	25-30	25	27.5	490.88	593.96	262.00	0.1421										
2	4	30	31	31	33	31.25	30-35	30.5	32	730.62	804.25	262.00	0.2011	1,0608									
4	4	34	35	32	33	33.5	30-35	34.5	32.5	934.82	829.58	262.00	0.2311										
8	4	35	33	32	33	33.25	30-35	34	32.5	907.92	829.58	262.00	0.2276										
13	4	31	30	33	32.5	31.62	30-35	30.5	32.75	730.62	842.39	262.00	0.2061										
14	4	30	34	30	29	30.75	30-35	32	29.5	804.25	683.49	262.00	0.1949										
3	4	34	35	36	37	35.5	35-40	34.5	36.5	934.82	1046.35	262.00	0.2595	1,4044									
5	4	39	38	37	37	37.75	35-40	38.5	37	1164.16	1075.21	262.00	0.2934										
6	4	40	35.5	37.5	33.5	36.63	35-40	37.75	35.5	1119.24	989.80	262.00	0.2763										
9	4	40	37	36	38	37.75	35-40	38.5	37	1164.16	1075.21	262.00	0.2934										
15	4	38	38	36	36	37	35-40	38	36	1134.12	1017.88	262.00	0.2819										
16	4	42	40	47	47	44	40-45	41	47	1320.26	1734.95	262.00	0.4002	1,9123									
17	4	39	34	49	45	41.75	40-45	36.5	47	1046.35	1734.95	262.00	0.3644										
18	4	46	44	46	44	45	40-45	45	45	1590.44	1590.44	262.00	0.4167										
19	4	43	40	41	40	41	40-45	41.5	40.5	1352.66	1288.25	262.00	0.3460										
20	4	43	45	42	43	43.25	40-45	44	42.5	1520.53	1418.63	262.00	0.3850										
23	4	52	45	44	45	46.5	45-50	48.5	44.5	1847.46	1555.29	262.00	0.4458	2,3259									
26	4	55	51	46	43	48.75	45-50	53	44.5	2206.19	1555.29	262.00	0.4928										
27	4	45	46	55	54	50	45-50	45.5	54.5	1625.97	2332.83	262.00	0.5186										
28	4	47	47	43	43	45	45-50	47	43	1734.95	1452.20	262.00	0.4175										
29	4	47.5	40.5	51	48	46.75	45-50	44	49.5	1520.53	1924.43	262.00	0.4513										
21	4	56	49	56	55	54	50-55	52.5	55.5	2164.76	2419.23	262.00	0.6005	2,8996									
22	4	50	59	52	51	53	50-55	54.5	51.5	2332.83	2083.08	262.00	0.5785										
24	4	57	53	56	50	54	50-55	55	53	2375.84	2206.19	262.00	0.6002										
25	4	55	51	53	47	51	50-55	53	50	2206.19	1963.50	262.00	0.5462										
30	4	51	49	57	54	52.75	50-55	50	55.5	1963.50	2419.23	262.00	0.5741										

Continuación del anexo 2. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones

Troza No.	Calidad	Extremo A		Extremo B		Diámetro promedio en cm.	Categoría diamétrica	Diámetro promedio extremo A	Diámetro promedio extremo B	Área. Extremo A en cm ²	Área. Extremo B en cm ²	Longitud en cm.	Volumen de la troza en m ³	Volumen por cat.diamétrica en m ³									
		en cm		en cm.																			
		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2																		
1	5	31	29	28	28	29.00	25-30	30	28	706.86	615.75	262.00	0.1733	0,8501									
17	5	26.5	26.5	30	30	28.25	25-30	26.5	30	551.55	706.86	262.00	0.1649										
26	5	28	28	30	28	28.50	25-30	28	29	615.75	660.52	262.00	0.1672										
27	5	29	31	26	25	27.75	25-30	30	25.5	706.86	510.71	262.00	0.1595										
30	5	30	31	30	29	30.00	25-30	30.5	29.5	730.62	683.49	262.00	0.1852										
18	5	32	33	29.5	30	31.13	30-35	32.5	29.75	829.58	695.13	262.00	0.1997	1,0493									
19	5	34	28	37	31	32.50	30-35	31	34	754.77	907.92	262.00	0.2178										
23	5	30	30	30	31	30.25	30-35	30	30.5	706.86	730.62	262.00	0.1883										
24	5	30	33	34	33	32.50	30-35	31.5	33.5	779.31	881.42	262.00	0.2176										
29	5	35	32.5	33	32	33.13	30-35	33.75	32.5	894.62	829.58	262.00	0.2259										
9	5	44	33	39	32	37.00	35-40	38.5	35.5	1164.16	989.80	262.00	0.2822	1,5123									
10	5	43	40	34	32	37.25	35-40	41.5	33	1352.66	855.30	262.00	0.2892										
13	5	39	36	43	41	39.75	35-40	37.5	42	1104.47	1385.45	262.00	0.3262										
14	5	38	37.5	44	40	39.88	35-40	37.75	42	1119.24	1385.45	262.00	0.3281										
16	5	43	36	37	33	37.25	35-40	39.5	35	1225.42	962.12	262.00	0.2866										
2	5	39	39.5	41	43	40.63	40-45	39.25	42	1209.96	1385.45	262.00	0.3400	1,7975									
7	5	45	42	43	46	44.00	40-45	43.5	44.5	1486.17	1555.29	262.00	0.3984										
22	5	40	40	40	40	40.00	40-45	40	40	1256.64	1256.64	262.00	0.3292										
25	5	45	48	41	36	42.50	40-45	46.5	38.5	1698.23	1164.16	262.00	0.3750										
28	5	40	40	45	41	41.50	40-45	40	43	1256.64	1452.20	262.00	0.3549										
4	5	49	51	47	47	48.50	45-50	50	47	1963.50	1734.95	262.00	0.4845	2,2645									
8	5	51	47	39	44	45.25	45-50	49	41.5	1885.75	1352.66	262.00	0.4242										
11	5	53	46	53	40	48.00	45-50	49.5	46.5	1924.43	1698.23	262.00	0.4746										
15	5	48	45	53	44	47.50	45-50	46.5	48.5	1698.23	1847.46	262.00	0.4645										
21	5	45	45	44	46	45.00	45-50	45	45	1590.44	1590.44	262.00	0.4167										
3	5	48	48	56	56	52.00	50-55	48	56	1809.56	2463.01	262.00	0.5597	2,8172									
5	5	51	45	54	56	51.50	50-55	48	55	1809.56	2375.84	262.00	0.5483										
6	5	51	46	51	56	51.00	50-55	48.5	53.5	1847.46	2248.01	262.00	0.5365										
12	5	51	44	56	58	52.25	50-55	47.5	57	1772.06	2551.76	262.00	0.5664										
20	5	55	50	56	56	54.25	50-55	52.5	56	2164.76	2463.01	262.00	0.6062										

Anexo 3. Piezas generadas de las trozas

Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas

TROZAS DE CALIDAD 4																															
PIEZAS DE CORTAS DIMENSIONES																															
CATEGORÍA DIAMETRICA																															
25-30						30-35						35-40						40-45						45-50						50-55	
NÚMERO DE TROZA																															
NÚMERO DE PIEZAS																															
Calidad	6	11	13	25	26	2	4	5	7	9	10	14	16	27	28	3	12	15	18	20	1	8	19	21	24	17	22	23	29	30	
Dimensiones																															
N0. 2																															
¾"x4"x4'														1																	
¾"x6"x4'																	1	1													
N0. 3																															
¾"x4"x4'						1																									
¾"x6"x4'																					1										
N0. 4																															
¾"x4"x4'										1	1		1									1	1	1		1					
¾"x6"x4'																															
N0. 5																															
¾"x4"x4'																															
¾"x6"x4'																											4		2		
N0. 2																															
¾"x4"x3'																															
¾"x6"x3'																															
N0. 3																															
¾"x4"x3'										1																					
¾"x6"x3'																					1										

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas).

TROZAS DE CALIDAD 5																														
PIEZAS DE CORTAS DIMENSIONES																														
CATEGORÍA DIAMETRICA																														
25-30			30-35			35-40			40-45			45-50			50-55															
NÚMERO DE TROZA																														
NÚMERO DE PIEZAS																														
Calidad	22	23	24	26	27	10	13	14	17	18	11	16	21	3	9	1	2	12	19	20	7	8	15	25	28	4	5	6	29	30
Dimensiones																														
N0. 2																														
¾"x4"x4'									1									1						1					1	3
¾"x6"x4'																												1		3
N0. 3																														
¾"x4"x4'													1		1								1		1					1
¾"x6"x4'						1																								
N0. 4																														
¾"x4"x4'						1			1	1								1				1				2	1			
¾"x6"x4'																								1						
N0. 5																														
¾"x4"x4'	1	10				1			1		1						1	2		2	3	1				3				
¾"x6"x4'																		1		1										
N0. 2																														
¾"x4"x3'						1																								
¾"x6"x3'																														
N0. 3																														
¾"x4"x3'																									1					
¾"x6"x3'																		1												
N0. 4																														
¾"x4"x3'																														
¾"x6"x3'																														

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas).

N0. 5																															
¾" x 4' x 3'	1																											1			1
¾" x 6' x 3'																													1		

PIEZAS DE LARGAS DIMENSIONES																																		
CATEGORÍA DIAMÉTRICA																																		
25-30										30-35					35-40					40-45					45-50					50-55				
NUMERO DE TROZA																																		
NUMERO DE PIEZAS																																		
Calidad	22	23	24	26	27	10	13	14	17	18	11	16	21	3	9	1	2	12	19	20	7	8	15	25	28	4	5	6	29	30				
Dimensiones																																		
N0. 2																																		
¾" x 4' x 6'																																		
¾" x 6' x 6'																															1			
¾" x 4' x 7'																																		
¾" x 6x7'																																		
¾" x 3¾" x 8'																																		
¾" x 5½" x 8'																															1			
¾" x 4' x 8'																															1			
¾" x 6' x 8'															1																			
¾" x 8' x 8'																												1			2			
¾" x 10' x 8'																												1			1			
¾" x 12' x 8'																																		
N0. 3																																		
¾" x 4' x 6'																													1					
¾" x 6' x 6'																										1								
¾" x 4' x 7'																										1								
¾" x 6x7'																																		
¾" x 3¾" x 8'																			1											1				
¾" x 5½" x 8'																										1								
¾" x 4' x 8'																	1														1			
¾" x 6' x 8'																1												1						

[illegible]

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

PIEZAS GENERADAS DE LOS CUARTONES						
No. Troza	Número de piezas					
	Barrote	Polín	Polín	Polín	Tiras	
	1¼" x 3½" x 8'	3" x 3" x 8'	3¼" x 3¼" x 8'	1¾" x 3" x 8'	¾" x 2 ¾" x 8'	
20	21					
18	10					2
19	3	2		11		2
16	10					2
17	10					2
21	24					3
22	11	1				1
5	10					2
8	10					2
1	9			1		
15	10					2
3	10					2
6	13					
13	7					1
12	10					
9	13				1	1
11	10					2
2	11				1	
7	8					1
4	11				2	
10	9				1	
14	11					1
29	10					2
26	21					
24	12				1	1
25	21					
23	14					
27	14				5	1
28	15					3
30	11				6	1

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

Nº. 5																					
$\frac{3}{4}$ " x 4' x 3'																		1	2	1	
$\frac{3}{4}$ " x 6' x 3'																				1	

PIEZAS DE LARGAS DIMENSIONES																														
CATEGORÍA DIAMÉTRICA																														
25-30		30-35				35-40				40-45				45-50				50-55												
NUMERO DE TROZA																														
Calidad	1	17	26	27	30	18	19	23	24	29	9	10	13	14	16	2	7	22	25	28	4	8	11	15	21	3	5	6	12	20
Dimensiones	NUMERO DE PIEZAS																													

Nº. 2																					
$\frac{3}{4}$ " x 4' x 6'												1									
$\frac{3}{4}$ " x 6' x 6'																					1
$\frac{3}{4}$ " x 4' x 7'																			1		
$\frac{3}{4}$ " x 6 x 7'											1										
$\frac{3}{4}$ " x 3 $\frac{3}{4}$ " x 8'																					
$\frac{3}{4}$ " x 5 $\frac{1}{2}$ " x 8'																					
$\frac{1}{2}$ " x 4' x 8'							1														
$\frac{1}{4}$ " x 6' x 8'																	2			1	
$\frac{1}{2}$ " x 8' x 8'																	1		2		
$\frac{1}{4}$ " x 10' x 8'																	2		1		
$\frac{1}{2}$ " x 12' x 8'																	1		1		

Nº. 3																					
$\frac{3}{4}$ " x 4' x 6'																					
$\frac{3}{4}$ " x 6' x 6'																			1	1	
$\frac{3}{4}$ " x 4' x 7'																					
$\frac{3}{4}$ " x 6 x 7'																					
$\frac{1}{4}$ " x 3 $\frac{3}{4}$ " x 8'		1										1									
$\frac{3}{4}$ " x 5 $\frac{1}{2}$ " x 8'																					
$\frac{1}{2}$ " x 4' x 8'							1					2									
$\frac{1}{2}$ " x 6' x 8'							1					2									
$\frac{1}{2}$ " x 8' x 8'																	1	1			

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones).

Continuación del anexo 3 (Piezas generadas de las trozas para la alternativa de producción de tablas y cuartones)

PIEZAS GENERADAS DE LOS CUARTONES						
No. Troza	Número de piezas					
	Barrote 1 1/4" x 3 1/2 "x 8'	Polín 3" x 3" x 8'	Polín 3 1/4" x 3 1/4" x 8'	Tiras		
				1 3/4" x 3" x 8'	3/4" x 2 3/4" x 8'	
1	11		1			
17	10					
26	10					
27	9		1			
30	10					
18	12			1		1
19	11					
23	9			1		
24	12		1			
29	10			1		
9	11					
10	6		2	2		1
13	18		1			
14	4			9		
16	14		1			
2	21			4		2
7	17		2	2		1
22	18					
25	9		1			2
28	11		1			
4	23					
8	3		2	3		9
11	21		1			
15	11		1	3		
21	14		2	2		
3	34		1	1		
5	15		2	1		1
6	30	4	2			1
12	7	3				1
20	29		1			

Anexo 4. Determinación del coeficiente de aserrío nominal y real

Trozas para la alternativa de producción de tablas (Coeficiente de aserrío nominal)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío nominal %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
6	4	25-30	0.1822	0.1064	58.38	0.8619	0.4674	54.23	56.84
11	4	25-30	0.1762	0.0950	53.91				
13	4	25-30	0.1661	0.0834	50.21				
25	4	25-30	0.1732	0.0896	51.72				
26	4	25-30	0.1642	0.0931	56.69				
2	4	30-35	0.2085	0.1194	57.26	1.0938	0.5992	54.78	
4	4	30-35	0.2141	0.1239	57.85				
5	4	30-35	0.1947	0.1026	52.72				
7	4	30-35	0.2415	0.1363	56.43				
9	4	30-35	0.2350	0.1170	49.78				
10	4	35-40	0.3213	0.1752	54.54	1.5384	0.8552	55.59	
14	4	35-40	0.3155	0.1724	54.63				
16	4	35-40	0.2667	0.1455	54.55				
27	4	35-40	0.3130	0.1772	56.60				
28	4	35-40	0.3219	0.1849	57.46				
3	4	40-45	0.3939	0.2340	59.41	1.8935	1.0810	57.09	
12	4	40-45	0.4079	0.2300	56.37				
15	4	40-45	0.3638	0.1990	54.70				
18	4	40-45	0.3986	0.2320	58.22				
20	4	40-45	0.3292	0.1859	56.47				
1	4	45-50	0.4308	0.2574	59.75	2.3112	1.3552	58.64	
8	4	45-50	0.4941	0.2859	57.87				
19	4	45-50	0.4317	0.2443	56.59				
21	4	45-50	0.4504	0.2692	59.78				
24	4	45-50	0.5042	0.2983	59.17				
17	4	50-55	0.6197	0.3460	55.83	2.9340	1.6858	57.46	
22	4	50-55	0.5951	0.3532	59.34				
23	4	50-55	0.5624	0.3180	56.54				
29	4	50-55	0.5785	0.3439	59.45				
30	4	50-55	0.5782	0.3248	56.16				
TOTAL						10.6328	6.0438		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas (Coeficiente de aserrío real)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m³	Madera aserrada en m³	Coeficiente de aserrío real %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
6	4	25-30	0.1822	0.1388	76.17	0.8619	0.6077	70.51	73.3
11	4	25-30	0.1762	0.1236	70.17				
13	4	25-30	0.1661	0.1096	65.97				
25	4	25-30	0.1732	0.1154	66.64				
26	4	25-30	0.1642	0.1203	73.22				
2	4	30-35	0.2085	0.1554	74.55	1.0938	0.7801	71.32	
4	4	30-35	0.2141	0.1615	75.41				
5	4	30-35	0.1947	0.1337	68.66				
7	4	30-35	0.2415	0.1772	73.36				
9	4	30-35	0.2350	0.1524	64.85				
10	4	35-40	0.3213	0.2258	70.27	1.5384	1.1023	71.65	
14	4	35-40	0.3155	0.2240	70.99				
16	4	35-40	0.2667	0.1887	70.75				
27	4	35-40	0.3130	0.2245	71.71				
28	4	35-40	0.3219	0.2394	74.37				
3	4	40-45	0.3939	0.3006	76.33	1.8935	1.3925	73.54	
12	4	40-45	0.4079	0.2966	72.70				
15	4	40-45	0.3638	0.2560	70.36				
18	4	40-45	0.3986	0.3000	75.26				
20	4	40-45	0.3292	0.2393	72.68				
1	4	45-50	0.4308	0.3292	76.41	2.3112	1.7527	75.84	
8	4	45-50	0.4941	0.3657	74.01				
19	4	45-50	0.4317	0.3309	76.65				
21	4	45-50	0.4504	0.3454	76.68				
24	4	45-50	0.5042	0.3815	75.66				
17	4	50-55	0.6197	0.4443	71.69	2.9340	2.1586	73.57	
22	4	50-55	0.5951	0.4514	75.85				
23	4	50-55	0.5624	0.4071	72.39				
29	4	50-55	0.5785	0.4394	75.95				
30	4	50-55	0.5782	0.4164	72.02				
TOTAL						10.6328	7.7939		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas (Coeficiente de aserrío nominal)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío nominal %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
22	5	25-30	0.1613	0.0884	54.79	0.8061	0.4068	50.47	52.14
23	5	25-30	0.1629	0.0818	50.23				
24	5	25-30	0.1446	0.0705	48.77				
26	5	25-30	0.1702	0.0901	52.92				
27	5	25-30	0.1672	0.0760	45.46				
10	5	30-35	0.2109	0.1136	53.84	1.0034	0.5346	53.28	
13	5	30-35	0.2226	0.1264	56.81				
14	5	30-35	0.1704	0.1000	58.68				
17	5	30-35	0.2143	0.1021	47.62				
18	5	30-35	0.1852	0.0925	49.96				
11	5	35-40	0.2470	0.1305	52.83	1.3969	0.7173	51.35	
16	5	35-40	0.2415	0.1315	54.43				
21	5	35-40	0.2836	0.1475	52.00				
3	5	35-40	0.2973	0.1513	50.89				
9	5	35-40	0.3274	0.1565	47.80				
1	5	40-45	0.3918	0.1860	47.48	1.8500	0.9213	49.8	
2	5	40-45	0.4030	0.1905	47.28				
12	5	40-45	0.3588	0.2003	55.82				
19	5	40-45	0.3609	0.1842	51.03				
20	5	40-45	0.3355	0.1603	47.77				
7	5	45-50	0.5093	0.2912	57.18	2.4209	1.2913	53.34	
8	5	45-50	0.4284	0.2382	55.62				
15	5	45-50	0.5022	0.2845	56.66				
25	5	45-50	0.4402	0.2599	59.04				
28	5	45-50	0.5408	0.2174	40.20				
4	5	50-55	0.6339	0.3744	59.07	2.8026	1.4883	53.1	
5	5	50-55	0.5379	0.3110	57.81				
6	5	50-55	0.5146	0.2524	49.04				
29	5	50-55	0.5353	0.2707	50.57				
30	5	50-55	0.5809	0.2798	48.17				
TOTAL						10.2799	5.3595		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas (Coeficiente de aserrío real)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío real %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
22	5	25-30	0.1613	0.1139	70.63	0.8061	0.5285	65.56	67.33
23	5	25-30	0.1629	0.1078	66.22				
24	5	25-30	0.1446	0.0915	63.32				
26	5	25-30	0.1702	0.1168	68.60				
27	5	25-30	0.1672	0.0984	58.87				
10	5	30-35	0.2109	0.1477	70.05	1.0034	0.6946	69.22	
13	5	30-35	0.2226	0.1647	73.99				
14	5	30-35	0.1704	0.1292	75.83				
17	5	30-35	0.2143	0.1329	61.98				
18	5	30-35	0.1852	0.1201	64.87				
11	5	35-40	0.2470	0.1693	68.55	1.3969	0.9276	66.4	
16	5	35-40	0.2415	0.1698	70.29				
21	5	35-40	0.2836	0.1900	66.97				
3	5	35-40	0.2973	0.1955	65.74				
9	5	35-40	0.3274	0.2031	62.02				
1	5	40-45	0.3918	0.2396	61.16	1.8500	1.1929	64.48	
2	5	40-45	0.4030	0.2485	61.67				
12	5	40-45	0.3588	0.2607	72.66				
19	5	40-45	0.3609	0.2364	65.49				
20	5	40-45	0.3355	0.2077	61.90				
7	5	45-50	0.5093	0.3723	73.09	2.4209	1.6552	68.37	
8	5	45-50	0.4284	0.3051	71.22				
15	5	45-50	0.5022	0.3649	72.67				
25	5	45-50	0.4402	0.3333	75.71				
28	5	45-50	0.5408	0.2797	51.72				
4	5	50-55	0.6339	0.4802	75.76	2.8026	1.9226	68.6	
5	5	50-55	0.5379	0.3986	74.09				
6	5	50-55	0.5146	0.3236	62.89				
29	5	50-55	0.5353	0.3468	64.79				
30	5	50-55	0.5809	0.3734	64.27				
TOTAL						10.2799	6.9215		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuarterones (Coeficiente de aserrío nominal)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío nominal %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
1	4	25-30	0,1614	0,0950	58,85				55,36
7	4	25-30	0,1618	0,0820	50,68				
10	4	25-30	0,1561	0,0881	56,44				
11	4	25-30	0,1673	0,1018	60,81				
12	4	25-30	0,1421	0,0811	57,08	0,7887	0,4480	56,8	
2	4	30-35	0,2011	0,1231	61,22				
4	4	30-35	0,2311	0,1268	54,87				
8	4	30-35	0,2276	0,1310	57,54				
13	4	30-35	0,2061	0,1202	58,35				
14	4	30-35	0,1949	0,1130	57,97	1,0608	0,6141	57,89	
3	4	35-40	0,2595	0,1494	57,55				
5	4	35-40	0,2934	0,1664	56,71				
6	4	35-40	0,2763	0,1534	55,52				
9	4	35-40	0,2934	0,1741	59,36				
15	4	35-40	0,2819	0,1647	58,42	1,4044	0,8079	57,53	
16	4	40-45	0,4002	0,2228	55,67				
17	4	40-45	0,3644	0,1668	45,77				
18	4	40-45	0,4167	0,2182	52,36				
19	4	40-45	0,3460	0,1887	54,54				
20	4	40-45	0,3850	0,2211	57,43	1,9123	1,0175	53,21	
23	4	45-50	0,4458	0,2520	56,53				
26	4	45-50	0,4928	0,2663	54,03				
27	4	45-50	0,5186	0,2488	47,97				
28	4	45-50	0,4175	0,2341	56,07				
29	4	45-50	0,4513	0,2511	55,64	2,3259	1,2522	53,84	
21	4	50-55	0,6005	0,3552	59,16				
22	4	50-55	0,5785	0,3071	53,08				
24	4	50-55	0,6002	0,3472	57,84				
25	4	50-55	0,5462	0,3257	59,63				
30	4	50-55	0,5741	0,2780	48,41	2,8996	1,6132	55,64	
TOTAL						10.3917	5.7529		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuarterones (Coeficiente de aserrío real)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío real %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %	
1	4	25-30	0,1614	0,1158	71,77	0,7887	0,5429	68,83	68,74	
7	4	25-30	0,1618	0,0999	61,74					
10	4	25-30	0,1561	0,1069	68,46					
11	4	25-30	0,1673	0,1241	74,16					
12	4	25-30	0,1421	0,0962	67,72					
2	4	30-35	0,2011	0,1503	74,77	1,0608	0,7557	71,24		
4	4	30-35	0,2311	0,1555	67,29					
8	4	30-35	0,2276	0,1621	71,22					
13	4	30-35	0,2061	0,1500	72,77					
14	4	30-35	0,1949	0,1378	70,72					
3	4	35-40	0,2595	0,1861	71,69	1,4044	1,0016	71,32		
5	4	35-40	0,2934	0,2073	70,68					
6	4	35-40	0,2763	0,1871	67,72					
9	4	35-40	0,2934	0,2152	73,34					
15	4	35-40	0,2819	0,2059	73,04					
16	4	40-45	0,4002	0,2802	70,01	1,9123	1,2730	66,57		
17	4	40-45	0,3644	0,2090	57,36					
18	4	40-45	0,4167	0,2743	65,82					
19	4	40-45	0,3460	0,2420	69,94					
20	4	40-45	0,3850	0,2676	69,50					
23	4	45-50	0,4458	0,3126	70,13	2,3259	1,5577	66,97		
26	4	45-50	0,4928	0,3254	66,04					
27	4	45-50	0,5186	0,3125	60,25					
28	4	45-50	0,4175	0,2905	69,58					
29	4	45-50	0,4513	0,3167	70,18					
21	4	50-55	0,6005	0,4377	72,88	2,8996	2,0119	66,39		
22	4	50-55	0,5785	0,3840	66,38					
24	4	50-55	0,6002	0,4359	72,62					
25	4	50-55	0,5462	0,4019	73,59					
30	4	50-55	0,5741	0,3524	61,38					
					TOTAL	10.3917	7.1428			

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuarterones (Coeficiente de aserrío nominal)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m³	Madera aserrada en m³	Coeficiente de aserrío nominal %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m³	Volumen total de mad. aserrada por cat. diamétrica en m³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
1	5	25-30	0,1733	0,1101	63,56	0,8501	0,4700	55,29	54,65
17	5	25-30	0,1649	0,0921	55,89				
26	5	25-30	0,1672	0,0808	48,34				
27	5	25-30	0,1595	0,0968	60,72				
30	5	25-30	0,1852	0,0901	48,62				
18	5	30-35	0,1997	0,1198	59,96	1,0493	0,6040	57,56	
19	5	30-35	0,2178	0,1195	54,85				
23	5	30-35	0,1883	0,1097	58,27				
24	5	30-35	0,2176	0,1322	60,79				
29	5	30-35	0,2259	0,1228	54,37				
9	5	35-40	0,2822	0,1329	47,11	1,5123	0,7973	52,72	
10	5	35-40	0,2892	0,1370	47,35				
13	5	35-40	0,3262	0,2007	61,52				
14	5	35-40	0,3281	0,1700	51,81				
16	5	35-40	0,2866	0,1567	54,69				
2	5	40-45	0,3400	0,2116	62,23	1,7975	1,0168	56,57	
7	5	40-45	0,3984	0,2439	61,22				
22	5	40-45	0,3292	0,1902	57,76				
25	5	40-45	0,3750	0,1700	45,34				
28	5	40-45	0,3549	0,2011	56,66				
4	5	45-50	0,4845	0,2574	53,13	2,2645	1,1920	52,64	
8	5	45-50	0,4242	0,1976	46,59				
11	5	45-50	0,4746	0,2802	59,05				
15	5	45-50	0,4645	0,2125	45,74				
21	5	45-50	0,4167	0,2442	58,61				
3	5	50-55	0,5597	0,3189	56,97	2,8172	1,5434	54,78	
5	5	50-55	0,5483	0,2702	49,28				
6	5	50-55	0,5365	0,3273	61,01				
12	5	50-55	0,5664	0,2708	47,81				
20	5	50-55	0,6062	0,3562	58,76				
TOTAL						10.2907	5.6234		

Continuación del anexo 4. Trozas para la alternativa de producción de tablas y cuarterones (Coeficiente de aserrío real)

Troza No.	Calidad	Categoría diamétrica	Volumen de la troza en m ³	Madera aserrada en m ³	Coeficiente de aserrío nominal %	Volumen total de mad. en rollo por categoría diamétrica en m ³	Volumen total de mad. aserrada por cat.diamétrica en m ³	Coeficiente de aserrío nominal por cat. diamétrica %	Coeficiente de aserrío global %
1	5	25-30	0,1733	0,1272	73,44				65,61
17	5	25-30	0,1649	0,1106	67,12				
26	5	25-30	0,1672	0,0953	56,97				
27	5	25-30	0,1595	0,1110	69,62				
30	5	25-30	0,1852	0,1065	57,51	0,8501	0,5507	64,78	
18	5	30-35	0,1997	0,1456	72,88				
19	5	30-35	0,2178	0,1455	66,78				
23	5	30-35	0,1883	0,1343	71,33				
24	5	30-35	0,2176	0,1447	66,53				
29	5	30-35	0,2259	0,1508	66,76	1,0493	0,7209	68,7	
9	5	35-40	0,2822	0,1629	57,72				63,97
10	5	35-40	0,2892	0,1610	55,68				
13	5	35-40	0,3262	0,2384	73,09				
14	5	35-40	0,3281	0,2204	67,17				
16	5	35-40	0,2866	0,1847	64,47	1,5123	0,9674	63,97	
2	5	40-45	0,3400	0,2577	75,81				
7	5	40-45	0,3984	0,2903	72,86				
22	5	40-45	0,3292	0,2288	69,51				
25	5	40-45	0,3750	0,2076	55,37				
28	5	40-45	0,3549	0,2449	69,00	1,7975	1,2293	68,39	
4	5	45-50	0,4845	0,3123	64,45				63,95
8	5	45-50	0,4242	0,2466	58,14				
11	5	45-50	0,4746	0,3370	71,02				
15	5	45-50	0,4645	0,2592	55,81				
21	5	45-50	0,4167	0,2929	70,30	2,2645	1,4481	63,95	
3	5	50-55	0,5597	0,3773	67,42				
5	5	50-55	0,5483	0,3262	59,50				
6	5	50-55	0,5365	0,3755	69,99				
12	5	50-55	0,5664	0,3282	57,94				
20	5	50-55	0,6062	0,4282	70,63	2,8172	1,8355	65,15	
TOTAL						10,2907	6,7519		

Anexo 5. Volúmenes nominales y reales de los diferentes tipos de piezas generadas de las trozas muestreadas para este fin.

Volúmenes nominales	
Dimensiones	Volumen m ³
¾"x4"x 4´	0.002360
¾"x6"x 4´	0.003540
¾"x4"x 3´	0.001770
¾"x6"x 3´	0.002655
¾"x 4"x6'	0.003540
¾"x 6"x6'	0.005309
¾"x 4"x7'	0.004130
¾"x 6x7'	0.006194
¾"x3¾"x8´	0.004425
¾"x5½"x8´	0.006489
⅞"x4"x8´	0.005506
⅞"x6"x8´	0.008259
⅞"x8"x8´	0.011012
⅞"x10"x8´	0.013765
⅞"x12"x8´	0.016518
Productos generados de los cuartones	
1¼" x 3½" x 8'	0.006883
3" x 3" x 8'	0.014158
3¼" x 3¼" x 8'	0.016616
1¾" x 3" x 8'	0.008259
¾" x 2 ¾" x 8'	0.003245

Volúmenes reales	
Dimensiones	Volumen m ³
¾"x4"x 4´	0.003160
¾"x6"x 4´	0.004687
¾"x4"x 3´	0.002435
¾"x6"x 3´	0.003612
¾"x 4"x6'	0.004616
¾"x 6"x6'	0.006846
¾"x 4"x7'	0.005428
¾"x 6x7'	0.008050
¾"x3¾"x8´	0.005571
¾"x5½"x8´	0.007745
⅞"x4"x8´	0.007327
⅞"x6"x8´	0.010866
⅞"x8"x8´	0.014224
⅞"x10"x8´	0.017603
⅞"x12"x8´	0.021022
Productos generados de los cuartones	
1¼" x 3½" x 8'	0.008018
3" x 3" x 8'	0.015657
3¼" x 3¼" x 8'	0.015657
1¾" x 3" x 8'	0.011068
¾" x 2 ¾" x 8'	0.004651

Anexo 6. Proporción de calidad de la madera aserrada por categoría diamétrica de la trocería

Alternativa de producción de tablas de trozas de calidad 4

Categoría diamétrica 25-30				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.6077	0.0046	0.0460	0.0679	0.4892
% de calidad por cat. diam.	0.76	7.57	11.17	80.50

Categoría diamétrica 30-35				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.7801	0.0054	0.0773	0.2069	0.4905
% de calidad por cat. diam.	0.70	9.91	26.52	62.87

Categoría diamétrica 35-40				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.1023	0.0350	0.1699	0.2714	0.6261
% de calidad por cat. diam.	3.17	15.41	24.62	56.80

Categoría diamétrica 40-45				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.3925	0.2342	0.2132	0.1853	0.7597
% de calidad por cat. diam.	16.82	15.31	13.30	54.56

Categoría diamétrica 45-50				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.7527	0.1372	0.2878	0.2886	1.0391
% de calidad por cat. diam.	7.83	16.42	16.47	59.28

Categoría diamétrica 50-55				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
2.1586	0.1861	0.1258	0.2327	1.6140
% de calidad por cat. diam.	8.62	5.83	10.78	74.77

Continuación del anexo 6. Alternativa de producción de tablas de trozas de calidad 5

Categoría diamétrica 25-30				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.5285	0.0000	0.0284	0.0109	0.4892
% de calidad por cat. diam.	0.00	5.38	2.06	92.56

Categoría diamétrica 30-35				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.6946	0.0056	0.0047	0.0620	0.6223
% de calidad por cat. diam.	0.81	0.67	8.93	89.59

Categoría diamétrica 35-40				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.9276	0.0109	0.0456	0.0609	0.8102
% de calidad por cat. diam.	1.17	4.92	6.56	87.35

Categoría diamétrica 40-45				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.1929	0.0032	0.0626	0.1974	0.9298
% de calidad por cat. diam.	0.26	5.25	16.55	77.94

Categoría diamétrica 45-50				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.6552	0.0032	0.0946	0.1885	1.3690
% de calidad por cat. diam.	0.19	5.72	11.39	82.71

Categoría diamétrica 50-55				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.9226	0.1312	0.1404	0.2309	1.4201
% de calidad por cat. diam.	6.82	7.30	12.01	73.86

Continuación del anexo 6. Alternativa de producción de tablas y cuartones de trozas de calidad 4

Categoría diamétrica 25-30				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.5429	0.0147	0.0140	0.0509	0.4633
% de calidad por cat. diam.	2.70	2.58	9.38	85.34

Categoría diamétrica 30-35				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.7557	0.0056	0.0364	0.1364	0.5773
% de calidad por cat. diam.	0.74	4.81	18.05	76.39

Categoría diamétrica 35-40				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.0016	0.0109	0.0975	0.1531	0.7401
% de calidad por cat. diam.	1.08	9.74	15.28	73.89

Categoría diamétrica 40-45				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.2730	0.0473	0.1287	0.1749	0.9221
% de calidad por cat. diam.	3.72	10.11	13.74	72.44

Categoría diamétrica 45-50				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.5577	0.2024	0.2159	0.2991	0.8403
% de calidad por cat. diam.	12.99	13.86	19.20	53.94

Categoría diamétrica 50-55				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
2.0119	0.1494	0.1604	0.4344	1.2678
% de calidad por cat. diam.	7.42	7.97	21.59	63.02

Continuación del anexo 6. Alternativa de producción de tablas y cuarterones de trozas de calidad 5

Categoría diamétrica 25-30				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.5507	0.0000	0.0056	0.0078	0.5374
% de calidad por cat. diam.	0.00	1.01	1.41	97.58

Categoría diamétrica 30-35				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.7209	0.0073	0.0324	0.0679	0.6132
% de calidad por cat. diam.	1.02	4.50	9.42	85.06

Categoría diamétrica 35-40				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
0.9674	0.0151	0.0927	0.0888	0.7709
% de calidad por cat. diam.	1.56	9.58	9.18	79.68

Categoría diamétrica 40-45				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.2293	0.0000	0.0000	0.0547	1.1747
% de calidad por cat. diam.	0.00	0.00	4.45	95.55

Categoría diamétrica 45-50				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.4481	0.1968	0.0635	0.1628	1.0250
% de calidad por cat. diam.	13.59	4.38	11.24	70.78

Categoría diamétrica 50-55				
Vol. total mad. aserrada en m ³ por categoría diamétrica	Volumen total por calidad en m ³			
	2	3	4	5
1.8355	0.1640	0.0968	0.1323	1.4424
% de calidad por cat. diam.	8.94	5.27	7.21	78.58

Anexo 7. Proporción de calidades de la madera aserrada (global)

Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas de trozas de calidad 4

Vol. total mad. aserrada m ³ (30 trozas)	VOLUMEN TOTAL POR CALIDAD EN m ³			
	2	3	4	5
7.7939	0.6026	0.9200	1.2526	5.0186
% de calidad por cat. Diam.	7.73	11.80	16.07	64.39

Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas de trozas de calidad 5

Vol. total mad. aserrada m ³ (30 trozas)	VOLUMEN TOTAL POR CALIDAD EN m ³			
	2	3	4	5
6.9215	0.1540	0.3764	0.7505	5.6406
% de calidad por cat. Diam.	2.22	5.44	10.84	81.49

Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas y cuarterones de trozas de calidad 4

Vol. total mad. aserrada m ³ (30 trozas)	VOLUMEN TOTAL POR CALIDAD EN m ³			
	2	3	4	5
7.1428	0.4302	0.6529	1.2488	4.8110
% de calidad por cat. Diam.	6.02	9.14	17.48	67.35

Proporción de calidades para la alternativa de producción de tablas y cuarterones de trozas de calidad 5

Vol. total mad. aserrada m ³ (30 trozas)	VOLUMEN TOTAL POR CALIDAD EN m ³			
	2	3	4	5
6.7519	0.3832	0.2910	0.5142	5.5635
% de calidad por cat. Diam.	5.68	4.31	7.62	82.40

Anexo 8. Características y volumen de las trozas procesadas para determinar la proporción de subproductos

Troza No.	Calidad	Extremo A		Extremo B		Diámetro promedio en cm.	Categoría diamétrica	Diámetro promedio extremo A	Diámetro promedio extremo B	Área. Extremo A en cm ²	Área. Extremo B en cm ²	Longitud en cm.	Volumen de la troza en m ³
		en cm		en cm.									
		Ø1	Ø2	Ø1	Ø2								
9	5	26	31	25	28	27.5	25-30	28.5	26.5	637.94	551.55	262	0.1558
11	5	24	24	29	29	26.6	25-30	24	29.0	452.39	660.52	262	0.1458
4	5	35	33	30	29	31.75	30-35	34	29.5	907.92	683.49	262	0.2085
7	5	28	32	31	33	31	30-35	30	32.0	706.86	804.25	262	0.1980
5	5	36	37.5	39	42	38.62	35-40	36.75	40.5	1060.73	1288.25	262	0.3077
12	5	39	40	32	32	35.75	35-40	39.5	32.0	1225.42	804.25	262	0.2659
3	5	39.5	40	45	41	41.37	40-45	39.75	43.0	1240.98	1452.20	262	0.3528
8	5	48	40	42	40	42.5	40-45	44	41.0	1520.53	1320.26	262	0.3721
6	5	50	47	46	38	45.25	45-50	48.5	42.0	1847.46	1385.45	262	0.4235
1	5	52	47	49	48	49	45-50	49.5	48.5	1924.43	1847.46	262	0.4941
10	5	53	52	55	56	54	50-55	52.5	55.5	2164.76	2419.23	262	0.6005
2	5	51	45	55	63	53.5	50-55	48	59.0	1809.56	2733.98	262	0.5952

Continuación del anexo 9.

No. de troza	Vol. real de madera aserrada en m ³
1	0.3275
2	0.3744
3	0.2451
4	0.1390
5	0.2109
6	0.3103
7	0.1408
8	0.2473
9	0.1001
10	0.4191
11	0.0904
12	0.1665

Anexo 10. Determinación de la proporción de madera aserrada y de subproductos

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

No. Troza	Densidad promedio en Kg/m ³	Peso de costeras y recortes en Kg	Volumen costeras y recortes en m ³
1	940	98	0.1043
2	1040	144.75	0.1392
3	980	66.25	0.0676
4	930	49.25	0.0530
5	1050	57.25	0.0545
6	890	57	0.0640
7	1030	42	0.0408
8	1060	49.5	0.0467
9	910	36.5	0.0401
10	960	82.5	0.0859
11	1050	30.75	0.0293
12	1000	71.75	0.0718

Proporción de aserrín = Vol. Troza - Vol.de madera aserrada + Vol. de costera y recortes

No. Troza	Vol. de la troza m ³	Vol. de madera aserrada en m ³	Vol. de costeras y recortes en m ³	Vol. de aserrín en m ³
1	0.4941	0.3275	0.1043	0.0623
2	0.5952	0.3744	0.1392	0.0817
3	0.3528	0.2451	0.0676	0.0401
4	0.2085	0.1390	0.0530	0.0165
5	0.3077	0.2109	0.0545	0.0423
6	0.4235	0.3103	0.0640	0.0491
7	0.1980	0.1408	0.0408	0.0164
8	0.3721	0.2473	0.0467	0.0782
9	0.1558	0.1001	0.0401	0.0156
10	0.6005	0.4191	0.0859	0.0955

Continuación del anexo 10.

11	0.1458	0.0904	0.0293	0.0261
12	0.2659	0.1665	0.0718	0.0277
TOTAL	4.1199	2.7714	0.7971	0.5514

Proporción de mad. aserrada (%)= Vol. total de mad. aserrada/ Vol. total de las trozas X 100 67,27

Proporción de costeras y recortes (%)= Vol. total de costeras y recortes/ Vol. total de las trozas X 100 19,35

Proporción de aserrín (%) = Vol. total de aserrín/ Vol. total de las trozas X 100 13,38

Continuación del anexo 10

$$\text{Volumen Costeras} = \frac{(\text{Volumen tabla})(\text{Peso costeras})}{\text{Peso tabla}}$$

No. Troza	Volumen de la tabla m ³	Peso de la tabla kg	Peso de costeras y recortes en Kg	Volumen costeras y recortes en m ³
1	0.00948121 (T1-1)	9.5	98	0.0978
	0.00285314 (T2-1)	2.5	98	0.1118
	0.00625951 (T3-1)	6	98	0.1022
			Promedio	0.1040
2	0.00398743 (T1-2)	4.25	144.75	0.1358
	0.01106704 (T2-2)	11.5	144.75	0.1393
			Promedio	0.1376
3	0.00780626 (T1-3)	7.75	66.25	0.0667
	0.00515156 (T2-3)	5.25	66.25	0.0650
	0.00687779 (T3-3)	6.5	66.25	0.0701
			Promedio	0.0673
4	0.00293862 (T1-4)	2.5	49.25	0.0579
	0.00274861 (T2-4)	2.75	49.25	0.0492
	0.00645699 (T3-4)	6.25	49.25	0.0509
			Promedio	0.0527
5	0.00522481	5.5	57.25	0.0544
6	0.01113986	10	57	0.0635
7	0.00518206	5.25	42	0.0415
8	0.00631184	6.75	49.5	0.0463
9	0.00348194 (T1-9)	3.25	36.5	0.0391
	0.00525419 (T2-9)	5	36.5	0.0384
	0.01075417 (T3-9)	9.25	36.5	0.0424
			Promedio	0.0400
10	0.00936054	9	82.5	0.0858

Continuación del anexo 10.

11	0.00715635 (T1-11)	7.5	30.75	0.0293
	0.00282699 (T2-11)	3.1	30.75	0.0280
	0.00480361 (T3-11)	5	30.75	0.0295
	Promedio			0.0290
12	0.00448152 (T1-12)	4.5	71.75	0.0715
	0.00745365 (T2-12)	7.75	71.75	0.0690
	0.010132 (T3-12)	10	71.75	0.0727
	Promedio			0.0711

Proporción de aserrín = Vol. Troza - Vol.de madera aserrada + Vol. de costera y recortes

No. Troza	Vol. de la troza m ³	Vol. de madera aserrada en m ³	Vol. de costeras y recortes en m ³	Vol. de aserrín en m ³
1	0.4941	0.3275	0.1040	0.0626
2	0.5952	0.3744	0.1376	0.0833
3	0.3528	0.2451	0.0673	0.0404
4	0.,2085	0.1390	0.0527	0.0168
5	0.3077	0.2109	0.0544	0.0424
6	0.4235	0.3103	0.0635	0.0497
7	0.1980	0.1408	0.0415	0.0157
8	0.3721	0.2473	0.0463	0.0786
9	0.1558	0.1001	0.0400	0.0157
10	0.6005	0.4191	0.0858	0.0956
11	0.1458	0.0904	0.0290	0.0264
12	0.2659	0.1665	0.0711	0.0284
TOTAL	4.1199	2.7714	0.7929	0.5557

Continuación del anexo 10.

Proporción de mad. aserrada (%) = Vol. total de mad. aserrada/ Vol. total de las trozas X 100

67.27

Proporción de costeras y recortes (%) = Vol. total de costeras y recortes/ Vol. total de las trozas X 100

19.25

Proporción de aserrín (%) = Vol. total de aserrín/ Vol. total de las trozas X 100

13.49

Anexo 11. Determinación de la variación del espesor de la madera en el proceso de aserrió

No. Tabla	1	2	3	4	5	6	MEDIA X	MEDIA $\bar{X}$	RANGO R_w	RANGO $\bar{R}_w$	$\bar{R}_b$
1	28.13	28.17	26.71	27.84	28.14	26.59	27.597	26.603	1.58	1.71	2.377
2	27.17	26.12	26.33	26.39	26.74	26.26	26.502		1.05		
3	23.4	24.66	26.21	25.22	25.66	26.17	25.220		2.81		
4	27.49	25.64	27.32	27.32	25.72	27	26.748		1.85		
5	26.28	27.51	26.68	26.93	27.53	26.77	26.950		1.25		
6	25.1	25.03	24.18	25.48	25.36	25.04	25.032	25.350	1.3	1.92	1.345
7	27.03	25.89	26.18	26.19	26.18	26.36	26.305		1.14		
8	23.89	24.91	25.98	24.5	25.78	26.33	25.232		2.44		
9	25.56	23.68	25.87	25.85	24.83	25.53	25.220		2.19		
10	26.49	24.77	23.94	25.82	24.65	24.09	24.960		2.55		
11	24.17	24.57	24.12	26.32	26.17	26.4	25.292	25.802	2.28	1.11	2.088
12	26.16	25.53	25.52	25.99	25.48	25.83	25.752		0.68		
13	26.58	27.15	26.85	27.01	27.24	26.83	26.943		0.66		
14	25.5	25.98	26.67	26.02	26.33	26.51	26.168		1.17		
15	24.74	24.87	25.24	24.5	24.78	25	24.855		0.74		
16	25.36	25.25	25.31	24.17	25.2	25.26	25.092	26.029	1.19	1.23	1.877
17	26.41	26.9	26.25	26.85	26.49	26.55	26.575		0.65		
18	27.04	27.41	26.02	27.34	27.54	26.46	26.968		1.52		
19	26.66	25.69	25.44	26.85	26.11	25.6	26.058		1.41		
20	24.73	26.11	24.97	25.38	26.09	25.43	25.452		1.38		

Continuación del anexo 11

71	27.31	27.02	25.76	26.86	26.92	26.21	26.680	26.274	1.55	1.09	2.852
72	26.35	26.32	26.33	26.83	26.76	26.81	26.567		0.51		
73	23.89	25.28	23.74	23.68	24.54	24.5	24.272		1.6		
74	27.58	27.26	26.76	26.61	27.08	27.45	27.123		0.97		
75	27.12	26.78	26.3	26.75	26.71	26.71	26.728		0.82		
76	26.17	25.82	26.92	26.9	26.43	26.92	26.527	26.220	1.1	1.084	2.010
77	25.74	24.77	25.04	25.16	24.94	25.56	25.202		0.97		
78	27.29	26.21	26.15	27.03	26.54	26.27	26.582		1.14		
79	25.61	24.89	26.1	25.68	25.2	25.99	25.578		1.21		
80	27.62	26.62	27.18	26.94	27.58	27.33	27.212		1		
81	26.61	26.4	26.29	25.87	26.25	26.05	26.245	26.130	0.74	0.626	2.598
82	26.16	26.21	26.1	26.45	26.24	25.7	26.143		0.75		
83	25.76	25.73	25.94	25.92	25.8	26.04	25.865		0.31		
84	24.67	24.87	24.86	24.83	24.96	25.2	24.898		0.53		
85	27.13	27.2	27.65	27.71	27.36	27.93	27.497		0.8		
86	25.7	25.39	25.6	25.69	25.34	25.8	25.587	25.687	0.46	1.002	1.845
87	26.28	26.04	26.41	25.78	25.33	26.26	26.017		1.08		
88	27.61	26.35	26.25	26.81	26.53	26.54	26.682		1.36		
89	25.64	25.96	24.72	25.5	25.46	24.6	25.313		1.36		
90	24.5	25.23	24.65	24.48	25.19	24.97	24.837		0.75		
91	25.22	26.2	26.19	25.41	26.23	26.4	25.942	26.090	1.18	1.022	1.555
92	26.67	26.55	26.8	27.04	27.18	27.49	26.955		0.94		
93	26.6	26.18	26.93	27.09	26.63	26.45	26.647		0.91		
94	25.58	25.79	24.37	25.56	25.9	25.2	25.400		1.53		
95	25.78	25.51	25.23	25.29	25.73	25.51	25.508		0.55		

Continuación del anexo 11

96	26.6	26.73	26.73	26.44	26.54	27.17	26.702	26.350	0.73	1.238	2.140
97	25.1	24.61	25.64	24.99	24.36	25.63	25.055		1.28		
98	24.75	26.62	26.11	25.94	26.78	26.74	26.157		2.03		
99	27.63	27.02	26.5	27.93	27.02	27.07	27.195		1.43		
100	26.55	26.72	26.57	26.59	26.35	27.07	26.642		0.72		

$$\overline{\overline{X}} = 26.148$$

$$\overline{\overline{Rb}} = 2.010$$

$$\overline{\overline{Rw}} = 1.2934$$

$$\overline{\overline{S_w}} = \frac{\overline{\overline{Rw}}}{d_2}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación tenemos:

$$S_w = \frac{1.293}{2.534}$$

$$S_w = 0.5102605$$

$$Sb = \sqrt{\left(\overline{\overline{Rb}}^2\right) - \left(\frac{S_w^2}{n_2}\right)}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación tenemos:

$$Sb = \sqrt{\left(\frac{2.01^2}{2.534}\right) - \left(\frac{0.51026^2}{100}\right)}$$

$$Sb = 0.79485$$

$$St = \sqrt{(Sw)^2 + (Sb)^2}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación tenemos:

$$St = \sqrt{(0.51026)^2 + (0.79485)^2}$$

$$St = 0.94462$$