



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

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

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL
TRIPLAY, DE TABLEROS ENLISTONADOS DE MADERA Y DE RECORTES DE
TRIPLAY, ENCHAPADOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA**

**PRESENTA
MARCOS ADRIÁN RUBIO JIMÉNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. DAVID ZAVALA ZAVALA**

MORELIA, MICHOACÁN, NOVIEMBRE DE 2006



ÍNDICE GENERAL	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. TABLEROS CONTRACHAPADOS	3
2.1.1. Descripción y caracterización de los tableros contrachapados	3
2.1.2. Características de la materia prima maderable para la fabricación de los tableros contrachapados	4
2.1.3. Normas para tableros contrachapados	6
2.1.4. Clasificación de los tableros contrachapados	6
2.1.5. Calentamiento o acondicionamiento de la madera para la producción de chapa	7
2.1.6. Coeficiente de aprovechamiento	8
2.1.7. Clasificación de la chapa (Calidades)	8
2.1.8. Estudios realizados sobre tableros contrachapados en México	9
2.2. TABLEROS ENLISTONADOS	11
2.2.1. Descripción y caracterización de los tableros enlistonados	11
2.2.2. Tipo de madera que se utiliza en la fabricación de los listones	12
2.2.3. Tipos de adhesivos utilizados en tableros enlistonados	12
2.2.4. Preparación de los listones de madera	13
2.2.5. Contenido de humedad de los listones	13
2.2.6. Empalme o tipo de unión entre listones	13
2.2.7. Justificación de los tableros enlistonados	14

3.	OBJETIVOS	15
3.1.	GENERAL	15
3.2.	ESPECÍFICOS	15
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1.	MATERIALES	16
4.1.1.	Material utilizado para las pruebas físico-mecánicas	16
4.1.2.	Equipo utilizado para las pruebas físico-mecánicas	18
4.2.	MÉTODOS	19
4.2.1.	Proceso de elaboración de los tableros enlistonados de madera sólida y de recortes de triplay, enchapados	19
4.2.1.1.	Materia prima maderable	19
4.2.1.2.	Secado de las piezas de madera sólida	19
4.2.1.3.	Cepillado de las piezas de madera sólida	19
4.2.1.4.	Dimensionado o seccionado de las piezas de madera sólida	19
4.2.1.5.	Obtención de los listones de recortes de triplay	19
4.2.1.6.	Saneo y clasificación de los listones de madera sólida y de recortes de triplay	20
4.2.1.7.	Preparación del adhesivo	21
4.2.1.8.	Formación del tablero enlistonado	21
4.2.1.9.	Enfriado del tablero enlistonado	22
4.2.1.10.	Pulido del tablero enlistonado	22
4.2.1.11.	Formación de los tableros enlistonados enchapados	22
4.2.1.12.	Pulido y escuadrado	23
4.2.2.	Evaluaciones y ensayos a realizar	24
4.2.3.	Preparación de las probetas	24
4.2.4.	Ensayo de flexión estática	26
4.2.4.1.	Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad	28
4.2.4.2.	Módulo de Ruptura	28
4.2.4.3.	Módulo de Elasticidad	28
4.2.5.	Resistencia a la extracción de clavos	29
4.2.6.	Evaluación de la adhesión del pegamento	29
4.2.7.	Determinación del contenido de humedad	31

5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
5.1.	ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA	32
	5.1.2. Análisis de los valores medios del E_{LP} , MOR y MOE	32
	5.1.3. Análisis de varianza (ANOVA) para el E_{LP} , MOR y MOE	34
	5.1.4. Comparación de medias para el E_{LP} , MOR y MOE	34
5.2.	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE CLAVOS	41
	5.2.1. Tableros de 19 mm de espesor	41
	5.2.1.1. Análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19 mm de espesor	42
	5.2.1.2. Comparación de medias de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19 mm de espesor	43
	5.2.2. Tableros de 16 mm de espesor	44
	5.2.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm de espesor	46
	5.2.2.2. Comparación de medias de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm de espesor	46
5.3.	EVALUACIÓN DE LA ADHESIÓN DEL PEGAMENTO	47
5.4.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%C.H)	48
6.	CONCLUSIONES	51
7.	RECOMENDACIONES	53
8.	BIBLIOGRAFÍA	54
9.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1.	Requisitos que deben reunir las materias primas maderables para la elaboración de chapa y tableros contrachapados	5
Cuadro 2.	Clasificación de los contrachapados según la norma APA PS1-95	6
Cuadro 3.	Combinaciones de las vistas para tableros tipo 1 y tipos 2 y 3 según la norma NMX-C326 1978	9
Cuadro 4.	Valores de propiedades mecánicas para tableros elaborados con el género <i>Pinus</i>	9
Cuadro 5.	Características generales de los tableros evaluados	16
Cuadro 6.	Dimensiones de las probetas para ensayos mecánicos, adhesión, extracción de clavos y porcentaje de contenido de humedad	26
Cuadro 7.	Análisis de varianza para el E_{LP} , MOR y MOE de los tableros de 16 y 19 mm de espesor	34
Cuadro 8.	Comparación de medias del E_{LP} , MOR y MOE de los tableros de 16 y 19 mm de espesor	35
Cuadro 9.	Características mecánicas en sentido transversal (T) y longitudinal (L) de tableros de 19 mm de espesor	36
Cuadro 10.	Resumen de los tipos de fallas en tableros de 19 mm de espesor, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	37
Cuadro 11.	Características mecánicas en sentido transversal (T) y longitudinal (L) de tableros de 16 mm de espesor	39
Cuadro 12.	Resumen de los tipos de fallas en tableros de 16 mm de espesor, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	40
Cuadro 13.	Resistencia a la extracción de clavos de los tableros de 19 mm de espesor, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	41
Cuadro 14.	Análisis de varianza para la extracción de clavos en tableros de 19mm	43
Cuadro 15.	Comparación de medias de la extracción de clavos en tableros de 19 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	44
Cuadro 16.	Resistencia a la extracción de clavos de los tableros de 16 mm de espesor, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	45
Cuadro 17.	Análisis de varianza para la extracción de clavos en tableros de 16 mm	46
Cuadro 18.	Comparación de medias de la extracción de clavos en tableros de 16 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T)	47
Cuadro 19.	Evaluación de la adhesión en los tableros de 16 y 19 mm	48
Cuadro 20.	Contenidos de humedad de los tableros de 19 mm	49
Cuadro 21.	Contenidos de humedad de los tableros de 16 mm	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1.	Tablero contrachapado (triplay) o normal de 7 capas	17
Figura 2.	Tablero enlistonado con listones de madera sólida, enchapado	17
Figura 3.	Tablero enlistonado con listones de recortes de triplay, enchapado	18
Figura 4.	Recortes del escuadrado del triplay	20
Figura 5.	Listón de madera sólida	20
Figura 6.	Listón de recorte de triplay	20
Figura 7.	Formación de los tableros enlistonados	22
Figura 8.	Engomado y armado de los tableros enlistonados enchapados	23
Figura 9.	Diagrama de obtención de probetas para ensayos físico-mecánicos	25
Figura 10.	Ensayo de flexión estática en una probeta transversal	27
Figura 11.	Prueba de resistencia a la extracción de clavos	29
Figura 12.	Autoclave para generar vacío	30
Figura 13.	Probetas de la prueba de adhesión dentro del horno	31
Figura 14.	Valores medios del E_{LP} , MOR y MOE	32
Figura 15.	Características mecánicas de los tableros de 19 mm	36
Figura 16.	Tipos de fallas en probetas transversales del tablero de recortes de triplay (R2) de 19 mm	38
Figura 17.	Tipos de fallas en probetas transversales del triplay de 19 mm	39
Figura 18.	Características mecánicas de los tableros de 16 mm	40
Figura 19.	Resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19mm	42
Figura 20.	Resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm	45
Figura 21.	Porcentajes del contenido de humedad en tableros de 19 mm	49
Figura 22.	Porcentajes del contenido de humedad en tableros de 16 mm	50

RESUMEN

Con la finalidad de incrementar el aprovechamiento de la trocería para la producción de tableros contrachapados (triplay), los recortes generados del triplay en el escuadrado, después de sanearlos, se utilizaron para la elaboración de tableros enlistonados, que posteriormente se enchaparon. Debido a la incertidumbre sobre su comportamiento, se determinaron sus propiedades físico-mecánicas, las cuales se compararon con el triplay y con los enlistonados de madera sólida enchapados, de las mismas dimensiones. Adicionalmente se evaluó la adhesión del pegamento y se determinó el contenido de humedad en una muestra de 7 tableros, dos de triplay de 16 y 19 mm de espesor, dos enlistonados de madera sólida de los mismos espesores y tres enlistonados de recortes de triplay, de los cuales uno fue 16 mm y dos de 19mm. Se determinó que no existe diferencia significativa en el E_{LP} , en el MOR y el MOE entre el triplay, los enlistonados de madera y los de recortes de triplay de 16 y de 19 mm de espesor, con excepción de los tableros de recortes de triplay de 19 mm en el MOE, con valores más altos que los otros tableros analizados. La resistencia a la extracción de clavos fue superior en los tableros enlistonados de madera. Los tableros de 16 mm presentaron mejores características de adherencia que los de 19 mm, y de estos únicamente el triplay de 19 mm pasó la norma de adherencia del pegamento. En general, los tableros de 19 mm presentaron un contenido de humedad más alto que los de 16 mm. Con base en los resultados de este estudio y dada la similitud en las propiedades mecánicas de los tableros enlistonados de madera con los de recortes de triplay, se recomienda que se utilicen en forma similar en usos que no requieran cargas pesadas, ni golpes o impactos significativos.

SUMMARY

In order to increase the log recovery for the production of plywood, the trimmers from the edges of the boards were used to integrate plywood-trimmers blockboards, with additional veneer in both faces. Due to the uncertainty of their behavior, the physical and mechanical properties were determined and compared with the same properties of plywood and lumber blockboard of the same thickness dimensions. The adhesive glue behavior was also evaluated and the moisture content was determined of 7 sampled boards, two plywood boards of 16 and 19 mm thick, two lumber blockboards of the same previous thicknesses and three plywood-trimmers blockboards, one 16 mm and two 19 mm thick. No statistical difference was found in the E_{LP} , MOR and MOE among plywood, lumber blockboard and plywood-trimmers blockboards of 16 and 19 mm thick, with the exception in the MOE with higher values in plywood-trimmers blockboards compared to the other two types of boards analyzed in this study. The nail withdrawal resistance values were higher in the lumber blockboards. The 16 mm boards had better adhesion characteristics than the 19 mm, and from these ones, the plywood was the only one that fulfill the gluing adhesion standard. In general the moisture content of the 19 mm thickness boards was higher than in the 16 mm thick. Based on the result of this study and the similarities in the mechanical properties of the lumber blockboards and the plywood-trimmers blockboards, both can be used in similar way in products not exposed to heavy loads and significant impacts.

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia en la reducción en cantidad y calidad de la trocería y el aumento de su demanda, tienen un efecto directo en el incremento de sus precios y de los productos que se derivan de ella, reflejándose en mayores costos de producción y en la reducción de las utilidades de los productos de triplay (Baldwin, 1995; Zavala y Hernández, 2002). El incremento en los precios de los tableros en el mercado y la competencia acentuada con el triplay de importación, contrarresta en parte los precios de los productos, pero también afecta al productor nacional. Una alternativa para abatir los incrementos en los precios de la trocería y reducir los costos de producción, es aumentar los coeficientes de aprovechamiento del triplay, a través de la incorporación de material que tradicionalmente se considera como desperdicio. Entre este material se tienen recortes de triplay generados del escuadrado de los tableros al eliminar las orillas irregulares de las chapas que integran el tablero al momento de la formación del mismo en las engomadoras.

Normalmente, el coeficiente de aprovechamiento de madera en la producción de triplay es de alrededor de un 40%, el cual se considera adecuado de esta cifra hacia arriba, pero también existen empresas que tienen un aprovechamiento menor, con las implicaciones económicas que se reflejan en un incremento en los precios de sus productos, por los desperdicios excesivos de madera de sus procesos de producción (Woodfin, 1978; Zavala y Hernández, 2002). De acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros (ANAFATA, 1981), en la elaboración de 1 m³ de productos contrachapados se requiere en promedio 2.5 m³ de madera en rollo, lo que significa que la industria triplayera aprovecha el 40 %, y el 60 % restante se consideran como desperdicios o subproductos. Este porcentaje de aprovechamiento se puede aumentar mediante el análisis de cada una de las fases del proceso de elaboración de los tableros, tendiente a detectar y corregir las fallas del proceso y con el establecimiento de programas de control de la producción para minimizar la pérdida de chapa (Baldwin, 1995; Moreno y Espejel, 1983).

Con la finalidad de incrementar el coeficiente de aprovechamiento de triplay, de los recortes del escuadrado se elaboraron listones que posteriormente se ensamblaron y se enchaparon para generar tableros similares a los enlistonados de madera sólida enchapados. Debido a la incertidumbre sobre su comportamiento en los productos que se podrían elaborar con este tipo de tableros, se consideró conveniente determinar sus propiedades mecánicas y de calidad de la adherencia de sus componentes, y comparar estos mismos parámetros con el triplay y con tableros enlistonados tradicionales (de tiras de madera) de las mismas dimensiones. En este trabajo se analizarán los resultados generados de los ensayos mecánicos y de la evaluación de la adhesión para los tres tipos de tableros señalados en espesores de 16 y 19 mm.

Se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa en el esfuerzo al límite de proporcionalidad (E_{LP}), en el módulo de ruptura (MOR) y en el módulo de elasticidad (MOE) entre el triplay, los enlistonados de madera y los de recortes de triplay de 16 y de 19 mm de espesor, con excepción de los tableros de recortes de triplay 19 mm en el MOE, con valores mas altos que los otros tableros analizados. La resistencia a la extracción de clavos fue similar en todos los tableros, con excepción de los enlistonados de madera en las probetas transversales, que fue superior a los otros tableros analizados. En general los tableros de 16 mm presentaron mejores características de adherencia que los de 19 mm de espesor, y de estos el triplay fue el único que pasó la norma de adherencia, con el sistema de evaluación especificado por la norma APA PS1-95. En relación al contenido de humedad (C.H.), en los tableros de 19 mm fue más alto que en los de 16 mm., y aparentemente el C.H. no influyó en las propiedades de los tableros o por lo menos no se detecta una relación directa con respecto a las propiedades mecánicas. Con base en los resultados de este estudio y dada la similitud en las propiedades mecánicas y de las características de adherencia de los tableros enlistonados de madera con los de recortes de triplay, se recomienda que se utilicen en forma similar en usos que no requieran cargas pesadas ni estén expuestos a golpes o impactos significativos, tampoco en ambientes con cambios frecuentes de temperatura y humedad que afectan directamente las propiedades de adhesión, como tarimas, entrepisos, techos o para elementos estructurales expuestos a cambios ambientales.

2. ANTECEDENTES

2.1. TABLEROS CONTRACHAPADOS

2.1.1. Descripción y caracterización de los tableros contrachapados

Los tableros contrachapados consisten de láminas o capas delgadas de madera generalmente en número impar y con las fibras encontradas a 90°, que se encolan unas con otras mediante el uso de aglutinantes, ya sean resinas sintéticas, vegetales o animales, bajo temperatura y alta presión. El cruzamiento de las fibras da robustez y estabilidad al tablero, y reduce los movimientos de dilatación y contracción. Para ello las chapas deben de estar compensadas de modo que el espesor total de las chapas orientadas en un sentido, sea igual al de las orientadas en sentido contrario, con lo que se logra equilibrar sus fuerzas y evitar deformación en el tablero. En general, el número de hojas en el triplay es usualmente en número impar para que las vetas de las caras exteriores sean paralelas en la misma dirección, pero para usos específicos pueden ser pares desde 4 o más con las dos capas centrales aglutinadas en forma paralela (SECOFI, 1978; Tsoumis, 1991).

Los tableros contrachapados se fabrican con chapas de madera de las más variadas especies, de coníferas o latifoliadas, tales como pino, cedro, caoba, ceiba, encino, etc., ya sea usando una misma especie o combinándolas, teniendo generalmente buenas características de resistencia mecánica y estabilidad dimensional. Estos tableros se clasifican de acuerdo a su uso, como tablero para “interior” y para “exterior”. Pueden tener cualidades de resistencia al fuego y de impermeabilidad, mediante tratamientos especiales. (S.F.F., 1982).

Se aplica también el término contrachapado a paneles en los que el elemento de sostén es una tabla de cierto grosor predeterminado y se utiliza en lugar del alma de chapa. Aun cuando el contrachapado es una forma de construcción laminada, el término laminado aplicado a madera se refiere a paneles multifolios, vigas y otras estructuras en las que la dirección de las vetas de todas las partes de conjunto son paralelas (Panshin *et al.*, 1959).

Los enchapados poseen una serie de ventajas sobre las de la madera sólida, que se pueden resumir de la forma siguiente: mayor uniformidad en las propiedades de resistencia a lo largo y ancho del panel por el tipo de acomodo y la continuidad en sus fibras; reducción (e igualdad) de las contracciones y dilataciones logrando mayor estabilidad dimensional; aumento de la resistencia al cuarteo y agrietado de los extremos, permitiendo que puedan colocarse clavos y tornillos más cerca del extremo que cuando se trata de madera sólida; pequeña o nula tendencia a torcerse o alabearse si el contrachapado está bien construido; permite generar superficies curvas e irregulares, difíciles de lograr con madera sólida; su ligereza le da una mayor manejabilidad al ser trabajada y facilidad para dimensionarse cualquier forma que se desee (Panshin *et al.*, 1959).

2.1.2. Características de la materia prima maderable para la fabricación de los tableros contrachapados

Los requisitos que debe reunir la materia prima maderable para la elaboración o producción de chapa y tableros contrachapados son difíciles de conjuntar, básicamente por los siguientes conceptos:

1. Requerimientos de buena conformación y adecuadas dimensiones del arbolado.
2. Propiedades de la estructura anatómica de la madera.
3. Disponibilidad y suficiencia en el abastecimiento.
4. Uso final de los productos.

Se deben considerar las características de las especies como su densidad, la humedad, el porcentaje de albura y duramen, la forma de las trozas, el ahusamiento o diferencia de diámetros en la misma troza, la permeabilidad, la estructura anatómica de la madera, el contenido de extractivos, el veteado, la facilidad de desenrollado y las propiedades mecánicas. Para determinar si la especie reúne las características adecuadas, se debe considerar el uso final de las chapas, ya que no se requieren las mismas propiedades para una chapa decorativa que para la que se utiliza como centro en los contrachapados (Estrada, 1990).

La troza seleccionada para su aprovechamiento en la industria de los tableros contrachapados debe reunir ciertas características relacionadas con la densidad de las especies, los diámetros y la longitud de las trozas. La densidad apropiada de la madera debe tener de 0.4 gr/cm^3 a 0.8 gr/cm^3 ($25\text{-}50 \text{ lb/ft}^3$) en cuanto a diámetros la madera apropiada para corte en torno deberá tener un mínimo de 25.4 cm (10 pulgadas) de diámetro y un máximo de 122 cm (48 pulgadas). Es posible encontrar tornos que puedan procesar trozas de hasta 183 cm (72 pulgadas) de diámetro (Chávez, 2003).

En el Cuadro 1 se muestran los requisitos que debe reunir la materia prima maderable, para la elaboración de chapa y de tableros contrachapados.

Cuadro 1. Requisitos que deben reunir las materias primas maderables para la elaboración de chapa y tableros contrachapados.

Característica	Especificaciones
Conformación	Trozas cilíndricas y rectas Trozas con médula concéntrica
Dimensiones	<p>Diámetros grandes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diámetro mínimo para chapa torneada 14 cm. 2. Diámetro mínimo para chapa rebanada, flitch 18 cm y cuartos de 24 cm <p>Largos que permitan obtener piezas del tamaño requerido sin desperdicio.</p> <p>Grano recto.</p> <p>Uniformidad de anillos, 2 o más anillos por espesor de chapa</p> <p>Densidad normal</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vistas 0.43 – 0.65 gr/cm³ 2. Centros 0.32 – 0.45 gr/cm³ <p>Contenido de humedad 50 – 60 %</p>
Estructura anatómica	<p>Mínimo de madera de tensión y fibra entrecruzada</p> <p>Buena liga entre fibras</p> <p>Ausencia de resinas o incrustantes</p>
Uso final de los productos	<p>Para caras de triplay decorativo: Ausencia de manchas, picaduras, aberturas y nudos.</p> <p>Para caras de triplay no decorativo: Ausencia de picaduras, aberturas y nudos abiertos.</p> <p>Para centros: Ausencia de aberturas o agujeros.</p>

Fuente: Departamento de estudios de mercado, UAT, SARH, en base a FAO (1968); (citado por S.F.F., 1982).

2.1.3. Normas para tableros contrachapados

En México se tienen tres normas vigentes en relación con los tableros contrachapados: la norma NMX-C326-1978. “Tableros contrachapados de pino” (SECOFI, 1978), que establece la clasificación de los tableros contrachapados, sus dimensiones comerciales y una breve descripción sobre el método de evaluar la calidad de los mismos, la cual sustituyó a la anterior NOM-G-14-1978, (SECOFI. 1978); la norma DGN-G-1976, “Tableros contrachapados de maderas finas (cedro y caoba) y duras tropicales” (SECOFI, 1976), misma que como su nombre lo indica, es específica para ese tipo de maderas. Cabe citar que en los casos donde se requiere tomar como referencia alguna norma se suelen utilizar las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), las normas DIN (Deutsches Institut Fur Normung) y las normas APA (American Plywood Association).

2.1.4. Clasificación de los tableros contrachapados

Los tableros contrachapados señalados en la NOM-G-18-1976 (SECOFI, 1976), se clasifican en los siguientes tres tipos:

1. Tipo interior resistente a la humedad.
2. Tipo resistente al agua y a moderada exposición a la intemperie.
3. Tipo exterior a prueba de agua y para usos marinos.

La norma APA PS1-1995 clasifica los contrachapados de acuerdo con su capacidad de exposición en tipos para interiores y exteriores, como se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de los tableros contrachapados según la norma APA PS1-1995.

De interiores	De exteriores
a) Encolados con adhesivos para Interiores b) Encolados con adhesivos Intermedios	Son aquellos tableros que luego de ser repetidamente sometidos a severos tratamientos en húmedo y seco mantienen sus uniones.

Existen diferentes factores que determinan las diferentes clases de contrachapados, por lo que los tableros contrachapados pueden ser de varias clases considerando diferentes índices, a saber: número de capas, tipo de capas, ángulos de enchapados, tipos de adhesivos, especies de madera y dimensiones (Zamudio, 1986).

2.1.5. Calentamiento o acondicionamiento de la madera para la producción de chapa

Por medio del acondicionamiento o calentamiento de la madera se logra la plastificación de las fibras y las sustancias que las unen entre sí y con ello una mayor facilidad en el corte. Las diferentes especies y procedencias de la especie misma requieren distintos grados de calor. Para mejorar la eficiencia del proceso de calentamiento que es más efectivo en la zona cercana a la superficie de la troza se emplean productos químicos que al aumentar la penetración del agua conducen al calor más rápidamente debido al contacto que establecen con el agua en el interior de la troza. No todas las especies requieren de ablandamiento y dependiendo de la especie, densidad y diámetro se aplican ciertos rangos de temperatura. El ablandamiento se efectúa en tanques o pilas con agua y en cámaras de vapor. Con el ablandamiento de las trozas se logra un desenrollado más flexible, se reducen los tiempos de secado y hay menor desgaste en el filo de la cuchilla (Marcial, 1981).

Kollman y Kuenzi (1975), indican que para la relación del proceso de calentamiento existen diferentes métodos, entre los cuales, los más comunes son: las cámaras de vapor, las cámaras de rociado con agua caliente, la inmersión en fosas con agua caliente, la aplicación directa de energía eléctrica a las trozas, el agua caliente inyectada a presión (a 6.8 atmósferas) y el sistema combinado de vapor y agua.

Chávez (1985), señala que el tiempo de calentamiento depende del diámetro de la troza, peso específico, contenido de humedad y temperatura del medio conductor. Las ventajas del calentamiento son entre otras, que mejora la calidad de la chapa porque al reblandecerse la madera disminuye la presencia de grietas, se tiene alta producción de chapas y se reduce la cantidad de adhesivo a utilizar.

Pérez (1988), determinó los efectos del ablandamiento de trocería de *Quercus spp* para producción de chapa desenrollada y concluyó que la potencia absorbida por el motor del torno se puede considerar como un indicador de la dureza en la madera, debido a que se observó un comportamiento decreciente al reducir su magnitud con el tratamiento de calentamiento de las trozas. Al reducirse la dureza del encino por medio del tratamiento, se reduce consecuentemente la potencia eléctrica que absorbe el motor del torno, y por consiguiente en igual proporción el consumo de energía eléctrica del mismo. La calidad de la chapa producida, se mejora en buena medida al desenrollar los trozos tratados, ya que se obtiene una superficie más tersa.

Ruiz (2002), realizó un análisis del proceso de calentamiento de trocería para la producción de chapa de pino en la fábrica de Guitarras y Contrachapados S.A. de C.V. en Paracho Michoacán, indica que el rango de las temperaturas de corte de las especies estudiadas en los cuatro ensayos, fue de 31.6 a 47.7 °C, con un promedio de 41.59 °C, y concluye que el efecto de la corteza en ese estudio no influyó el tiempo de calentamiento, resultando que para trozas de diámetro promedio de 53 cm con corteza fue de 32-63 horas y para trozas sin corteza el tiempo fue de 43-63 horas; con un tiempo real de calentamiento promedio de 50.0 a 50.10 horas. El diámetro de las trozas tuvo un efecto variable en el tiempo de calentamiento, para diámetros de 35 cm fue de 18-63 horas y para diámetros de 55 cm de 32-63 horas. La calidad de la chapa generada de cada una de las trozas analizadas

fue de mediana (B) a mala (C), influyendo en algunos casos la baja calidad de la trocería y en otros la irregularidad o continuidad del proceso de calentamiento (recalentamiento de las trozas, tiempos excesivos de espera).

2.1.6. Coeficiente de aprovechamiento

El coeficiente de aprovechamiento se define como la relación porcentual entre el volumen real del producto terminado y el volumen de materia prima procesada.

El coeficiente de aprovechamiento se determina como la relación porcentual entre el volumen real que se aprovecha en la elaboración de las hojas de triplay y el volumen de materia prima utilizada, a través de la siguiente relación (Vega, 1982):

$$\text{Coeficiente de aprovechamiento} = (\text{Vol. Transformado} / \text{Vol. de Mat. Prima}) 100$$

El rendimiento en la fabricación de contrachapados es bastante bajo, ascendiendo las pérdidas durante la conversión del 50 al 70 por ciento (40 a 60 por ciento en la producción de chapas). De no encontrar aprovechamientos económicos para los residuos, las distancias cada vez mayores a las que hay que transportar las trozas pueden incrementar rápidamente los costos de producción por unidad (FAO, 2006).

Vega (1982), determinó el coeficiente de aprovechamiento de los tableros contrachapados en la planta Maderas Industrializadas de Quintana Roo, y concluyó que la capacidad de producción que se tiene en la planta puede atribuirse a varios factores como: Abastecimiento de materia prima, control de calidad, mantenimiento de maquinaria, capacitación e incentivos al personal, todo lo anterior limita en gran medida que la producción logre los niveles óptimos. El coeficiente de aprovechamiento representa menos del 40% de aprovechamiento, se detectó que las pérdidas máximas se manifiestan al redondear la troza, en el rodillo sobrante después del desenrolle y en el guillotinado, que es la que representa el mayor porcentaje. También el ahusamiento en la trocería es otro factor que limita un mayor porcentaje de aprovechamiento en chapa.

2.1.7. Clasificación de la chapa (Calidades)

Devlieger (1990) indica que la chapa de buena calidad puede definirse como uniformemente lisa, de rigidez uniforme, razonablemente apretada, libre de manchas y defectos anatómicos, de un grosor homogéneo (espesor constante) y libre de marcas de cuchilla. En estas condiciones, la cara suelta de la chapa es físicamente idéntica a la cara apretada. Las características de la calidad de la chapa determinan su uso en el proceso de producción de tableros contrachapados como cara, trascara, alma o contramalla. Los defectos de la chapa ocurren con frecuencia durante su producción y se hacen evidentes posteriormente a su salida del torno o en los productos fabricados, afectando su calidad.

La NMX-C326-1978 (SECOFI, 1978) establece la calidad de la chapa por medio de las letras N, A, B, C, D, la N es la de mejor calidad y D la de menor calidad. Las combinaciones de las vistas para los tableros tipo 1 ó interior, tipo 2 ó resistente al agua y tipo 3 ó exterior a prueba de agua se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Combinaciones de las vistas para los tableros tipo 1 y tipos 2 y 3 según la Norma NMX-C-326-1978 (SECOFI, 1978).

Tableros tipo 1			Tableros tipo 2 y 3		
Combinaciones	Cara	Trascara	Combinaciones	Cara	Trascara
NN	N	N	NN	N	N
NA	N	A	AA	A	A
NB	N	B	AC	A	C
ND	N	D	AD	A	D
AA	A	A	BB	B	B
AB	A	B	BC	B	C
AD	A	D	CD	C	D
BB	B	B			
BD	B	D			
CD	C	D			
DD	D	D			

La S.F.F. (1982), señala la clasificación utilizada en los tableros contrachapados de pino, que incluyen cinco clases: N, A, B, C y D. La N es muy similar a la A y están libres de nudos, bolsas de resina, rajaduras y otros defectos. Las demás clases aceptan diferentes porcentajes de los defectos indicados.

2.1.8. Estudios realizados sobre tableros contrachapados en México

En 1982, la subsecretaría Forestal y de la Fauna publicó un diagnóstico sobre la industria de los tableros de madera en México; y reporta información sobre los valores de flexión estática e impacto de tableros contrachapados de 7 especies nacionales, incluyendo el género *Pinus* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de propiedades mecánicas para tableros elaborados con el género *Pinus*.

Propiedad	Espesor	
	3mm	6mm
Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (Kg/cm ²)	446.4	355.6
Máximo esfuerzo de Ruptura (Kg/cm ²)	738.8	532.3
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) * 1000	1323	901

Radillo (1984), evaluó las características de cinco tableros contrachapados fabricados con cinco especies de maderas tropicales. Señala que las maderas tropicales poseen buenas características, y que por lo tanto deberían aprovecharse en la industria correspondiente para la obtención de chapa decorativa. En los resultados generados de los ensayos físicos y mecánicos, estos tableros presentaron una capacidad media de absorción de agua; la resistencia mecánica fue en general ligeramente menor en comparación con la especificada para el tablero testigo, la cual se clasifica como de resistencia media. De los resultados obtenidos concluyó que no hubo gran diferencia entre tableros y sugiere que las especies ensayadas se utilicen en forma regular para la producción de triplay, lo que favorecería su mejor aprovechamiento.

Chávez (1985), analizó las propiedades mecánicas en flexión estática de tableros contrachapados de madera de pino, evaluó tableros de tres espesores 9mm, 16mm y 19mm, obteniendo los siguientes valores: para el tablero de 9 mm de espesor reporta una rigidez en flexión de 276294.20 a 89718.50 kg/cm², un MOE de 135131.40 a 95231.40 kg/cm² y un MOR de 633.20 a 588.50 kg/cm² para el tablero de 16 mm obtuvo una rigidez en flexión de 1094476.70 a 601342.10 kg/cm² un MOE de 140361.10 a 98304.60 y un MOR de 496.10 a 527.80 kg/cm² y para el tablero de 19 mm una rigidez en flexión de 1584272.90 a 767217.90 kg/cm² un MOE de 109680.60 a 90252.30 kg/cm² y un MOR de 620.60 a 521.00 kg/cm².

Rangel (1987), diseñó y elaboró tableros contrachapados para usarse en construcciones ligeras y determinó sus especificaciones de comportamiento. Obtuvo resultados satisfactorios para la mayoría de las propiedades evaluadas e incluso excedidos para algunos de los usos señalados, como es el caso de las pruebas de cargas concentradas estáticas y de impacto para las cuales las cifras correspondientes a los valores designados como niveles establecidos de carga y deformación, fueron sobrepasados en un valor considerable.

Ocaña (1987), analizó la fabricación de tableros contrachapados en la empresa TOMPER S.A. de Ciudad Hidalgo, Michoacán. Concluyó que los tableros se formaron siguiendo la secuencia normal de producción industrial en la empresa donde se realizó el estudio, vistas y trascaras de hojas completas y del mismo espesor de 1.2 mm, centros de 1.2 mm y 4.2 mm en función del espesor del tablero programado, e integrados por tiras o secciones de diferentes anchos que se acomodaron en forma contigua hasta que se obtenía la dimensión requerida de 1.22 x 1.22 m. El secado de la chapa fue al aire libre, la fase con mayor variación en los tiempos de prensado es el periodo que transcurre desde el momento en que se cierra la prensa hasta que se abre, sobre todo en los tableros de 3 mm y 6 mm. Recomienda darle un tratamiento de aplicación de aceite fijador en los extremos de las trozas, si van a permanecer por espacios prolongados a la intemperie para evitar rajaduras por deshidratación ó ataque de hongos. Sugiere darle un ablandamiento adecuado a las trozas antes de pasarlas al torno, sobre todo cuando ya están secas o tienen mucho tiempo de haber sido cortadas, para evitar el desgaste de las cuchillas por la resistencia mecánica de la madera.

Zavala (1994), determinó y analizó la distribución de la temperatura en las líneas de pegamento durante el prensado de contrachapados y el efecto de la carga de los platos de la prensa en la compactación del triplay de *Pseudotsuga menziessii* al 6, 12 y 16 % de contenido de humedad. Señala que la temperatura en las líneas de pegamento más externas aumenta rápidamente al cerrarse la prensa, manteniendo una diferencia respecto a las dos líneas internas, misma que disminuye al avanzar el prensado. Respecto a la compactación señala que es más drástica durante los primeros 6 minutos del prensado y en tableros con C.H. altos o mayores de 6%.

López (2000), evaluó algunas propiedades mecánicas de tres tableros contrachapados de pino de cada uno de los siguientes espesores 3, 6 y 9 mm provenientes de tres diferentes fabricantes, ubicados en las regiones Norte, Centro y Sur del país. Señala que los valores más altos del esfuerzo al límite de proporcionalidad y del módulo de ruptura correspondieron a los tableros de 3 mm con 234.36 y 814.41 Kg/cm² respectivamente, siguiendo los de 9 mm con 176.68 y 700.13 Kg/cm² y finalmente los de 6mm con 148.63 y 576.15 Kg/cm². En el módulo de elasticidad los valores más bajos los presentaron los tableros de 9 mm con 42,650.63 Kg/cm², siguiendo los de 6 mm con 46,193.83 kg/cm² y finalmente el espesor de 3 mm con 52,133.84 Kg/cm². Conforme a la clasificación Novelo (1964) para las propiedades de flexión estática en la madera, los valores del esfuerzo al límite de proporcionalidad se registraron dentro del nivel bajo de resistencia y los valores del módulo de elasticidad en el nivel denominado como muy bajo.

Hernández (2001), trabajó sobre la utilización de chapa de cortas dimensiones para aumentar el coeficiente de aprovechamiento de triplay y de acuerdo a los resultados que obtuvo para el ELP, MOR y MOE encontró que la diferencia entre los tableros estándares y modificados es altamente significativa en los espesores de 9, 12 y 16 mm, confirmando de esta manera que los tableros estándares son significativamente más resistentes que los tableros modificados, excepto el tablero de 19 mm modificado con una capa de centros de 0.61m (2 pies) de longitud el cual fue estadísticamente igual al tablero estándar del mismo espesor. Desde el punto de vista de costos de producción, dedujo que no existe un efecto importante del incremento del costo de ensamblado y prensado de los tableros modificados con relación a los estándares. También determinó que es factible incrementar el coeficiente de aprovechamiento hasta 11% utilizando material que se considera como desperdicio, proveniente de la mesa verde y del área de perfilado, específicamente secciones de chapa inferiores a 1.22 m (4 pies) de longitud.

2.2. TABLEROS ENLISTONADOS

2.2.1. Descripción y caracterización de los tableros enlistonados

Los tableros enlistonados enchapados están formados por un centro, generalmente integrado de elementos cortos de madera maciza, este centro a su vez esta recubierto por chapas en ambas caras. El enlistonado se obtiene aglutinando listones uno contra otro hasta formar un bloque en forma de plancha. Los tableros enlistonados enchapados se integran con 5 capas: un centro enlistonado y 2 capas de chapa por cada cara del enlistonado, principalmente para darle mejor estabilidad dimensional y para mejorar la calidad de las superficies (LIGNUM, 1960).

Los tableros enlistonados están formados por listones de madera de longitudes iguales o diferentes, empalmados de testa por uniones dentadas o lisas, o sin empalmar, unidos entre sí por un adhesivo, siendo el grueso y el ancho de los listones iguales dentro del mismo tablero (García *et al.*, 2002).

Los tableros enlistonados como su nombre lo indica, consisten en listones del mismo espesor pegados por el canto para formar superficies de ancho y largo variables, el ancho y espesor de listones depende de la sanidad y comportamiento físico de tabla y especie de madera de la cual se obtienen, y de las características y usos deseados del tablero. En el mercado de estos productos se demandan espesores de 15 hasta 50 mm, anchos hasta 60 cm y largos mayores a 100 cm (ACERCAR, 2006).

Los tableros enlistonados se consideran un producto reciente que configura una nueva aplicación más avanzada de la madera aserrada, y que permite usar pequeñas escuadrías. Las aplicaciones fundamentales de estos productos son carpintería, construcción y últimamente se han introducido en bricolaje (arreglos caseros, reparaciones de poca importancia) y mueble con gran éxito en este caso (Naturezaviva, 2006).

2.2.2. Tipo de madera que se utiliza en la fabricación de los listones

La madera que se utiliza para la fabricación de tableros enlistonados debe de cumplir el requisito de aptitud al encolado. Las especies que frecuentemente son utilizadas en España en la fabricación de tableros enlistonados son Pino silvestre, Pino gallego y Pino radiata, y también se fabrican con madera de Castaño, Etimoe, Jatoba, Blondo, etc. mientras que las maderas de coníferas son utilizadas para tableros destinados a encofrados y mobiliario, las de frondosas se destinan a mobiliario y ebanistería (García *et al.*, 2002).

Las tiras de madera o listones se fabrican de madera libre de defectos, relativamente de baja densidad, y de diferentes longitudes pero de igual espesor y ancho en un mismo tablero. Las especies más utilizadas son Pino, Álamo, Picea y varias maderas tropicales como Ókume y otras (Tsoumis, 1991).

2.2.3. Tipos de adhesivos utilizados en tableros enlistonados

Las colas habitualmente utilizadas en la fabricación de tableros enlistonados son de tres tipos: Urea formaldehído, urea melamina y vinílicas. Aun cuando se podrían utilizar poliuretanos, fenólicas y epóxicas, sus dificultades técnicas de aplicación y su costo han limitado su utilización. Dependiendo del tipo de cola, el tablero puede ser utilizado en exteriores o interiores (García *et al.*, 2002).

2.2.4. Preparación de los listones de madera

Las tiras o listones se fabrican en diferentes longitudes, anchos y espesores. Los anchos varían desde 1 cm (casi ½ pulg.) y 12 cm (5 Pulg.) y en espesores de 1-2 cm (cerca de ½ -1 pulg.). En máquinas automatizadas para enlistonar se pueden utilizar piezas muy pequeñas, las tiras usualmente se producen por aserrío (con sierras cinta o sierras múltiples) y son usualmente angostas. Las tiras anchas se pueden enlistonar aglutinándolas por los cantos (en el corte radial) pero tienen una tendencia natural al alabeo, si se usa el ranurado en los cantos del listón para unirlos se reduce la tensión inducida por la contracción o hinchamiento; el ranurado es longitudinal, de poca profundidad (1-2 cm ó 0.5- 1 pulg.) y se hace a intervalos de 3- 4 cm (1-1.5 pulg.). Idealmente las tiras o listones se pueden unir por la cara tangencial pero este procedimiento no es práctico, en la producción industrial el posicionado es alternado (unión por los cantos o unión por la cara del listón) (Tsoumis, 1991).

2.2.5. Contenido de humedad en los listones

La madera destinada a la elaboración de tableros enlistonados debe secarse a contenidos de humedad en función del uso final del tablero. Cuando el tablero se utiliza para mobiliario o ebanistería en general, el contenido de humedad de la madera a la entrada del proceso es 8 y el 10 %, si su uso se destina al sector del encofrado, el contenido de humedad debe situarse entre el 10 y el 14% (García *et al.*, 2002).

Un secado adecuado del centro o alma del tablero es esencial para una buena calidad del tablero y un contenido de humedad ideal varía entre 3 y 9%, el cual solamente se puede lograr por medio del secado en hornos (Anon, 2006).

El contenido de humedad en los tableros enlistonados debe de ser bajo como en el caso de la chapa (de 8 a 10 %) (Tsoumis, 1991).

2.2.6. Empalme o unión entre listones

En esta operación se realizan uniones tipo finger joint o dentadas en el canto transversal de los listones, para conformar piezas de una longitud deseada, aprovechando así los listones saneados de dimensiones longitudinales reducidas (mayor o igual a 20 cm.) (García *et al.*, 2002).

Los listones generalmente son angostos y cortos, y unidos mediante el sistema finger joint permiten la elaboración de tableros enlistonados los cuales son productos mejorados de madera sólida de amplio uso en la manufactura de muebles y carpintería de obra (ACERCAR, 2006).

2.2.7. Justificación de los tableros enlistonados

La fabricación de tableros a partir de listones angostos y cortos unidos por el sistema finger-joint permite utilizar al máximo la materia prima, lo que reduce la generación de residuos sólidos (desperdicios de madera), entre un 20 y 40 %. Permite la ampliación de la oferta de productos, a partir del aprovechamiento de los desperdicios. También se pueden elaborar tableros enlistonados para pisos y muebles entre otros artículos de madera. Se logra mejorar la capacidad instalada y maximizar el rendimiento materia prima- producto final (ACERCAR, 2006).

En el caso de los tableros enlistonados es relevante la utilización de materias primas alternativas como subproductos de madera, madera reciclada, y residuos de aprovechamientos forestales. El aprovechamiento integral de la madera es la característica fundamental de los tableros enlistonados (Naturezaviva, 2006).

La producción de tableros enlistonados se puede realizar en fábricas que trabajan en pequeña escala y con pocos trabajadores; se pueden fabricar con un equipo muy limitado, por lo que se adapta bien a las fases iniciales de desarrollo en donde el capital y la mano de obra son escasos. La reciente introducción de un procedimiento de fabricación mecanizada en ciclo continuo permitirá que esta industria permanezca competitiva incluso en los países desarrollados (FAO, 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. General

Proponer alternativas para incrementar el coeficiente de aprovechamiento en la industria de los tableros contrachapados, aprovechando subproductos generados en la elaboración del triplay, específicamente los recortes provenientes del escuadrado del tablero.

3.2. Específicos

1. Evaluar y dar a conocer las propiedades físico-mecánicas que presentan tres tipos de tableros, tablero contrachapado, tablero enlistonado con recortes de madera sólida y tableros enlistonados con recortes de triplay, enchapados.
2. Determinar los valores de adherencia, resistencia mecánica a flexión, resistencia a la extracción de clavos y el porcentaje de contenido de humedad que poseen los tableros evaluados.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

4.1.1. Material utilizado para las pruebas físico-mecánicas

Se utilizaron 7 tableros para la realización de este trabajo, los tableros se elaboraron con chapa de pino, *Pinus arizonica* Engelm, el triplay de 19 mm de espesor con 7 capas (5 de 3.4 mm y 2 de 1.2 mm), el triplay de 16 mm con 7 capas (3 de 3.4 mm y 4 de 1.2 mm) (Figura 1); de los tableros enlistonados de madera sólida el de 16 mm se elaboró con listones de 12 mm de espesor y el de 19 mm con listones de 16 mm, ambos con centros, vistas y trascaras de 1.2 mm (Figura 2); los tableros enlistonados de recortes de triplay se elaboraron con recortes de 12 mm y de 16 mm de espesor, con centros, vistas y trascaras de 1.2 mm para los espesores de 16 y 19 mm respectivamente (Figura 3). Las características de cada tablero se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características generales de los tableros evaluados.

T. Tablero Características	Triplay				Enlistonado enchapado		Enlistonado de recortes de triplay, enchapado	
	16		19		16	19	16	19
Espesor (mm)	16		19		16	19	16	19
Ancho nominal, (m)	1.22		1.22		1.22	1.22	1.22	1.22
Largo nominal, (m)	2.44		2.44		2.44	2.44	2.44	2.44
No. de chapas	3	4	5	2	4	4	4	4
Espesor de chapas, (mm)	3.4	1.2	3.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
No. de Tableros Enlistonados	-		-		1	1	1	1
Espesor de listones, (mm)	-		-		12	16	12	16
Tipo de adhesivo	Urea de formaldehído							
Especie	<i>Pinus arizonica</i> Engelm							
No. de tableros	1	1	1	1	1	1	1	2

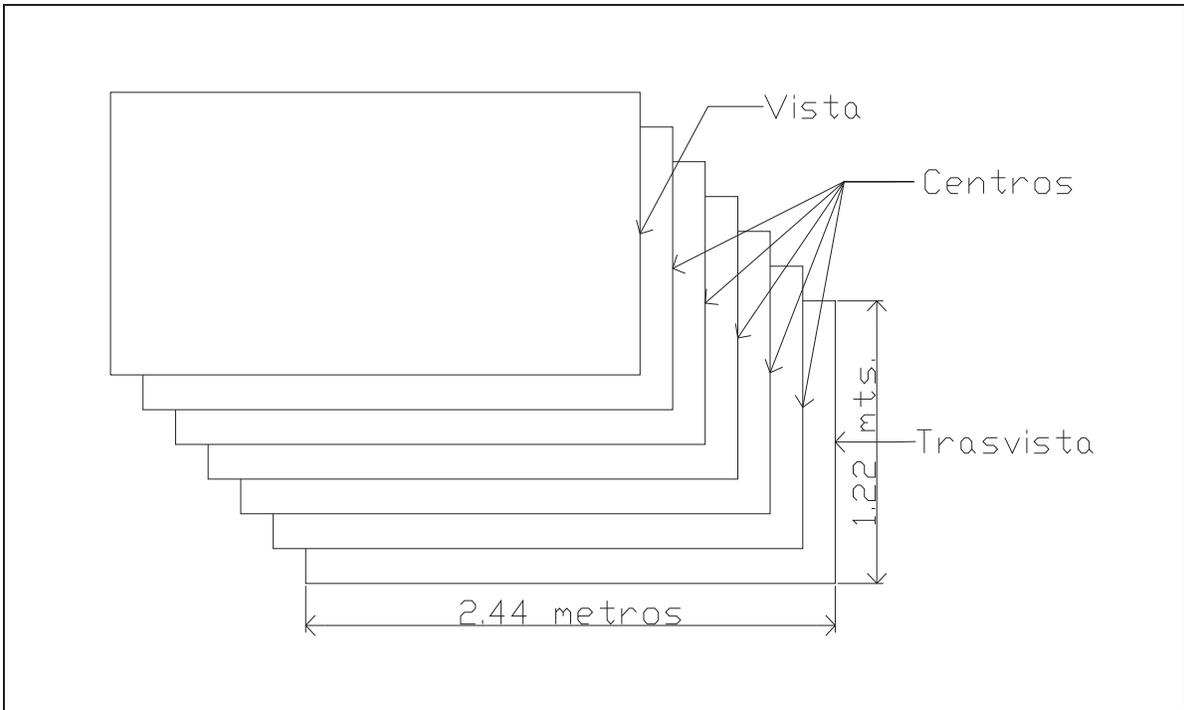


Figura 1. Tablero contrachapado (triplay) o normal de 7 capas.

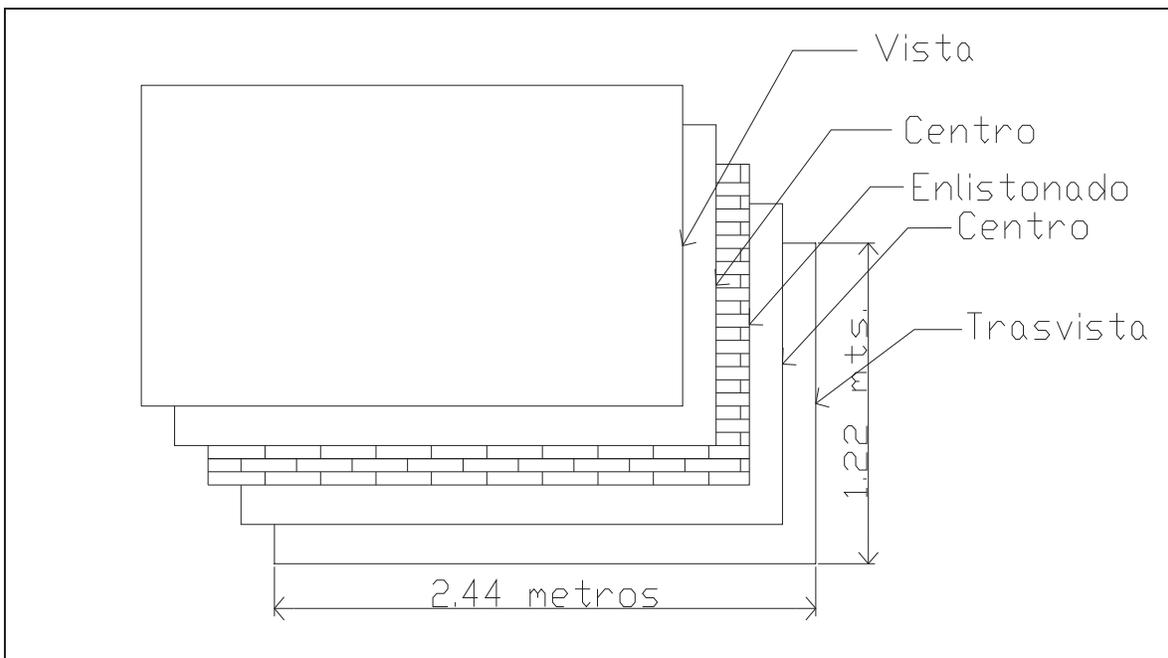


Figura 2. Tablero enlistonado con listones de madera sólida, enchapado.

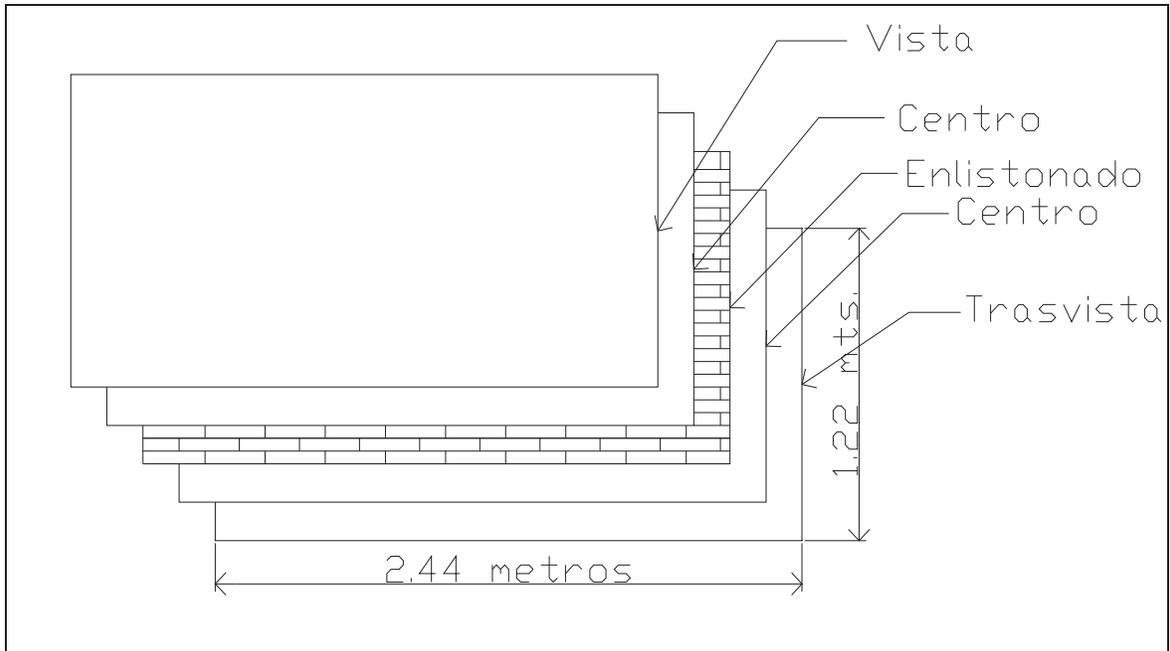


Figura 3. Tablero enlistonado con listones de recorte de triplay, enchapado.

4.1.2. Equipo utilizado para las pruebas físico-mecánicas

Para realizar las pruebas físico-mecánicas se utilizó el siguiente equipo de ensayo y de laboratorio:

- Máquina universal para ensayos mecánicos
- Autoclave para generar vacío
- Autoclave para llevar acabo calentamiento
- Horno de laboratorio con circulación forzada
- Balanza analítica
- Vernier digital
- Flexómetro
- Sierra radial

4.2. MÉTODOS

El proceso de elaboración de los tableros enlistonados de madera sólida y de recortes de triplay, enchapados, se realizó en la industria “Silvindustria General Emiliano Zapata A. R. de I. C.” ubicada en Santiago Papasquiari, Durango; la metodología que se siguió se describe a continuación.

4.2.1. Proceso de elaboración de los tableros enlistonados de madera sólida y de recortes de triplay, enchapados

4.2.1.1. Materia prima maderable

Para la obtención de los listones de madera sólida se utilizaron los bolos o rollitos generados del proceso de producción de chapa torneada, los cuales se aserraron para obtener piezas con una dimensión en verde de 9.0 cm de ancho, espesor de 4.6 cm y diferentes longitudes hasta 260 cm. Para los listones de recortes de triplay se utilizaron los sobrantes de las orillas del escuadrado del triplay de 12 y 16 mm de espesor.

4.2.1.2. Secado de las piezas de madera sólida

Mediante el proceso de secado, se eliminó el exceso de humedad de las piezas de madera dejándolas a un contenido de humedad final entre 6 y 8 % y con una dimensión en seco de 9.0 cm de ancho, espesor de 4.4 cm y diferentes longitudes hasta 260 cm.

4.2.1.3. Cepillado de las piezas de madera sólida

Después de que los cuadrados se secaron al contenido de humedad correspondiente, se pasaron al cepillado para limpiar las dos caras y los cantos del cuadrado, logrando además facilitar la detección de sus defectos para la fase de dimensionado y la preparación de la superficie para el encolado.

4.2.1.4. Dimensionado o seccionado de las piezas de madera sólida

Las piezas de 9.0 cm de ancho, espesor de 4.4 cm y diferentes longitudes hasta 260 cm se dimensionaron en tiras de 12 y 16 mm de espesor por medio de una sierra múltiple para obtener los listones de madera sólida.

4.2.1.5. Obtención de los listones de recortes de triplay

Los listones de recortes de triplay se obtuvieron a partir de los sobrantes del escuadrado del triplay de 12 y 16 mm de espesor (Figura 4).

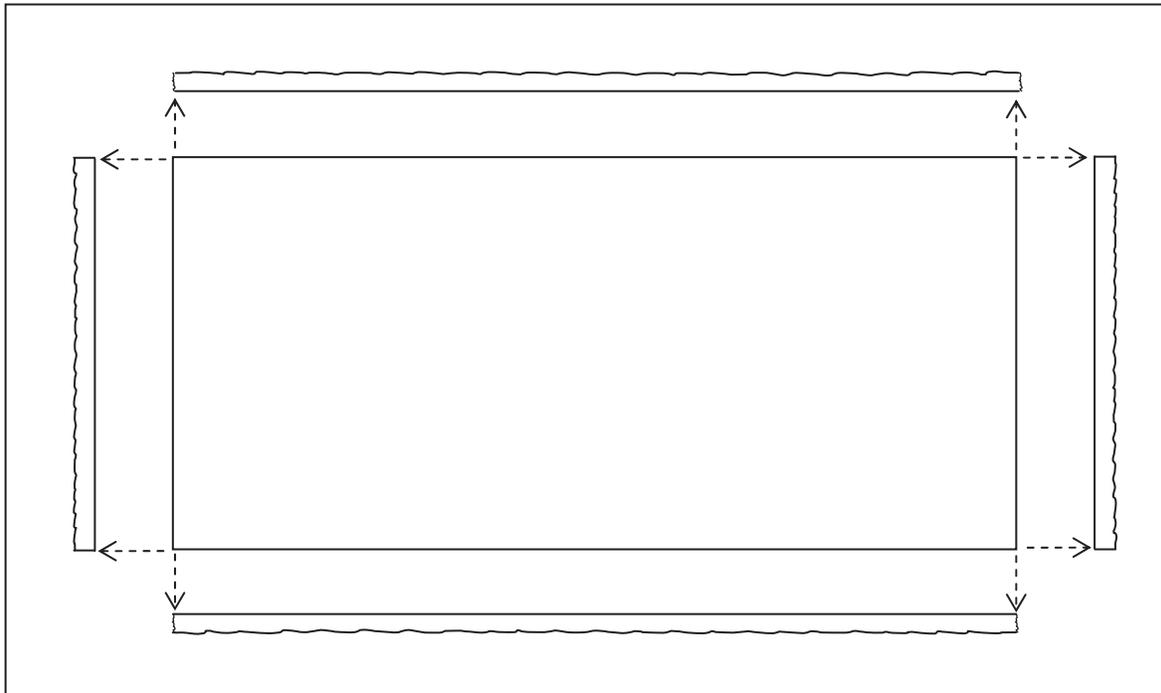


Figura 4. Recortes del escuadrado del triplay.

4.2.1.6. Saneo y clasificación de los listones de madera sólida y de recortes de triplay

En la fase de saneado se eliminaron los defectos de la madera (nudos, bolsas de resina, etc.), se realizó con sierras circulares. En esta fase se obtuvieron listones de madera sólida con longitudes de 30 a 260 cm. (Figura 5).

En cuanto a los recortes de triplay, se clasificaron en longitudinales y transversales para después sanearlos en anchos de 4.4 cm y largos hasta de 2.44 m para el caso de las secciones longitudinales y de hasta 1.22 m para las transversales (Figura 6).

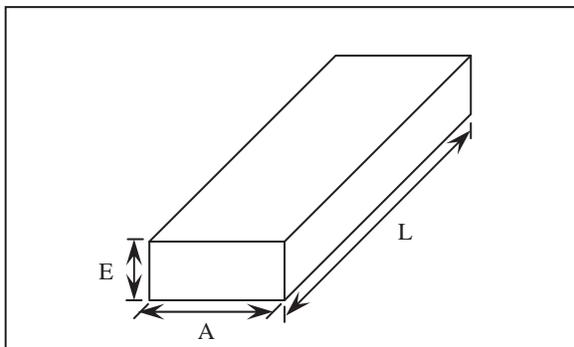


Figura 5. Listón de madera sólida.
 Espesor (E): 12 y 16 mm
 Ancho (A): 4.4 cm
 Largo (L): 30 a 260 cm

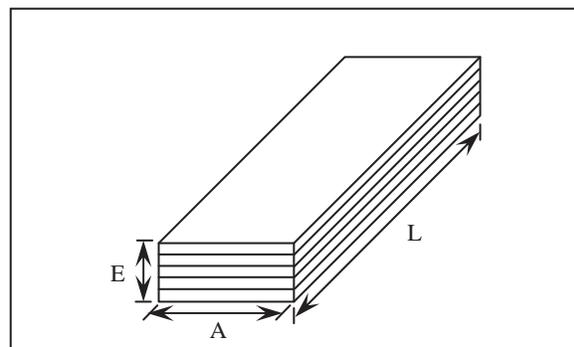


Figura 6. Listón de recorte de triplay.
 Espesor (E): 12 y 16 mm
 Ancho (A): 4.4 cm
 Largo (L): 30 a 244 cm

Después de esta fase, el proceso de elaboración de tableros enlistonados de madera sólida y de recortes de triplay enchapados, es el mismo.

4.2.1.7. Preparación del adhesivo

En esta empresa la mezcla para el adhesivo se prepara de la siguiente manera:

Ingredientes:

- Resina (Urea formaldehído) 57 Litros
- Harina de trigo 44 Kg.
- Agua 57 Litros

Mezcla:

El adhesivo se preparó mezclando la resina de urea formaldehído, con harina de trigo y agua. En la mezcla que se utiliza para unir los listones el contenido de sólidos en la resina es de 40 a 45 % y para el caso de la unión entre chapas es de 28 a 30 %.

4.2.1.8. Formación del tablero enlistonado

El tablero enlistonado se formó por medio de una prensa continua automatizada, la cual hace el acomodo de los listones de forma continua de uno en uno hasta obtener la dimensión en ancho del tablero. El adhesivo se aplicó a la entrada del listón en la máquina por medio de rodillos en ambos cantos del listón y se sometió a fraguado por medio de calor a una temperatura de 110 a 120 °C aproximadamente, aplicando presión a los listones sobre dos planos perpendiculares entre si. El perpendicular a las caras del tablero tuvo por objeto mantener los listones alineados, mientras que el paralelo a las caras fue el encargado de transmitir la presión necesaria para el encolado de los listones. Cuando el tablero alcanzó un ancho aproximado de 1.30 m se puso un separador para continuar con la formación del siguiente tablero (Figura 7).



Figura 7. Formación de los tableros enlistonados.

4.2.1.9. Enfriado del tablero enlistonado

Posteriormente al proceso de fraguado, cuya duración fue aproximadamente de 8 minutos, el tablero se dejó en reposo durante 24 hrs. para que se enfriara y no afectar la fase de encolado de los tableros enlistonados enchapados.

4.2.1.10. Pulido del tablero enlistonado

El pulido del tablero enlistonado se realizó después de que se enfrió mediante lijadoras de banda, para eliminar las irregularidades ocasionadas por el exceso de resina.

4.2.1.11. Formación de tableros enlistonados enchapados

Engomado. La aplicación del adhesivo a las chapas utilizadas como centros se realizó a través de los rodillos de las engomadoras (Figura 8).

Armado. Conjuntamente con el engomado de los centros se realizó la formación de los tableros a través de la integración del conglomerado de chapas y el tablero enlistonado, los cuales se formaron con tiras engomadas para los centros alternados entre la trascara, el tablero enlistonado y la cara o vista del tablero. El procedimiento consistió en colocar primero la trascara, posteriormente tiras engomadas para formar el primer centro, después se colocó el enlistonado, posteriormente otra capa de centros y por último la vista.



Figura 8. Engomado y armado de los tableros enlistonados enchapados.

Prensado. El conglomerado de chapas junto con el tablero enlistonado se trasladaron a la prensa, en donde se colocaron entre los platos para formar el tablero asegurando el contacto oportuno del adhesivo con las caras de las chapas sin adhesivo. El cargado de la prensa se realizó lo más rápidamente posible para evitar sobresecado del adhesivo por el calor de los platos que pudiera ocasionar delaminaciones del tablero por prefraguado antes del cierre de los platos de la prensa.

4.2.1.12. Pulido y escuadrado

Después del prensado del tablero, se procedió a su escuadrado y posteriormente al lijado. El dimensionado o escuadrado de los tableros se realizó por medio de dos juegos de sierras circulares dispuestas en forma contigua, las primeras dos realizan el dimensionado a lo largo del tablero y las segundas efectúan el corte del tablero a lo ancho. Posteriormente el tablero se sometió al proceso de pulido mediante pulidoras de banda con la finalidad de lograr una mejor apariencia y una superficie tersa.

4.2.2. Evaluaciones y ensayos a realizar

Para lograr los objetivos planteados en este trabajo, se realizaron los siguientes ensayos:

- Flexión Estática: Módulo de Elasticidad (MOE), Módulo de Ruptura (MOR) y Esfuerzo al Límite de proporcionalidad (E_{LP}).
- Resistencia a la Extracción de Clavos
- Adhesión: Resistencia de la línea de pegado en prueba de humedad y vacío.
- Porcentaje de Contenido de Humedad

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas, para la extracción de clavos, para determinar el contenido de humedad y para la evaluación de la adhesión, se realizaron de acuerdo a las especificaciones de la American Plywood Association (APA, 1995) y de la Norma ASTM D 3043-95 (ASTM, 2000), en una Máquina Universal de ensayos mecánicos. En este estudio se analizó una muestra de 7 tableros, triplay, enlistonados de madera sólida y enlistonados con recortes de triplay, uno de cada tipo para cada espesor de 16 y 19 mm, con excepción del de 19 mm enlistonado con recortes de triplay, del cual se analizaron 2 tableros.

4.2.3. Preparación de las probetas

De cada tablero se obtuvieron 36 muestras, 9 de 5 x 100 cm en sentido longitudinal y 9 de 5 x 50 cm en sentido transversal para los ensayos mecánicos, 9 de 5 x 12 cm en sentido longitudinal para la evaluación de la adhesión, 6 muestras de 5 x 5 cm de cada tablero (3 longitudinales y 3 transversales) para el ensayo de extracción de clavos y 3 de 5 x 12 cm para determinar el porcentaje de contenido de humedad (Figura 9).

Para el caso de las probetas para ensayos mecánicos la norma establece que el ancho de las probetas debe ser de 50 mm para tableros mayores de 6 mm de espesor. La longitud de las probetas debe ser de 24 veces el espesor nominal más 50 mm, cuando la dirección del grano de la chapa es perpendicular a la longitud de la probeta y cuando la dirección del grano de la chapa es en sentido longitudinal de la probeta debe ser de 48 veces el espesor nominal más 50 mm. Las dimensiones finales se indican en el Cuadro 6.

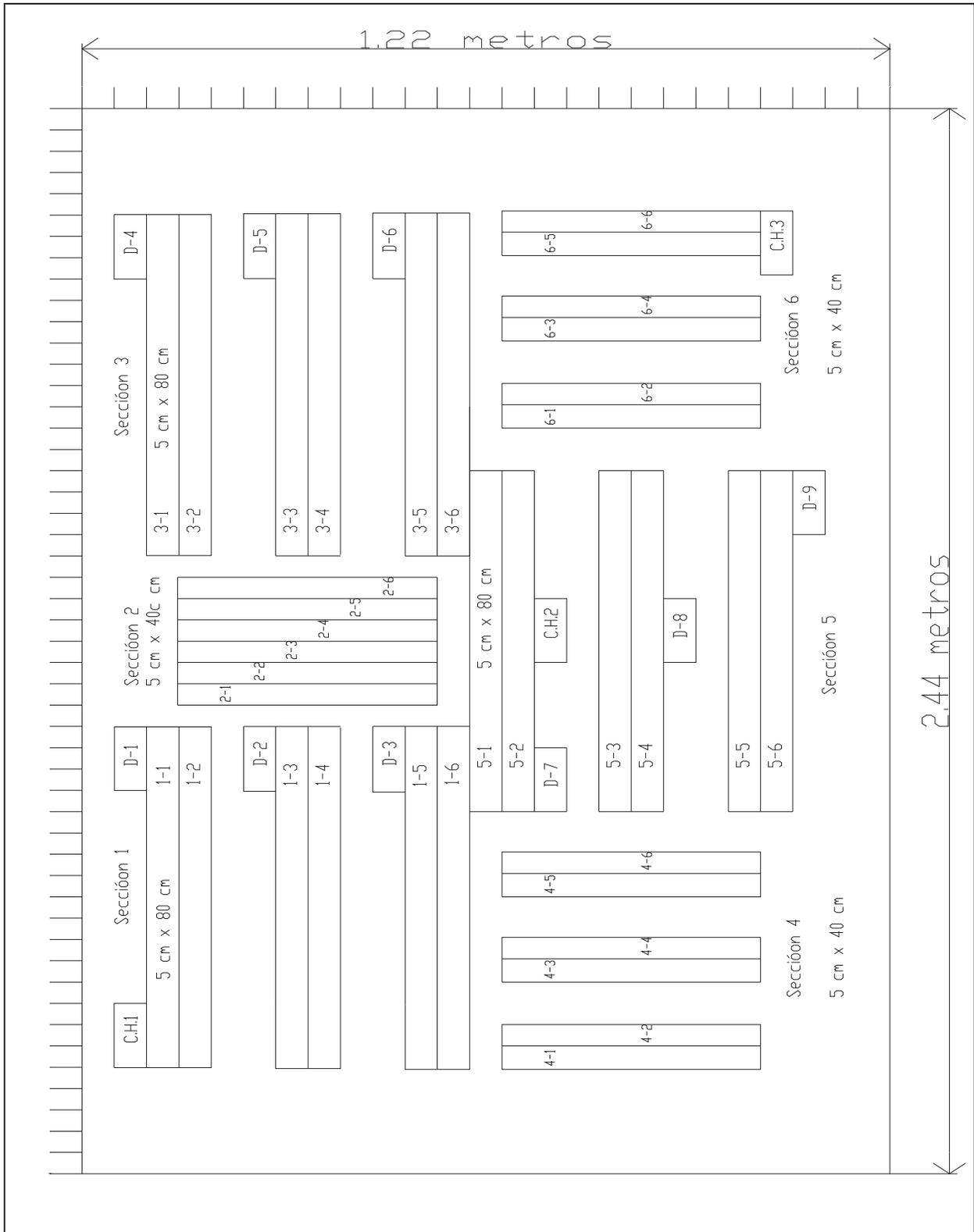


Figura 9. Diagrama de obtención de probetas para ensayos mecánicos, adhesión (D) y porcentaje de contenido de humedad (C.H.).

Cuadro 6. Dimensiones de las probetas para ensayos mecánicos, adhesión, extracción de clavos y porcentaje de contenido de humedad.

Tipo de Ensayo	Ancho Probeta (cm)	Dimensión de la probeta en sentido longitudinal (cm)	Dimensión de la probeta en sentido transversal (cm)
Mecánicos 16 mm	5	$1.6 \times 48 + 5.00 = 81.80$	$1.6 \times 24 + 5.00 = 43.40$
Mecánicos 19 mm	5	$1.9 \times 48 + 5.00 = 96.20$	$1.9 \times 24 + 5.00 = 50.60$
Extracción de clavos	5	5	
Adhesión	5	12.5	
% de Contenido de Humedad	5	12	

4.2.4. Ensayo de flexión estática

Cada probeta se sometió a esfuerzo de flexión en una máquina universal para ensayos mecánicos (Figura 10), siguiendo las especificaciones de la Norma ASTM D 3043-95, como lo establece la APA. Los parámetros evaluados fueron la carga máxima al momento de la ruptura de las probetas, la carga hasta el límite de la deformación elástica, el esfuerzo al límite de proporcionalidad (E_{LP}), el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE).



Figura 10. Ensayo de flexión estática en una probeta transversal.

La carga concentrada se aplicó a una tasa constante de tal manera que fuera equivalente a un esfuerzo máximo de fibra de 0.0015 mm/mm (plg/plg) por minuto. Para el cálculo de la tasa de movimiento de la masa de carga se aplicó la siguiente relación (ASTM, 2000):

$$N = zL^2/6d$$

donde:

N = tasa de movimiento de la masa de carga, mm/min. (plg/min.)

L = claro entre apoyos, mm (plg)

d = espesor de la probeta, mm (plg)

z = valor unitario del esfuerzo de la fibra, mm/mm x minuto (plg/plg x min.)
de la fibra extrema = 0.0015.

Conforme a esta fórmula las velocidades de prueba fueron de 9.2 y 10.9 mm/min para los espesores de 16 y 19 mm respectivamente en las probetas longitudinales y para probetas transversales en tableros de 16 y 19mm de espesor la velocidad fue de 2.3 y 2.7 mm/min respectivamente. Durante el ensayo de flexión se generó el gráfico carga-deformación con el cual se determinó la carga al límite de proporcionalidad y carga máxima o de ruptura; y con estos datos se calculó la resistencia y rigidez a la flexión estática.

4.2.4.1. Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad

En cada probeta se determinó la tensión unitaria de flexión estática (E_{LP}) mediante la siguiente expresión (Norma ASTM- D 3043-95):

$$E_{LP} = (3P_L * L) / (2b * h^2)$$

donde:

E_{LP} = Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad, Kg/cm²

P_L = Carga en el Límite de proporcionalidad, Kg.

L = Claro o luz de la probeta, cm.

b = Ancho de la probeta, cm.

h = Altura o espesor de la probeta, cm.

4.2.4.2. Módulo de Ruptura

En cada probeta se determinó la tensión máxima o de ruptura a la flexión estática (MOR) mediante la fórmula (Haygreen y Bowyer, 1989):

$$MOR = 1.5 PL / bd^2$$

donde:

MOR = Módulo de Ruptura, Kg/cm²

P = Carga máxima en, Kg.

L = Claro o luz de la probeta, distancia entre apoyos, en cm.

b = Ancho de la probeta, en cm.

d = Altura o espesor de la probeta, en cm.

4.2.4.3. Módulo de Elasticidad

En cada probeta se determinó el Módulo de Elasticidad a la flexión (MOE) mediante la expresión (Haygreen y Bowyer, 1989):

$$MOE = (P_L L^3) / (48 ID)$$

donde:

MOE = Módulo de Elasticidad, Kg/cm.

P_L = Carga en el límite de proporcionalidad, Kg.

L = Claro o luz de la probeta, cm.

I = Momento de inercia (ancho x espesor³ / 12), cm³.

D = Deflexión, cm.

4.2.5. Resistencia a la extracción de clavos

De cada tablero se obtuvieron 6 probetas de 5 cm de longitud por 5 cm de ancho, a las cuales se les insertó un clavo de 6.5 cm de longitud con diámetro de 3 mm, en la vista hasta penetrarla totalmente y en los cantos a 2.5 cm de profundidad. Cada clavo se extrajo con la máquina universal y se determinó la carga o esfuerzo requerido para su extracción (Figura 11).

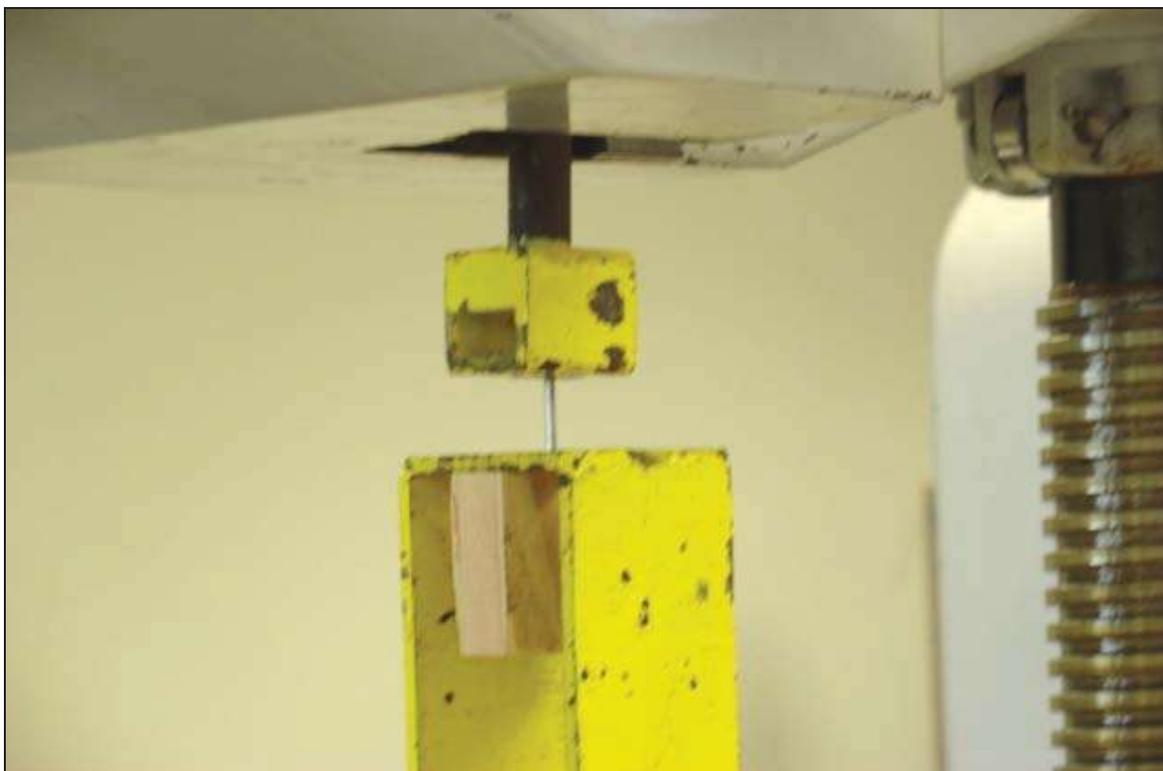


Figura 11. Prueba de resistencia a la extracción de clavos.

4.2.6. Evaluación de la adhesión del pegamento

De acuerdo a las especificaciones de la APA para tableros ensamblados con adhesivo para interiores, se obtuvieron 9 probetas de cada tablero muestreado distribuidas en todo el tablero, con dimensiones de 125 mm (5") de longitud por 50 mm (2") de ancho.

Las probetas se colocaron en un recipiente de presión (autoclave) y se sumergieron en agua completamente a una temperatura de 43° C. Posteriormente se aplicó vacío de 15 KPa (15 pulgadas) de mercurio durante 39 minutos, después de los cuales se liberó la presión (Figura 12). Las probetas permanecieron en la misma agua a presión atmosférica durante 4 ½ horas sin calentamiento adicional. Posteriormente se procedió a secarlas durante 15 horas a 66° C en un horno con circulación forzada de aire (Figura 13). Las probetas se analizaron por delaminaciones y se evaluaron de acuerdo a las especificaciones de la APA para tableros con resina para interiores, la cual establece que un tablero reúne los requerimientos de adherencia de la norma si 3 de las 5 probetas pasan la prueba de acuerdo a la siguiente evaluación: Un tablero se considera que falla si más de 2 de las 5 probetas fallan. El material representado por las muestras se debe considerar que reúne los requerimientos si el 85% o más de los tableros pasan la evaluación. Una probeta se considera que falla si se presenta una delaminación continua visible de 6.4 mm o más de profundidad y 50 mm en longitud en los bordes o cantos de las probetas de 50 x 125 mm. Cuando se presente una delaminación como resultado de un defecto localizado permitido en la clasificación, la probeta se debe descartar.



Figura 12. Autoclave para generar vacío.



Figura 13. Probetas de la prueba de adhesión dentro del horno con circulación forzada.

4.2.7. Determinación del porcentaje de contenido de humedad

Como especifica la APA, de cada tablero muestreado se prepararon 3 probetas de 5 cm de ancho por 12 cm de longitud para obtener un área de 60 cm². A cada probeta se le registró su peso inicial o húmedo, posteriormente se colocaron en el horno con circulación forzada a una temperatura de 100°C para desecarlas hasta alcanzar un peso constante. Después del desecado las probetas se pesaron en la balanza para registrar su peso anhidro o seco, con los resultados que se obtuvieron se aplicó la siguiente fórmula:

$$C.H. = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

donde: C.H. = Contenido de Humedad, en %

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con la finalidad de facilitar el análisis de la información generada de los diferentes ensayos realizados, se presentan en forma independiente los resultados de cada uno de los ensayos a que se sometieron los tableros estudiados: determinación de las características mecánicas, evaluación de la resistencia a la extracción de clavos, determinación del contenido de humedad y evaluación de la adhesión del pegamento.

5.1. ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

Para analizar la información generada del ensayo de flexión estática de cada tipo de tablero (triplay o normal, enlistonados de madera y enlistonados de recortes de triplay) y para poder definir su similitud o diferencia a la resistencia, se realizó el análisis estadístico para cada uno de los parámetros evaluados (E_{LP} , MOR y MOE), en cada tablero seleccionado.

5.1.2. Análisis de los valores medios del E_{LP} , MOR y MOE

Analizando los valores medios del E_{LP} , MOR y MOE de los tableros ensayados, se observa una tendencia similar entre los tableros de 16 mm, excepto en los valores de MOR en el tablero de recortes de triplay (R1). En el caso de los tableros de 19 mm, también se aprecia una distribución similar en todos los tableros, con excepción del E_{LP} en el tablero de triplay normal (N) (Figura 14, Cuadro 8).

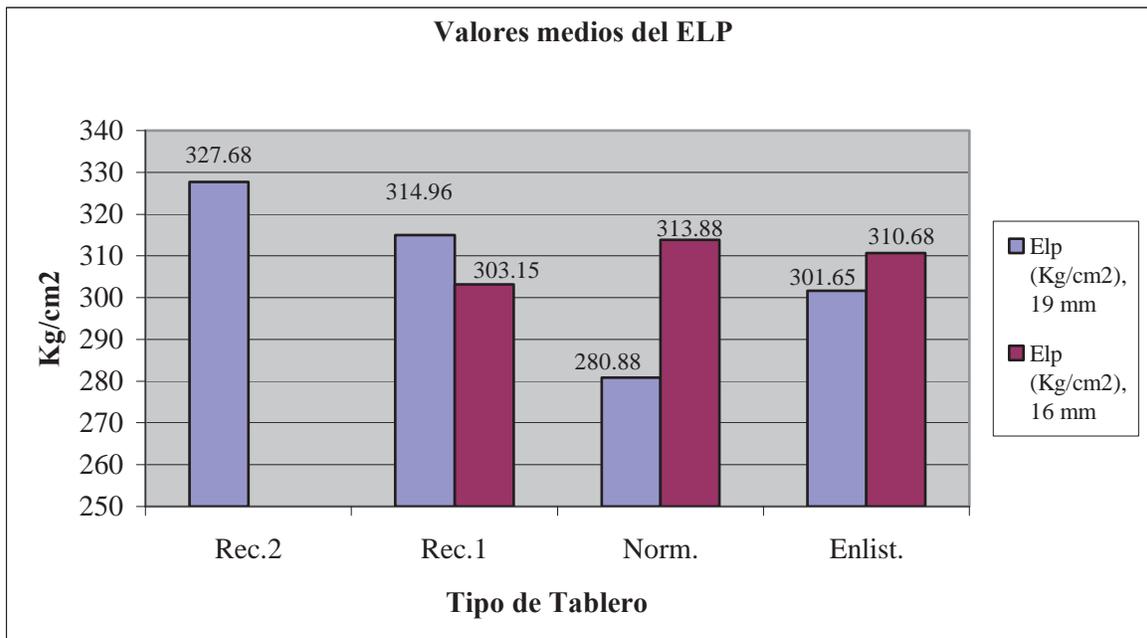


Figura 14.1. Valores medios del Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (E_{LP}).

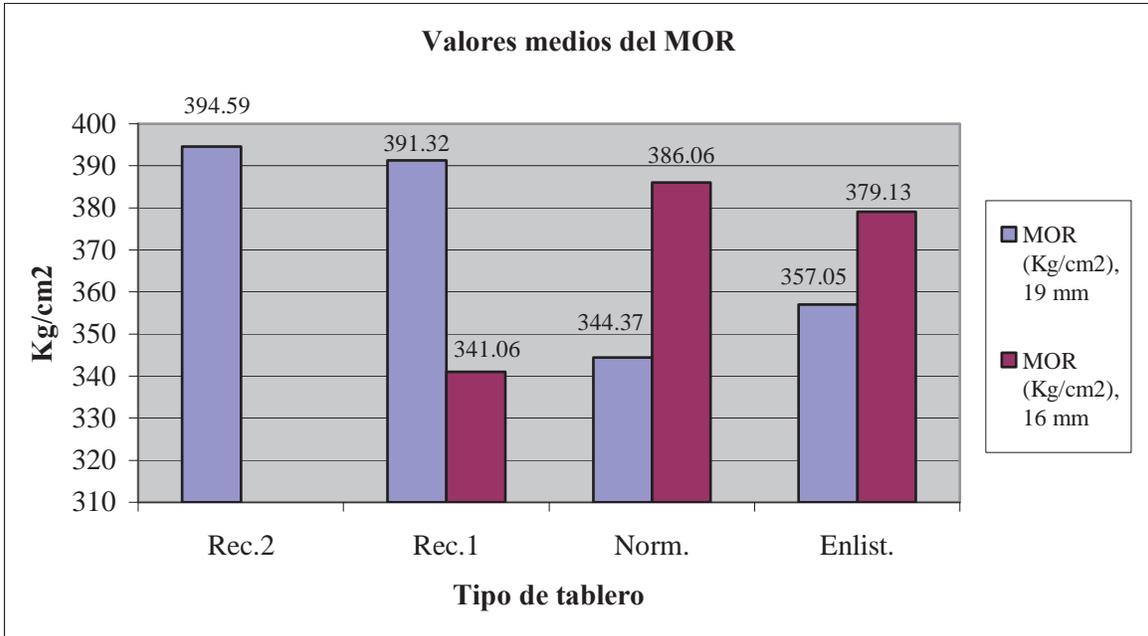


Figura 14.2. Valores medios del Módulo de Ruptura (MOR).

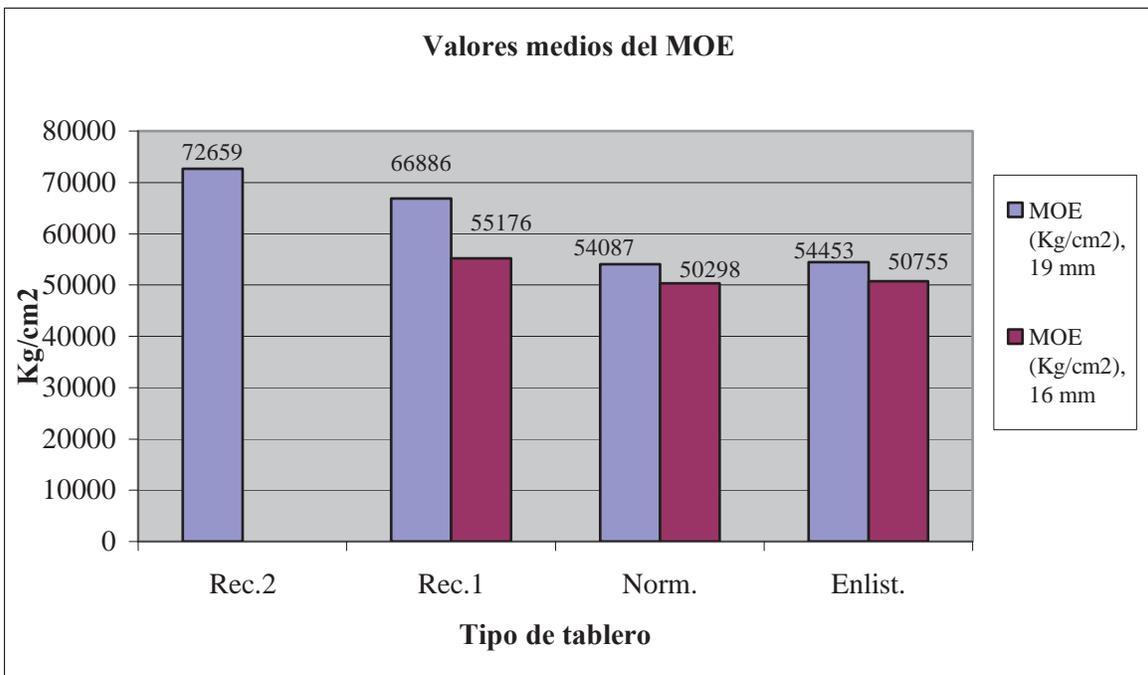


Figura 14.3. Valores medios del Módulo de Elasticidad (MOE).

Figura 14. Valores medios del E_{LP} (14.1), MOR (14.2) y MOE (14.3) por espesor y tipo de tablero (R2, R, N, E).

- *R2 = Recortes de triplay, tablero 2
- *R = Recortes de triplay, tablero 1
- *N = Triplay normal
- *E = Enlistonado de madera sólida

5.1.3. Análisis de varianza (ANOVA) para el E_{LP} , MOR y MOE

A través del análisis de varianza del E_{LP} , MOR y MOE para determinar la significancia en la resistencia entre los tableros analizados (normal y enlistonados), se determinó que en los espesores de los tableros de 16 mm, no hay la diferencia estadísticamente significativa, y en los cuatro tableros de 19 mm (normal, enlistonados de madera y 2 enlistonados de recortes de triplay) por lo menos en uno de los cuatro la diferencia es significativa en el parámetro del MOE (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza para el E_{LP} , MOR y MOE de los tableros de 16 y 19 mm de espesor.

Espesor (mm)	F Calculada	Pr > F ⁺
Análisis de varianza para el E_{LP}		
19 (R2,R,N,E)	1.57	0.1996
16 (R,N,E)	0.14	0.8714
Análisis de varianza para el MOR		
19 (R2,R,N,E)	1.63	0.1852
16 (R,R,N,E)	1.64	0.1991
Análisis de varianza para el MOE		
19 (R2,R,N,E)	13.71	<.0001
16 (R,R,N,E)	1.43	0.2428

+ Hay diferencia en resistencia si $[Pr > F] < \alpha = 0.05$

5.1.4. Comparación de medias para el E_{LP} , MOR y MOE

Para determinar las diferencias y similitudes entre los tableros del mismo espesor para el E_{LP} , MOR y MOE, en el Cuadro 8 se muestra la comparación de medias a través de la prueba de “t” de Student con un nivel de significancia de 0.05. Del análisis de los resultados, se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el E_{LP} , MOR y MOE entre los tableros normales y los enlistonados de madera y recortes de triplay de 16 y 19 mm de espesor, con excepción de los tableros de 19 mm en el parámetro del MOE, con valores mas altos significativamente en los tableros enlistonados con recortes de triplay y sin diferencia en este mismo parámetro entre los tableros normales y los enlistonados de madera (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias del E_{LP}, MOR y MOE, en tableros de 19 y 16 mm.

Tipo de Tablero	Ensayo de los tableros		
	E _{LP} (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)
19R2	327.68 ^{ns}	394.59 ^{ns}	72659 ^a
19R	314.96 ^{ns}	391.32 ^{ns}	66886 ^b
19N	280.88 ^{ns}	344.37 ^{ns}	54087 ^c
19E	301.65 ^{ns}	357.05 ^{ns}	54453 ^c
16R	303.15 ^{ns}	341.06 ^{ns}	55176 ^{ns}
16N	313.88 ^{ns}	386.06 ^{ns}	50298 ^{ns}
16E	310.68 ^{ns}	379.13 ^{ns}	50755 ^{ns}

R2 y R. Tableros con listones de recuperación de triplay.

N. Triplay o tablero normal.

E. Enlistonado con listones de madera sólida.

NOTA. Medias con “ns” significan que el valor de “F” en las ANOVAS de las variables no fue significativo y medias con la misma letra (a, b, c) están dentro del 0.05 de probabilidad ó 95% a nivel de confianza.

Como se indica en el Cuadro 9, la carga máxima (columna 2) al momento de la ruptura de las probetas y la carga hasta el límite de la deformación elástica (columna 3), fueron mayores en el triplay normal de 19 mm en el sentido transversal en relación a los tableros enlistonados de madera y los de recortes de triplay. Esta misma tendencia se observa en el Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (columna 4), en el Módulo de Ruptura (columna 5) y en el Módulo de Elasticidad (columna 6) En los tableros enlistonados se puede considerar que los valores de las cargas son similares en los mismos parámetros para enlistonados de madera y los de recortes de triplay (Cuadro 9, Figura 15).

En las probetas en sentido longitudinal, el triplay normal generó valores inferiores a los enlistonados para los 5 parámetros analizados. En los tableros enlistonados, se observan valores similares para los 3 tableros analizados con una ligera tendencia mayor en los de recortes de triplay (Cuadro 9, Figura 15).

Cuadro 9. Características mecánicas en sentido transversal (T) y longitudinal (L) de tableros de 19 mm de espesor.

Tipo de tablero y orientación de probeta	Carga máxima (kg/cm ²)	Carga límite (kg/cm ²)	E _{LP} (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)
Triplay T.	110.58	85.99	325.85	419.05	62445.95
Enlistonado T.	78.83	61.62	233.49	298.74	36570.86
Recortes 1 T.	84.03	65.55	248.40	318.42	57579.17
Recortes 2 T.	73.44	60.07	227.64	278.32	61109.10
Triplay L.	35.58	31.20	235.92	269.68	42938.73
Enlistonado L.	54.81	48.79	369.81	415.37	70522.38
Recortes 1 L.	61.25	50.34	381.52	464.21	76194.54
Recortes 2 L.	67.67	56.63	429.20	512.84	84752.39

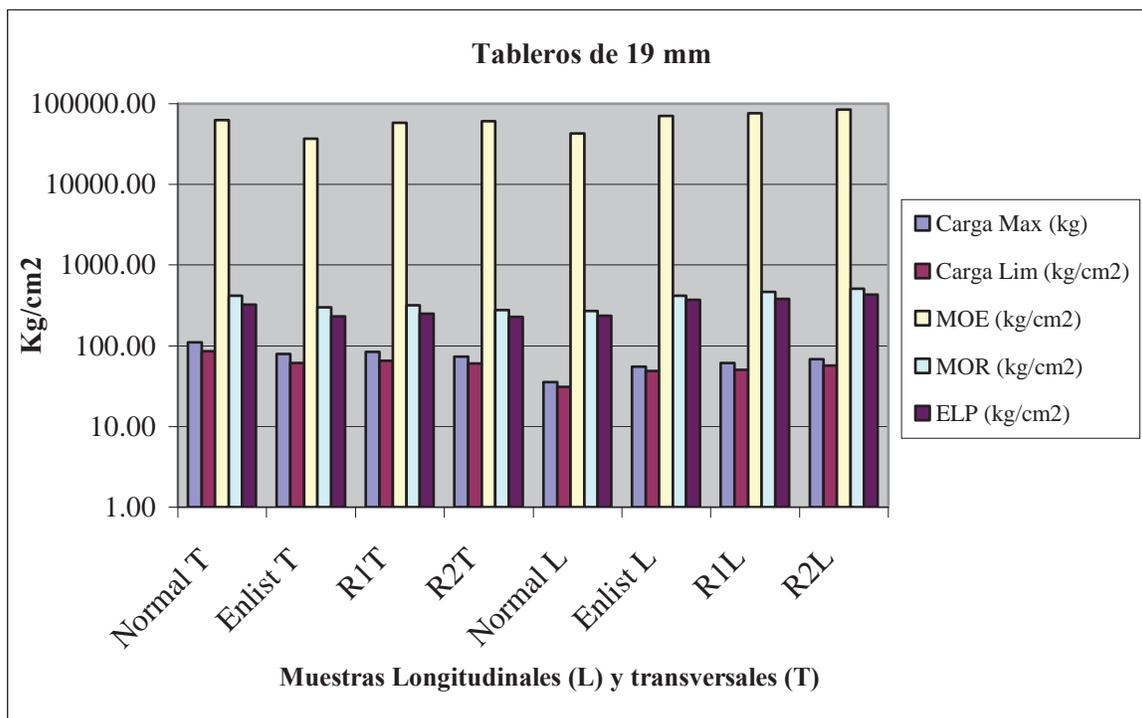


Figura 15. Características mecánicas de los tableros de 19 mm.

Desde el punto de vista práctico, del análisis de la información mecánica, se puede decir que el triplay normal es más resistente que los tableros enlistonados, y en relación a los dos tipos de tableros enlistonados, de madera y de recortes, prácticamente son similares en sus valores de resistencia a las cargas a las que se pueden someter.

En relación al tipo de falla de las probetas en sentido longitudinal de los tableros de 19 mm, las de triplay normal fallaron sin dividirse, con excepción de un 11% que se rompieron completamente. Las de enlistonados con probetas longitudinales el 61% falló en el ensamble con el listón y el 39% la falla fue en la madera, en los tableros con recortes de triplay la falla fue similar, en el ensamble de los listones, pero en un porcentaje más alto, alrededor de 80% (cuadro 10, Anexo 3).

En las probetas en sentido transversal de los tableros de 19 mm, en las de triplay normal falló la madera sin dividirse la probeta, en cambio en los enlistonados de madera el 50% falló el ensamble entre listones, y en los tableros de recortes de triplay el 83% la falla fue entre la unión de los listones (Cuadro 10, Figuras 16 y 17).

Cuadro 10. Resumen de los tipos de fallas en tableros de 19 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tipo de tablero y orientación de probeta	Tipo de falla								
	Falla total	Muy visible	Poco visible	Falla en el listón	Falla total en el ensamble del listón	Muy visible en chapa	Falla en madera sin división de probetas	Falla en pegamento	Falla mixta
Triplay L.	2	6	10						
Enlistonado L.	11			7					
Recortes 1. L.			3		11	4			
Recortes 2. L.			3		5	10			
Triplay T.							18		
Enlistonado T.							9	5	4
Recortes 1. T.					16				2
Recortes 2. T.					14				4



Figura 16. Tipo de fallas en probetas transversales del tablero recortes de triplay (R2), de 19mm.



Figura 17. Tipo de fallas en probetas transversales del triplay de 19 mm.

Con base en los resultados que se indican en el Cuadro 11, se deduce que los tableros de 16 mm presentaron un comportamiento similar a los de 19 mm, la carga máxima (columna 2) al momento de la ruptura de la probetas y la carga hasta el límite de la deformación elástica (columna 3), fueron mayores en el triplay normal de 16 mm en el sentido transversal en relación a los tableros enlistonado de madera y los de recorte de triplay. Esta misma tendencia se observa en el Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (columna 4), en el Módulo de Ruptura (columna 5) y en el Módulo de Elasticidad (columna 6). En los tableros enlistonados se puede considerar que los valores de las cargas son similares en los mismos parámetros para enlistonados de madera y los de recortes de triplay (Cuadro 11, Figura 18).

En las probetas en sentido longitudinal, el triplay normal generó valores inferiores a los enlistonados para los 5 parámetros analizados. En los tableros enlistonados, se observan valores similares para los 3 tableros analizados con una ligera tendencia mayor en los de recortes de triplay (Cuadro 11, Figura 18).

Desde el punto de vista práctico, del análisis de la información mecánica, se puede decir que el triplay normal es más resistente que los tableros enlistonados, y en relación a los dos tipos de tableros enlistonados, de madera y de recortes, prácticamente son similares en sus valores de resistencia a las cargas a las que se pueden someter.

Cuadro 11. Características mecánicas en sentido transversal (T) y longitudinal (L) de tableros de 16 mm de espesor.

Tipo de tablero y orientación de probeta	Carga máxima. (kg/cm²)	Carga límite. (kg/cm²)	MOE (kg/cm²)	MOR (kg/cm²)	E_{LP} (kg/cm²)
Triplay. T	103.25	77.32	59405.01	464.63	347.95
Enlistonado. T	63.72	48.76	37610.60	286.75	219.40
Recortes. T	57.92	53.49	50467.66	260.63	240.73
Triplay. L	34.17	31.09	41191.33	307.50	279.80
Enlistonado. L	52.39	44.66	63899.63	471.50	401.95
Recortes. L	46.83	40.62	59885.57	421.50	365.58

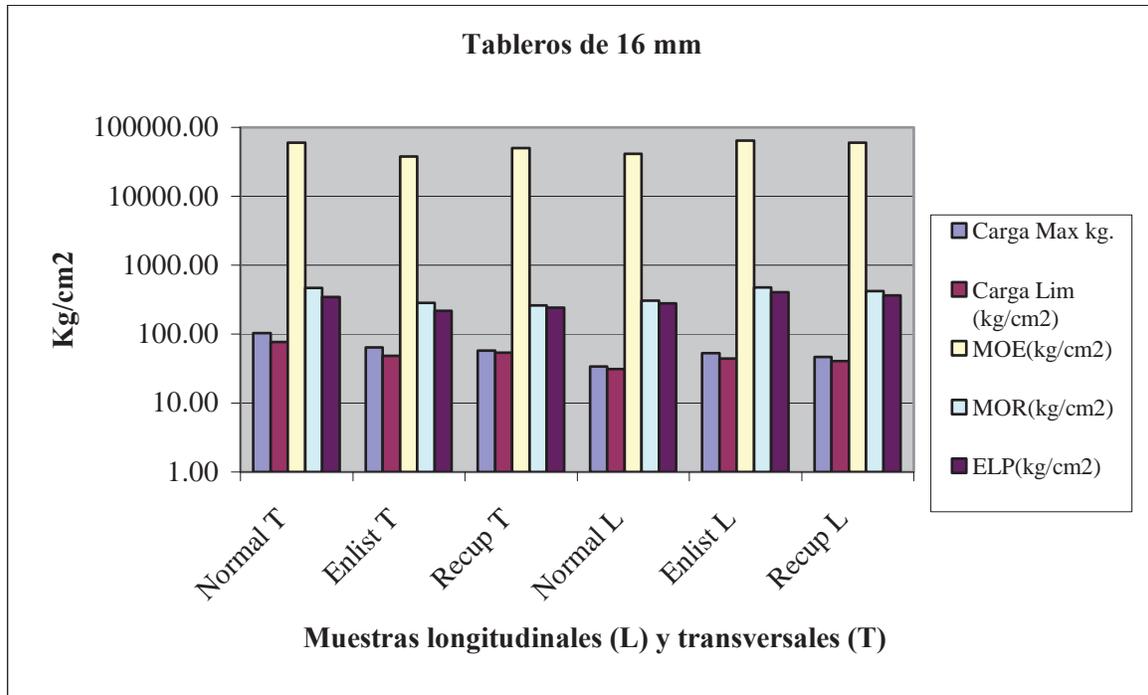


Figura 18. Características mecánicas de los tableros de 16 mm.

En relación al tipo de falla de las probetas longitudinales de los tableros de 16 mm, en las de triplay el 55% fallaron rompiéndose completamente. Las de los tableros enlistonados de madera el 83% falló totalmente dividiéndose las probetas, en los tableros con recortes de triplay el 72% se rompió totalmente (Cuadro 12, Anexo 3).

En las probetas en sentido transversal de los tableros de 16 mm, en las de triplay falló la madera sin dividirse la probeta, en cambio en las de enlistonados de madera el 88% fallo el ensamble entre listones, algo similar se presentó en las probetas de listones de recuperación del triplay, el 88% la falla fue entre la unión de los listones (Cuadro 12.).

Cuadro 12. Resumen de los tipos de falla en tableros de 16 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tipo de tablero y orientación de probeta	Tipo de falla					
	Falla total	Muy visible	Poco visible	Falla en la madera sin división	Falla pegamento entre listones	Mixta
Triplay L.	10	6	2			
Enlistonado L.	15	2	1			
Recortes L.	7	6	5			
Triplay T.				16		2
Enlistonado T.					17	1
Recortes T.					17	1

5.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE CLAVOS

5.2.1. Tableros de 19 mm de espesor

De los valores de resistencia a la extracción de clavos para los tableros de 19 mm, se aprecia en el Cuadro 13 y en la Figura 19, que la resistencia de los clavos en las caras es menor en los tableros enlistonados en relación al triplay y al de recortes de triplay, y estos dos últimos tienden a ser similares. En los tableros enlistonados la penetración se realiza prácticamente en madera sólida puesto que las chapas son muy delgadas, por lo que se aprecia una mejor retención en los tableros contrachapados, debido básicamente al arreglo de las chapas, al efecto del pegamento y posiblemente también a la densidad de los tableros.

El efecto se revierte cuando se comparan los valores en los cantos de los tableros, los tableros enlistonados presentaron mejores características de retención de clavos en relación al triplay normal y a los tableros con recortes de triplay, lo cual indica una mayor resistencia de la madera sólida que el triplay o el tablero con recortes de triplay. En relación al triplay y a los tableros con recortes de triplay, aún cuando se presenta una diferencia en los promedios de resistencia, se podrían considerar similares.

Respecto a la orientación de las probetas (longitudinal y transversal), también se puede considerar que no hay diferencia en cuanto a la resistencia, posiblemente con excepción del triplay con valores de 13 Kg/cm² para el canto longitudinal y de 18.66 Kg/cm² para el transversal. Aún cuando pudiese existir diferencia significativa entre estos valores, en la práctica se pierde el efecto, puesto que por la forma en que se utiliza el triplay rara vez se clava en los cantos (Cuadro 13, Figura 19).

Cuadro 13. Resistencia a la extracción de clavos de los tableros de 19 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tablero	Cara (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Canto Long. (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Canto Trans. (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Normal L	20.17	21.67	13.50	13	21.00	18.66
Normal T	23.17		12.50		16.33	
Enlistonado L	18.67	16.25	30.67	27.75	25.33	26.25
Enlistonado T	13.83		24.83		27.17	
Recortes 1 L	20.00	24.08	20.83	16.08	19.33	19.08
Recortes 1 T	28.17		11.33		18.83	
Recortes 2 L	26.00	26.25	18.00	19.16	19.00	20.83
Recortes 2 T	26.50		20.33		22.67	

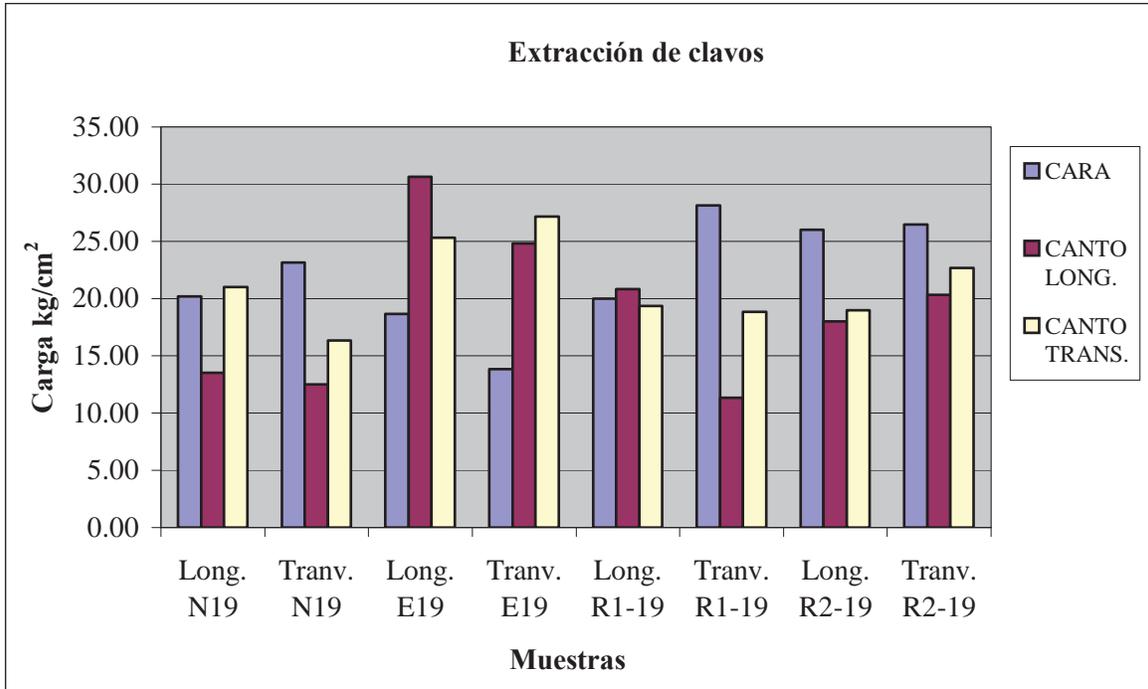


Figura 19. Resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19 mm de espesor.

5.2.1.1. Análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19 mm de espesor

A través del análisis de varianza para determinar la significancia en la resistencia a la extracción de clavos de los diferentes tipos de tableros analizados, en las probetas longitudinales y transversales, en la cara y en los cantos longitudinal y transversal, se determinó que existen diferencias significativas en la cara transversal de las probetas longitudinales y en los cantos transversales de las probetas transversales (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para la extracción de clavos en tableros de 19 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Espesor (mm)	F Calculada	Pr > F⁺
Análisis de varianza para la CARA		
19 L	0.69	0.58
19 T	6.49	0.0154
Análisis de varianza para el CANTO L		
19 L	3.13	0.087
19 T	2.88	0.103
Análisis de varianza para el CANTO T		
19 L	0.66	0.60
19 T	4.30	0.044

+ Hay diferencia en resistencia si $[Pr > F] < \alpha = 0.05$.

5.2.1.2. Comparación de medias de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 19 mm de espesor

Para determinar las diferencias y similitudes entre las probetas longitudinales y transversales de los tres tipos de tableros (triplay, enlistonado de madera y dos enlistonados de recortes de triplay) de 19 mm para la extracción de clavos en las caras, en los cantos longitudinales y en los cantos transversales, en el Cuadro 15 se muestra la comparación de medias a través de la prueba de “t” de Student con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Del análisis de los resultados, se concluye que estadísticamente no hay diferencia significativa en la resistencia a la extracción de clavos para las probetas longitudinales y las transversales, evaluadas en las caras, en los cantos longitudinales y en los cantos transversales, con excepción del tablero enlistonado de madera en probetas transversales y en los cantos transversales, que fue diferente (superior) en comparación con los otros dos tableros, el normal y el de listones de triplay.

De los tres parámetros analizados para los tableros ensayados (cara, canto longitudinal y canto transversal), se concluye que el tablero normal (N), en las probetas transversales tiene menor resistencia a la extracción de clavos que los otros tres tipos de tableros recortes 2 (R2), recortes 1 (R 1) y enlistonado (E).

Cuadro 15. Comparación de medias de la extracción de clavos en tableros de 19 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tipo de Tablero	Ensayo de los tableros		
	Cara (Kg/cm ²)	Canto longitudinal (Kg/cm ²)	Canto transversal (Kg/cm ²)
R 2 L	26.00 ^{ns}	18.00 ^{ns}	19.00 ^{ns}
R 1 L	20.00 ^{ns}	20.83 ^{ns}	19.33 ^{ns}
N L	20.17 ^{ns}	13.50 ^{ns}	21.00 ^{ns}
E L	18.67 ^{ns}	30.67 ^{ns}	25.33 ^{ns}
R 2 T	26.50 ^a	20.33 ^{ns}	22.66 ^a
R 1 T	28.17 ^a	11.33 ^{ns}	18.83 ^a
N T	23.17 ^a	12.50 ^{ns}	16.33 ^a
E T	13.83 ^b	24.83 ^{ns}	27.16 ^b

NOTA: Medias con “ns” significan que el valor de “F” en las ANOVAS de las variables no fue significativo y medias con la misma letra (a, b) están dentro del 0.05 de probabilidad o 95% a nivel de confianza.

5.2.2. Tableros de 16 mm de espesor

En los tableros de 16 mm, al igual que los de 19 mm, la resistencia a la extracción de clavos en las caras es menor en los tableros enlistonados que en el triplay y el de recortes de triplay, y entre estos dos últimos la resistencia se puede considerar similar (Cuadro 16, Figura 20).

Al igual que en los tableros de 19 mm, en este caso el efecto también se revierte cuando se comparan los valores en los cantos de los tableros, los enlistonados presentaron mejores características de retención de clavos en relación al triplay normal y a los tableros con recortes de triplay. En relación al triplay y a los tableros con recortes de triplay, aún cuando se presenta una diferencia en los promedios de resistencia, sobretodo en el promedio longitudinal, para fines prácticos se podrían considerar similares.

Respecto a la orientación de las probetas (longitudinal y transversal), también se pueden considerar similares en cuanto a la resistencia, con excepción del triplay con valores de 13 Kg/cm² para el canto longitudinal y de 21.42 Kg/cm² para el transversal (Cuadro 16), y con el mismo argumento que en el caso de los tableros de 19mm, aún cuando pudiese existir diferencia significativa entre estos valores, en la práctica se pierde el efecto, puesto que por la forma en que se utiliza el triplay rara vez se clava en los cantos.

Cuadro 16. Resistencia a la extracción de clavos de los tableros de 16 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tipo de tablero	Cara (Kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Canto Long. (Kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Canto Trans. (Kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Normal L	20.83	22.58	14.67	13.00	20.50	21.42
Normal T	24.33		11.33		22.33	
Enlistonado L	17.00	14.58	29.50	30.42	27.83	25.83
Enlistonado T	12.17		31.33		23.83	
Recortes L	22.33	24.08	16.83	21.00	19.50	20.66
Recortes T	25.83		25.17		21.83	

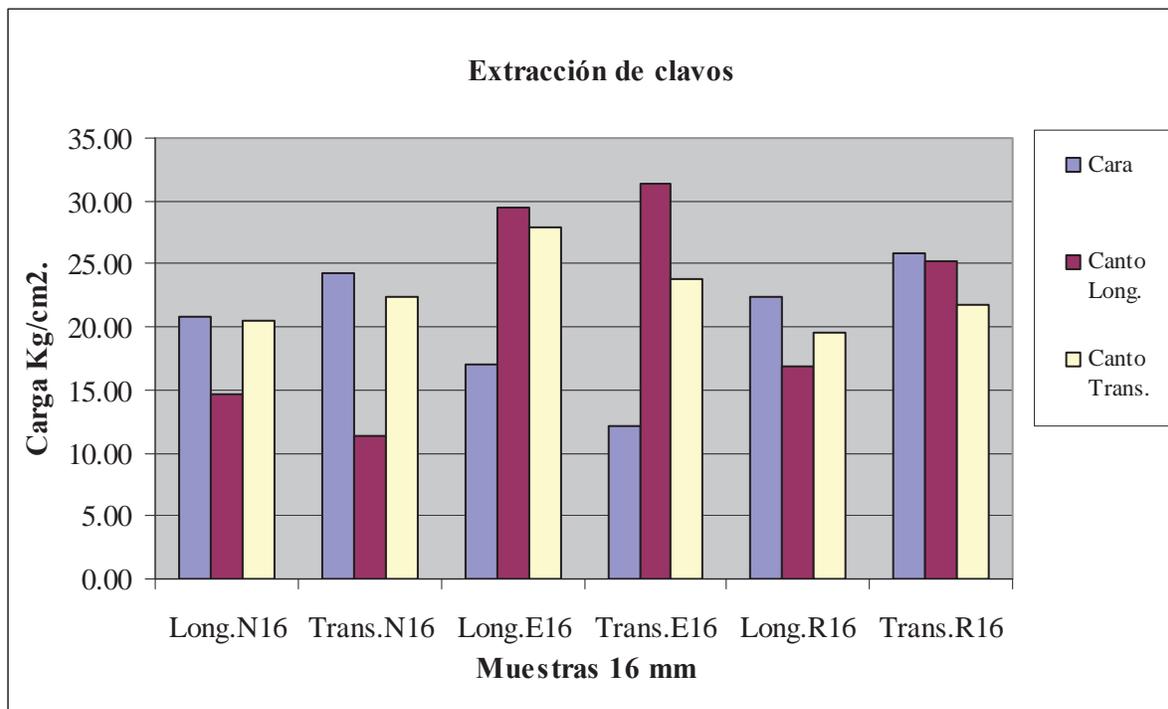


Figura 20. Resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm.

5.2.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm de espesor

A través del análisis de varianza para determinar la significancia en la resistencia a la extracción de clavos de los diferentes tipos de tableros analizados, en las probetas longitudinales y transversales, en la cara y en los cantos longitudinal y transversal, se determinó que existen diferencias significativas en el canto longitudinal de las probetas longitudinales y en los cantos longitudinales de las probetas transversales (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza para la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Espesor	F calculada	Pr > F ⁺
Análisis de varianza para la CARA		
16 mm L	0.40	0.69
16 mm T	4.78	0.057
Análisis de varianza para el CANTO L		
16 mm L	6.15	0.035
16 mm T	5.26	0.048
Análisis de varianza para el CANTO T		
16 mm L	0.685	0.54
16 mm T	0.17	0.85

+Hay diferencia en resistencia si $[Pr > F] < \alpha = 0.05$.

5.2.2.2. Comparación de medias de la resistencia a la extracción de clavos en tableros de 16 mm de espesor

Para determinar las diferencias y similitudes entre las probetas longitudinales y transversales de los tres tipos de tableros (triplay, enlistonado de madera y enlistonado de recortes de triplay) de 16 mm para la extracción de clavos en las caras, en los cantos longitudinales y en los cantos transversales, en el Cuadro 18 se muestra la comparación de medias a través de la prueba de “t” de Student con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. El análisis de los resultados, muestra que estadísticamente no hay diferencia significativa en la resistencia a la extracción de clavos para las probetas longitudinales y las transversales, evaluadas en las caras, en los cantos longitudinales y en los cantos transversales, con excepción del tablero enlistonado de madera en los cantos longitudinales de las probetas longitudinales y transversales, que fueron diferentes (superiores) en comparación con los otros dos tableros, el normal y el de listones de triplay.

De los tres parámetros analizados para los tableros ensayados (cara, canto longitudinal y canto transversal), se concluye que el tablero normal (N), en las probetas transversales tiene menor resistencia a la extracción de clavos que los otros dos tipos de tableros, recortes (R) y enlistonado (E).

Cuadro 18. Comparación de medias de extracción de clavos en tableros de 16 mm, probetas longitudinales (L) y transversales (T).

Tipo de Tablero	Ensayo de los tableros		
	Cara (Kg/cm ²)	Canto longitudinal (Kg/cm ²)	Canto transversal (Kg/cm ²)
R L	22.33 ^{ns}	16.83 ^a	19.50 ^{ns}
N L	20.83 ^{ns}	14.67 ^a	20.50 ^{ns}
E L	17.00 ^{ns}	29.50 ^b	27.83 ^{ns}
R T	25.83 ^{ns}	25.17 ^a	21.83 ^{ns}
N T	24.33 ^{ns}	11.33 ^a	22.33 ^{ns}
E T	12.17 ^{ns}	31.33 ^b	23.83 ^{ns}

NOTA: Medias con “ns” significan que el valor de “F” en las ANOVAS de las variables no fue significativo y medias con la misma letra (a, b) están dentro del 0.05 de probabilidad o 95% a nivel de confianza.

5.3. EVALUACIÓN DE LA ADHESIÓN DEL PEGAMENTO

De los tableros de 19 mm de espesor el único que pasa la norma de adherencia es el triplay. El tablero enlistonado y el de recortes de triplay enchapados no pasan la norma, en el caso del enlistonado se considera un poco de mejor calidad, pero aún así no pasa la norma (Cuadro 19). Las probetas del tablero de recorte de triplay presentan una delaminación un poco más acentuada que las del enlistonado. Las características de adherencia entre el enlistonado tradicional y el de recortes de triplay son similares en cuanto a problemas de adherencia de la chapa con los listones. En este caso, por similitud de valores, se podría recomendar el mismo uso para los tableros enlistonados de madera sólida que para los tableros con recortes de triplay, enfatizando la necesidad de analizar la posibilidad de mejorar la adhesión en ambos tipos de tableros.

Los tableros de 16 mm de espesor presentaron mejores características de adherencia que los de 19 mm. En el triplay únicamente una probeta de un total de nueve falló, lo que indica una buena adherencia. El tablero enlistonado fue un poco mejor que el de recorte, pero con el sistema de evaluación especificado por la norma, ambos tableros se pueden catalogar similares (Cuadro 19).

Del análisis de la información de la adherencia, los tableros de 16 mm presentaron mejores características que los de 19 mm, si se considera que ambos tipos de tableros se elaboraron con la misma resina, la diferencia en la calidad de adhesión podría deberse al contenido de humedad en los listones el cual fue más alto (más de 10 %) en los tableros de 19 mm interfiriendo en la adherencia entre la chapa y el pegamento.

Cuadro 19. Evaluación de la adhesión en los tableros de 16 y 19 mm de espesor.

Tablero	Probetas aceptadas	Probetas rechazadas	Clasificación
Triplay 19	6	3	Aceptado
Enlistonado 19	3	6	Rechazado
Recortes 1—19	3	6	Rechazado
Recortes 2—19	2	7	Rechazado
Triplay 16	8	1	Aceptado
Enlistonado 16	7	2	Aceptado
Recortes 16	7	2	Aceptado

*Delaminación continua visible de 6.4 mm o más de profundidad y 50 mm en longitud en los bordes, se rechaza. Si más de 2 de 5 probetas fallan el tablero no pasa la prueba.

5.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CONTENIDO DE HUMEDAD

En relación al contenido de humedad de los tableros muestreados, para el caso de los tableros de 19 mm de espesor, el tablero enlistonado fue el que presentó valores más altos, 13.46% que se considera alto para cualquier tipo de tablero (se considera que lo más adecuado es de 8 a 10% de C.H.), e incluso una probeta con un valor de 15.10%, que puede ser por efecto de un listón de madera con C.H. más alto que el requerido para la elaboración de los tableros enlistonados. En el tablero 1, con recortes, se presentó algo similar al tablero enlistonado, un C.H. alto de 12.21% y una probeta también con C.H. de 15.46%, un valor alto para este tipo de tableros (Cuadro 20, Figura 21).

Los tableros de 16 mm, presentaron valores más uniformes en el C.H., dentro de los rangos sugeridos para tableros de madera. En este tipo de tableros, el de contrachapados fue el que presentó un C.H. mayor, pero dentro del rango recomendado de 8 a 10 % C.H. (Cuadro 21, Figura 22).

Los tableros de 19 mm fueron los que presentaron el C.H. más alto, y el más bajo correspondió a los tableros de 16 mm. Desde el punto de vista práctico, los que presentaron el C.H. más adecuado fueron el triplay normal de 19 y 16 mm con 9.02 y 10.02 % en promedio, respectivamente, el enlistonado de madera de 16 mm con 8.88 % y el tablero de recortes de 16 mm con 8.91% de C.H. Arriba del 10% de C.H. se puede considerar alto y menor del 8% se puede considerar bajo. Aparentemente el C.H. no influyó en las propiedades de los tableros o por lo menos no se detecta una relación directa con respecto a las propiedades mecánicas pero si en la calidad de la adhesión.

Cuadro 20. Contenidos de humedad de los tableros de 19 mm.

No. de Probeta	Tipo de tablero	%CH	Promedio
1	Normal	8.85	9.02
2	Normal	9.11	
3	Normal	9.09	
1	Enlistonado	11.88	13.46
2	Enlistonado	15.10	
3	Enlistonado	13.38	
1	Recortes 1	10.98	12.21
2	Recortes 1	10.18	
3	Recortes 1	15.46	
1	Recortes 2	10.03	10.99
2	Recortes 2	10.82	
3	Recortes 2	12.11	

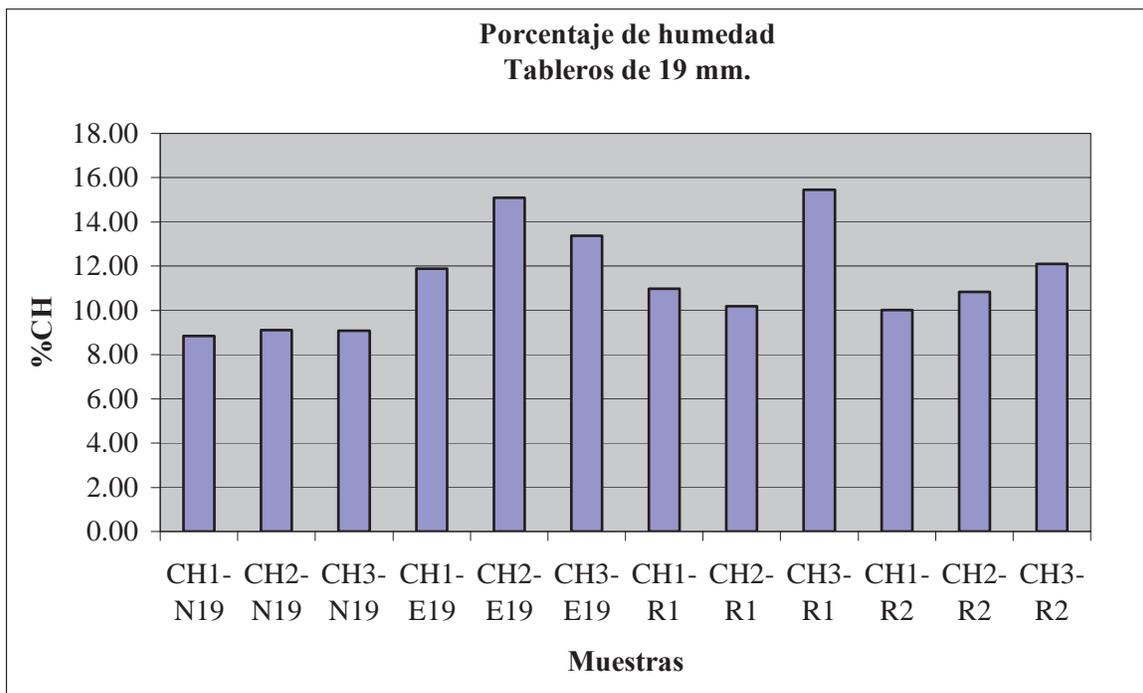


Figura 21. Porcentajes del Contenido de Humedad (%C.H) en los tableros de 19 mm.

Cuadro 21. Contenidos de humedad de los tableros de 16 mm.

No. de Probeta	Tipo de tablero	C.H. %	Promedio
1	Normal	9.70	10.02
2	Normal	9.78	
3	Normal	10.58	
1	Enlistonado	8.75	8.88
2	Enlistonado	9.16	
3	Enlistonado	8.73	
1	Recortes	11.17	8.91
2	Recortes	10.10	
3	Recortes	5.46	

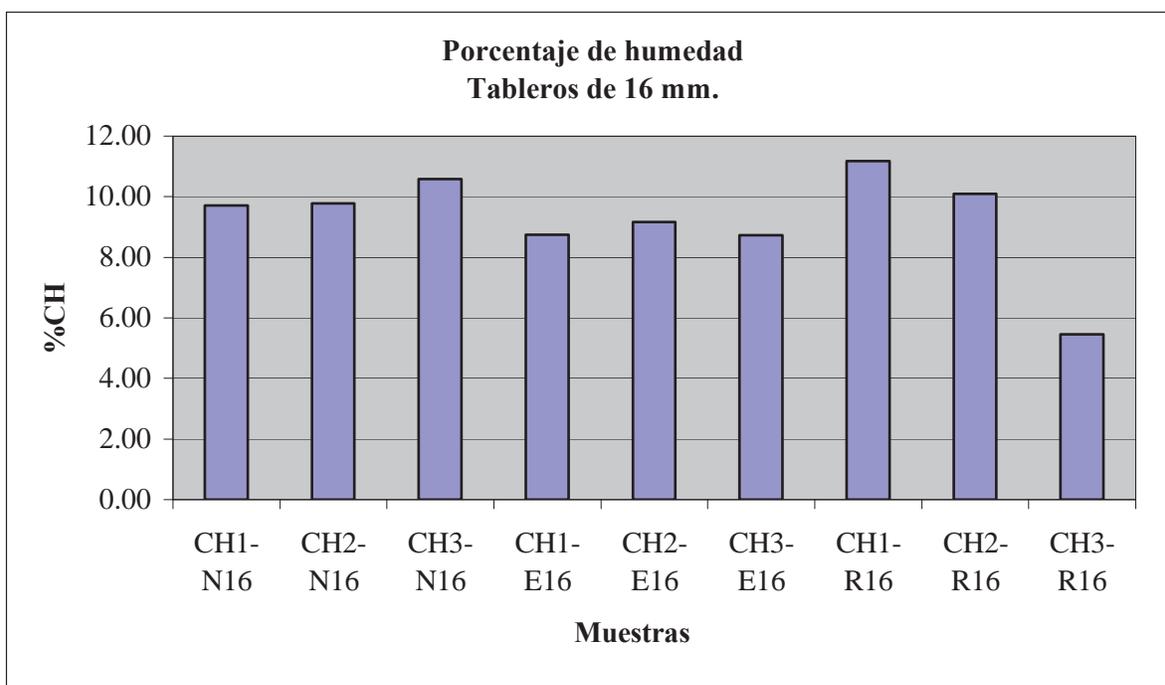


Figura 22. Porcentajes del Contenido de Humedad (%C.H) en los tableros de 16 mm.

6. CONCLUSIONES

1. Se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el E_{LP} , MOR y MOE entre los tableros normales y los enlistonados de madera sólida y recortes de triplay de 16 y 19 mm de espesor, con excepción de los tableros de 19 mm en el parámetro del MOE, con valores más altos significativamente en los tableros enlistonados con recortes de triplay y sin diferencia en este mismo parámetro entre los tableros normales y los enlistonados de madera sólida.
2. En relación al tipo de falla, la mayoría de las probetas de triplay fallaron la chapa con el pegamento sin dividirse o romperse totalmente y en los enlistonados de madera y de recortes de triplay el mayor porcentaje de falla se presentó en el ensamble entre listones.
3. La resistencia a la extracción de clavos es similar en todos los tableros (normal, enlistonados de madera sólida y de recortes triplay) en las caras, en los cantos longitudinales y transversales, con excepción de los tableros enlistonados de madera en las probetas transversales y en los cantos transversales, que fue superior a los otros tableros analizados.
4. De los tableros de 19 mm de espesor, el triplay es el único que pasa la norma de adherencia. El tablero enlistonado y el de recortes de triplay enchapados no pasaron la norma. Las probetas del tablero de recortes de triplay presentan delaminaciones un poco más acentuadas que las del enlistonado de madera sólida.
5. Los tableros de 16 mm de espesor presentaron mejores características de adherencia que los de 19 mm. En el triplay únicamente una probeta de las nueve evaluadas falló, lo que indica una buena adherencia. El tablero enlistonado fue un poco mejor que el de recortes de triplay, pero con el sistema de evaluación especificado por la norma, ambos tableros se pueden catalogar similares.
6. En relación al contenido de humedad de los tableros muestreados, para el caso de los tableros de 19 mm de espesor, fueron los que presentaron el C.H. más alto, y el más bajo correspondió a los tableros de 16 mm. Desde el punto de vista práctico, los que tienen el C.H. más adecuado son los tableros que están por debajo del 10 % de C.H. arriba del 10% se puede considerar alto y menor del 8% se puede considerar bajo. Aparentemente el C.H. no influyó en las propiedades de los tableros o por lo menos no se detecta una relación directa con respecto a las propiedades mecánicas pero sí en la calidad de la adhesión.

7. Con base en los resultados de este estudio y dada la similitud en las propiedades mecánicas y de las características de adherencia de los tableros enlistonados de madera con los de recortes de triplay, se recomienda que se utilicen en forma similar en usos que no requieran cargas pesadas ni estén expuestos a golpes o impactos significativos, tampoco en ambientes con cambios frecuentes de temperatura y humedad que afectan directamente las propiedades de adhesión, como tarimas, entresijos, techos o para elementos estructurales expuestos a cambios ambientales. En este sentido, se considera que los tableros enlistonados tradicionales ya tiene un mercado definido para usos muy específicos, en ese tipo de usos es donde podrían entrar los tableros enlistonados con recortes de triplay.

7. RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de determinar las posibles causas de fallas de la adhesión de los tableros, se recomienda analizar la secuela o programa de prensado en cuanto al tiempo de prensado, a los tiempos de carga y cierre de la prensa y a los tiempos de permanencia de los tableros en los platos antes de cerrar de la prensa.
2. En el caso de los tableros con recortes de triplay, se sugiere analizar la posibilidad de formular un adhesivo más reactivo para ensamblar los recortes, puesto que gran parte de las fallas se presentaron en la unión de los listones.
3. Se considera que se contemple la posibilidad de formular un adhesivo más reactivo para el enchapado de los tableros enlistonados de madera y de recortes, sobretodo después de analizar la secuela o programa de prensado corroborar su efecto en los problemas de delaminación.
4. Se requiere revisar el C.H. de los listones que se utilizan para la elaboración de los enlistonados. La humedad también puede tener efecto en las delaminaciones, al interferir en la adherencia entre la chapa y el pegamento.
5. Se considera conveniente realizar trabajos de investigación similares al presente de una forma más amplia e intensiva, para cada tipo de tablero producido, con la finalidad de poder contar con valores estándares nacionales para cada propiedad física y mecánica de los mismos, valores que a su vez coadyuven a mejorar la calidad de los productos mexicanos, así como a mejorar la industria de tableros nacionales.
6. Se requiere involucrar directamente a las empresas productoras de tableros en general para que colaboren con trabajos de investigación que a ellos mismos les permita conocer la calidad de sus productos y obtener un mejor nivel de competitividad.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACERCAR. 2006. Fichas sectoriales de la industria de la madera. [Internet]. Disponible en: <http://www.acercar.org.co/industria/fichas/sectoriales/sectores/001_madera.pdf> [Consulta: Junio 20, 2006].
- ANAFATA (Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros). 1981. Producción de tableros contrachapados. Memoria del XI seminario Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros de Madera A. C. México. 120 p.
- Anon. 2006. Universidad Tecnológica de Colombia. Chapas y Tríplex. [Internet]. Disponible en: <<http://www.ut.edu.co/fif/0941/mpp/chapasytriplex.doc>>. [Consulta: Junio 20, 2006].
- APA (American Plywood Association) 1995. PS 1-95 Construction and industrial Plywood (with typical APA trademarks). The engineering Wood Association. USA 101 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) 2000. Standard methods of Testing Structural Panels in Flexure. Designation D- 3043-95. Annual book of ASTM standars. Section 4: Construction. Volume 14.10 : Wood. Conshohocken, Pa. pp. 425-435.
- Baldwin, F. R. 1995. Plywood and veneer-based products manufacturing practices. Miller Freeman Books. USA. 388 p.
- Chávez G., A. 1985. Análisis de las propiedades mecánicas en flexión estática de tableros contrachapados de madera de pino. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán., México. 75 p.
- Chávez P., A. 2003. Apuntes sobre fabricación de laminados y tableros a base de madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, México.
- Devlieger S., F. 1990. Tableros contrachapados. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. pp. 87-97.
- Estrada S., G. R. 1990. Obtención de chapa por medio de desenrollo. Tesina profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 45 p.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2006. Tableros a base de madera. Roma. [Internet]. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/30164s/30164s0c.htm> [Consulta: Junio 20, 2006].

- García E., L.; Guindeo C., A.; Peraza O., C. 2002. Tableros alistonados, tableros de virutas orientadas (OSB), y tableros de madera microlaminada LVC. In. La madera y su tecnología. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 161-166.
- Haygreen G., J. and Bowyer L., J. 1989. Forest Products and Wood Science. Iowa State University Press. USA. 500 p.
- Hernández G., Y. 2001. Utilización de chapa de cortas dimensiones para aumentar el coeficiente de aprovechamiento de triplay. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 68 p.
- Kollman F., F. and W. Kuenzi E. 1975. Principles of Wood science and technology II. Springer Verlag. New York. 703 p.
- LIGNUM (Union Suisse en Faveur du Bois). 1960. Materiales derivados y tableros de madera. In. Manual de tecnología suiza 2. LIGNUM. Zurich, Switzerland. pp. 1-5.
- López S., E. 2000. Propiedades físico-mecánicas de nueve tableros contrachapados de pino, de tres fabricantes nacionales. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 82 p.
- Marcial G., J. G. 1981. Adhesivos para la fabricación de tableros contrachapados. Tesina profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 47 p.
- Moreno, Z., C. y Espejel, E. A. L. 1983. Rendimiento y proceso de la fabricación de tableros contrachapados, Compañía Forestal de Chiapas, S.A. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, México. 141 p.
- Naturezaviva. 2006. Plan Forestal Español. [Internet]. Disponible en: <http://www.naturezaviva.org/docs/ref_planes/Plan%20Forestal%20Español_Anejos.pdf> [Consulta: Junio 20, 2006].
- Ocaña M., J. 1987. Fabricación del tablero contrachapado en la empresa TOMPER S.A de Ciudad Hidalgo Mich. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 46 p.
- Panshin A. J.; Baker A.J.; Proctor P.B. 1959. Productos forestales, origen, beneficio y aprovechamiento. 1ª ed. en español. Salvat. Barcelona España. 605 p.
- Pérez M., F. J. 1988. Efectos del ablandamiento de trocería de *Quercus* spp. para la producción de chapa desenrollada. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 51 p.

- Radillo M., L. 1984. Características de tableros contrachapados fabricados con cinco especies de maderas tropicales. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 66 p.
- Rangel T., J. A. 1987. Diseño y fabricación de tableros contrachapados para usarse en construcciones ligeras y determinación de sus especificaciones de comportamiento. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 183 p.
- Ruiz T., R. 2002. Análisis del proceso de calentamiento de trocería para la producción de chapa de pino en la fábrica de Guitarras y Contrachapados S.A de C.V. en Parácho Michoacán. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 45 p.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 1976. Norma NOM-G-18-1976. Tableros contrachapados de maderas finas (Cedro y Caoba) y duras tropicales. Dirección General de Normas. México, D.F. 8 p.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 1978. Norma NMX-C326-1978. Tableros contrachapados de pino. Dirección General de Normas. México, D.F. 15 p.
- S.F.F. (Subsecretaría Forestal y de la Fauna). 1982. La industria de los tableros de madera en México. S.F.F., México. 99 p.
- Tsoumis, G. 1991. Plywood. In. Science and technology of wood. Van Nostrand Reinold. New York. pp. 339-342.
- Vega E, C. 1982. Proceso, capacidades y determinación del coeficiente de aprovechamiento de tableros contrachapados en la planta "Maderas Industriales de Quintana Roo". Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 95 p.
- Woodfin, O.R. 1978. Wood losses in plywood production – four species. Forest Products Journal. 23(9):98-105.
- Zamudio, S. E. 1986. Manual de la industria maderera. Serie de Agronomía No. 10. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 389 p.
- Zavala, Z. D. 1994. Análisis de los factores que intervienen en el proceso de prensado del triplay. Ciencia Forestal en México. INIFAP, México. D.F. 19(76):103-132.
- Zavala, Z. D. y Hernández, G. Y. 2002. Aprovechamiento de chapa de cortas dimensiones para aumentar la producción de triplay. Maderas: Ciencia y Tecnología. 4(2):111-122. Universidad del BIO-BIO, Concepción, Chile.

ANEXOS

ANEXO 1

FLEXIÓN ESTÁTICA. Módulo de Elasticidad (MOE), Módulo de Ruptura (MOR) y Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (E_{LP}). Tableros de 16 y 19 mm de espesor, probetas longitudinales y transversales.

Tablero (N) contrachapado o normal de 19mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
3-1 N19	30789.82	185.68	185.68
3-2 N19	42636.13	348.63	222.06
3-3 N19	42624.00	280.42	280.42
3-4 N19	43008.00	272.84	212.21
3-5 N19	37024.28	295.58	233.43
3-6 N19	48054.86	276.63	276.63
1-1 N19	53716.11	257.68	257.68
1-2 N19	30838.15	219.79	219.79
1-3 N19	36469.03	234.95	209.94
1-4 N19	52346.88	246.32	215.24
1-5 N19	47214.28	269.05	252.38
1-6 N19	45537.88	272.84	212.21
5-1 N19	39668.87	250.11	250.11
5-2 N19	41886.72	272.84	229.64
5-3 N19	45522.75	310.74	268.29
5-4 N19	38947.62	272.84	245.56
5-5 N19	50795.16	299.37	299.37
5-6 N19	45816.69	288.00	175.83
Media	42938.73	269.68	235.915
Máximo	53716.11	348.63	299.37
Mínimo	30789.82	185.68	175.83
Desv. Est.	6558.96	35.84	33.085

Tablero (R1) enlistonado de recortes de triplay de 19 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
1-1 R1	69632.00	257.68	257.68
1-2 R1	74724.32	428.21	378.95
1-3 R1	73596.34	541.89	423.66
1-4 R1	66816.00	219.79	219.79
1-5 R1	71764.59	557.05	452.46
1-6 R1	91392.00	538.11	450.95
3-1 R1	71448.25	473.68	372.13
3-2 R1	81480.28	519.16	379.71
3-3 R1	67737.60	405.47	371.37
3-4 R1	54416.29	344.84	328.17
3-5 R1	82483.20	530.53	406.99
3-6 R1	92897.28	522.95	445.64
5-1 R1	73776.51	488.84	384.25
5-2 R1	78836.30	447.16	378.19
5-3 R1	77339.68	545.68	392.21
5-4 R1	88037.05	564.63	458.53
5-5 R1	79742.65	519.16	415.33
5-6 R1	75381.46	450.95	351.28
Media	76194.54	464.21	381.52
Máximo	92897.28	564.63	458.53
Mínimo	54416.29	219.79	219.79
Desv. Est.	9308.32269	100.96	63.73

ANEXO 1

Tablero (R2) enlistonado de recortes de triplay de 19 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm²	MOR Kg/cm²	Elp Kg/cm²
1-1 R2	83931.43	322.11	322.11
1-2 R2	101794.91	648.00	460.42
1-3 R2	90861.38	583.58	547.96
1-4 R2	80033.68	504.00	416.84
1-5 R2	86572.80	466.11	379.71
1-6 R2	87309.47	541.89	454.74
3-1 R2	76646.40	447.16	378.19
3-2 R2	75304.42	511.58	392.21
3-3 R2	87055.75	644.21	465.35
3-4 R2	87018.44	610.11	453.22
3-5 R2	94750.44	583.58	480.51
3-6 R2	87726.36	530.53	444.88
5-1 R2	87454.99	557.05	455.49
5-2 R2	82216.42	428.21	428.21
5-3 R2	75215.13	504.00	453.60
5-4 R2	92291.66	602.53	531.28
5-5 R2	78796.80	216.00	216.00
5-6 R2	70562.50	530.53	444.88
Media	84752.39	512.84	429.20
Máximo	101794.91	648.00	547.96
Mínimo	70562.50	216.00	216.00
Desv. Est.	7795.68	109.75	75.12

Tablero (E) enlistonado de madera sólida de 19 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm²	MOR Kg/cm²	Elp Kg/cm²
1-1 E19	79597.14	466.11	414.57
1-2 E19	74582.17	435.79	419.12
1-3 E19	82944.00	261.47	261.47
1-4 E19	63406.08	291.79	260.72
1-5 E19	76977.85	450.95	400.93
1-6 E19	59413.79	382.74	382.74
3-1 E19	74862.28	557.05	400.17
3-2 E19	68674.06	291.79	291.79
3-3 E19	95217.01	606.32	535.07
3-4 E19	60400.25	371.37	322.86
3-5 E19	70304.91	488.84	404.72
3-6 E19	65220.92	348.63	348.63
5-1 E19	49766.40	238.74	238.74
5-2 E19	64643.66	473.68	372.13
5-3 E19	86727.41	504.00	451.71
5-4 E19	69672.96	504.00	381.98
5-5 E19	57270.86	329.68	329.68
5-6 E19	69721.04	473.68	439.58
Media	70522.38	415.37	369.81
Máximo	95217.01	606.32	535.07
Mínimo	49766.40	238.74	238.74
Desv. Est.	11210.48	105.42	75.89

ANEXO 1

Tablero (N) contrachapado o normal de 19 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
4-1 N19	73872.00	426.32	324.00
4-2 N19	55774.52	424.42	397.52
4-3 N19	75969.16	528.63	458.15
4-4 N19	86515.20	422.53	284.59
4-5 N19	78412.80	562.74	386.91
4-6 N19	66157.71	397.89	253.89
6-1 N19	60874.97	521.05	467.24
6-2 N19	64281.60	405.47	281.94
6-3 N19	66769.92	233.05	183.03
6-4 N19	67651.20	401.68	296.72
6-5 N19	64358.40	432.00	317.56
6-6 N19	57369.60	428.21	314.53
2-1 N19	74787.84	521.05	410.02
2-2 N19	54777.60	325.89	240.25
2-3 N19	73405.44	481.26	402.44
2-4 N19	5578.97	428.21	428.21
2-5 N19	57073.37	320.21	219.03
2-6 N19	40396.80	282.32	199.33
Media	62445.95	419.05	325.85
Máximo	86515.20	562.74	467.24
Mínimo	5578.97	233.05	183.03
Desv. Est.	17768.38	87.59	89.04

Tablero (R2) enlistonado de recortes de triplay de 19 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
2-1 R2	57628.80	303.16	252.76
2-2 R2	54720.00	180.00	180.00
2-3 R2	58752.00	225.47	225.47
2-4 R2	51993.60	367.58	256.55
2-5 R2	67046.40	342.95	257.31
2-6 R2	49536.00	212.21	162.95
6-1 R2	62602.97	325.89	240.25
6-2 R2	68083.20	301.26	223.96
6-3 R2	52416.00	172.42	172.42
6-4 R2	67046.40	252.00	183.79
6-5 R2	76838.40	320.21	252.76
6-6 R2	61220.57	234.95	234.95
4-1 R2	67540.11	310.74	259.20
4-2 R2	70272.00	320.21	231.18
4-3 R2	55468.80	312.63	243.28
4-4 R2	51840.00	265.26	198.95
4-5 R2	63072.00	276.63	276.63
4-6 R2	63886.63	286.11	245.18
Media	61109.10	278.32	227.64
Máximo	76838.40	367.58	276.63
Mínimo	49536.00	172.42	162.95
Desv. Est.	7571.22	55.38	33.80

ANEXO 1

Tablero (R1) enlistonado de recortes de triplay de 19 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
6-1 R1	51402.24	225.47	169.09
6-2 R1	52531.20	348.63	288.00
6-3 R1	46051.20	270.95	201.98
6-4 R1	57676.80	360.00	284.59
6-5 R1	50457.60	331.58	248.97
6-6 R1	51148.80	329.68	280.42
4-1 R1	47623.68	314.53	261.09
4-2 R1	62553.60	342.95	205.77
4-3 R1	57369.60	288.00	220.17
4-4 R1	56217.60	252.00	184.93
4-5 R1	60364.80	248.21	198.57
4-6 R1	56184.69	282.32	215.62
2-1 R1	62208.00	426.32	341.05
2-2 R1	80064.00	337.26	263.37
2-3 R1	59650.56	396.00	327.03
2-4 R1	61171.20	293.68	268.29
2-5 R1	55493.49	278.53	212.97
2-6 R1	68256.00	405.47	299.37
Media	57579.17	318.42	248.40
Máximo	80064.00	426.32	341.05
Mínimo	46051.20	225.47	169.09
Desv. Est.	7994.84	56.27	49.68

Tablero (E) enlistonado de madera sólida de 19mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
2-1 E19	36005.24	308.84	217.14
2-2 E19	42992.64	286.11	235.71
2-3 E19	36193.75	310.74	218.27
2-4 E19	36806.40	308.84	242.15
2-5 E19	35357.54	310.74	252.00
2-6 E19	37643.82	335.37	268.29
6-1 E19	41216.00	403.59	305.05
6-2 E19	42535.38	428.21	303.16
6-3 E19	39513.60	346.74	259.96
6-4 E19	39744.00	348.63	261.47
6-5 E19	33496.62	272.84	238.74
6-6 E19	33235.20	286.11	218.65
4-1 E19	45388.80	267.16	223.96
4-2 E19	44928.00	197.05	197.05
4-3 E19	36979.20	238.74	162.19
4-4 E19	34387.20	200.84	150.82
4-5 E19	38223.36	288.00	209.56
4-6 E19	3628.80	238.74	238.74
Media	36570.86	298.74	233.49
Máximo	45388.80	428.21	305.05
Mínimo	3628.80	197.05	150.82
Desv. Est.	9013.983677	61.16905735	40.42

ANEXO 1

Tablero (N) contrachapado o normal de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
1-1 N16	44001.50	355.50	336.60
1-2 N16	33949.17	274.50	237.60
1-3 N16	44789.76	328.50	291.60
1-4 N16	35691.05	292.50	255.60
1-5 N16	44236.80	279.00	223.20
1-6 N16	45004.80	301.50	263.70
3-1 N16	34057.31	279.00	243.90
3-2 N16	46938.76	373.50	336.15
3-3 N16	42163.20	337.50	301.95
3-4 N16	45480.96	333.00	296.10
3-5 N16	48798.72	355.50	317.70
3-6 N16	45116.51	342.00	323.10
5-1 N16	45421.71	310.50	310.50
5-2 N16	34985.35	315.00	296.10
5-3 N16	28964.57	198.00	198.00
5-4 N16	38455.85	292.50	275.40
5-5 N16	41333.76	288.00	269.10
5-6 N16	42054.06	279.00	260.10
Media	41191.33	307.50	279.80
Máximo	48798.72	373.50	336.60
Mínimo	28964.57	198.00	198.00
Desv. Est.	5520.38	41.01	39.22

Tablero (R) enlistonado de recortes de triplay de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
1-1 R16	47396.57	400.50	324.00
1-2 R16	64653.78	508.50	410.40
1-3 R16	62862.82	427.50	388.80
1-4 R16	68251.06	427.50	388.80
1-5 R16	63881.43	454.50	395.10
1-6 R16	63663.16	472.50	393.75
3-1 R16	60480.00	315.00	315.00
3-2 R16	61615.54	468.00	351.00
3-3 R16	57600.00	337.50	337.50
3-4 R16	50143.42	378.00	359.10
3-5 R16	54981.82	472.50	393.75
3-6 R16	68044.80	459.00	398.70
5-1 R16	57793.24	324.00	291.60
5-2 R16	55441.52	400.50	342.90
5-3 R16	61250.95	486.00	388.80
5-4 R16	68596.93	531.00	413.10
5-5 R16	55987.20	364.50	328.05
5-6 R16	55296.00	360.00	360.00
Media	59885.57	421.50	365.58
Máximo	68596.93	531.00	413.10
Mínimo	47396.57	315.00	291.60
Desv. Est.	6039.25	64.79	36.13

ANEXO 1

Tablero (E) enlistonado de madera sólida de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
1-1 E16	63735.92	513.00	394.20
1-2 E16	68994.33	535.50	494.10
1-3 E16	55157.76	378.00	359.10
1-4 E16	64262.92	445.50	387.00
1-5 E16	66486.86	558.00	454.50
1-6 E16	68876.05	481.50	381.15
3-1 E16	85126.74	567.00	526.50
3-2 E16	57187.71	432.00	353.70
3-3 E16	60687.36	454.50	395.10
3-4 E16	53542.71	414.00	357.30
3-5 E16	58613.76	373.50	333.90
3-6 E16	38553.60	243.00	225.90
5-1 E16	72806.40	589.50	426.60
5-2 E16	85313.83	648.00	486.00
5-3 E16	53153.28	423.00	346.05
5-4 E16	68240.29	567.00	488.70
5-5 E16	46808.71	346.50	327.60
5-6 E16	82645.10	517.50	497.70
Media	63899.63	471.50	401.95
Máximo	85313.83	648.00	526.50
Mínimo	38553.60	243.00	225.90
Desv. Est.	12679.99	100.94	77.58

Tablero (N) contrachapado o normal de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
2-1 N16	38534.40	483.75	401.40
2-2 N16	57830.40	472.50	338.85
2-3 N16	78599.31	506.25	358.20
2-4 N16	55296.00	535.50	396.00
2-5 N16	64627.20	695.25	420.75
2-6 N16	50976.00	648.00	531.00
6-1 N16	50042.88	427.50	325.80
6-2 N16	63331.20	443.25	329.85
6-3 N16	53145.60	456.75	311.40
6-4 N16	63936.00	468.00	333.00
6-5 N16	60726.86	434.25	276.75
6-6 N16	78019.20	524.25	406.35
4-1 N16	40089.60	407.25	313.20
4-2 N16	57888.00	301.50	301.50
4-3 N16	58455.77	369.00	266.40
4-4 N16	68636.16	510.75	446.85
4-5 N16	65565.26	337.50	298.80
4-6 N16	63590.40	342.00	207.00
Media	59405.01	464.63	347.95
Máximo	78599.31	695.25	531.00
Mínimo	38534.40	301.50	207.00
Desv. Est.	10709.16	100.81	75.58

ANEXO 1

Tablero (R) enlistonado de recortes de triplay de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
6-1 R16	34905.60	227.25	227.25
6-2 R16	38784.00	227.25	227.25
6-3 R16	61632.00	312.75	240.75
6-4 R16	60288.00	353.25	353.25
6-5 R16	47808.00	186.75	186.75
6-6 R16	63849.60	436.50	332.55
4-1 R16	62899.20	297.00	204.75
4-2 R16	69734.40	265.50	204.30
4-3 R16	43940.57	200.25	200.25
4-4 R16	46409.14	211.50	211.50
4-5 R16	50198.40	290.25	261.45
4-6 R16	66355.20	216.00	216.00
2-1 R16	38509.71	175.50	175.50
2-2 R16	38016.00	222.75	222.75
2-3 R16	41088.00	240.75	240.75
2-4 R16	38016.00	247.50	247.50
2-5 R16	42048.00	164.25	164.25
2-6 R16	63936.00	416.25	416.25
Media	50467.66	260.63	240.73
Máximo	69734.40	436.50	416.25
Mínimo	34905.60	164.25	164.25
Desv. Est.	11922.73	77.82	64.99

Tablero enlistonado de madera sólida de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	MOE Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Elp Kg/cm ²
2-1 E16	40843.64	292.50	292.50
2-2 E16	33004.80	317.25	257.85
2-3 E16	36633.60	263.25	214.65
2-4 E16	37411.20	263.25	194.85
2-5 E16	47890.29	317.25	218.25
2-6 E16	40435.20	344.25	263.25
4-1 E16	47495.31	315.00	216.45
4-2 E16	43051.89	274.50	196.20
4-3 E16	28742.40	285.75	224.55
4-4 E16	39283.20	225.00	153.45
4-5 E16	34675.20	396.00	270.90
4-6 E16	34252.80	281.25	200.70
6-1 E16	30240.00	216.00	157.50
6-2 E16	24757.53	236.25	177.30
6-3 E16	45224.23	267.75	206.10
6-4 E16	48076.80	375.75	281.70
6-5 E16	38361.60	249.75	249.75
6-6 E16	26611.20	240.75	173.25
Media	37610.60	286.75	219.40
Máximo	48076.80	396.00	292.50
Mínimo	24757.53	216.00	153.45
Desv. Est.	7209.25	49.91	42.01

ANEXO 2

RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE CLAVOS. Tableros de 16 y 19 mm de espesor, probetas longitudinales y transversales.

Tablero enlistonado de madera sólida de 19mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
5-6 L E19	20.00	22.00	19.00
1-6 L E19	12.00	30.00	29.00
3-6 L E19	24.00	40.00	28.00
Media	18.67	30.67	25.33
Máximo	24.00	40.00	29.00
Mínimo	12.00	22.00	19.00
Desv. Est.	6.11	9.02	5.51

Tablero enlistonado de madera sólida de 19mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
4-6 T E19	8.50	23.50	26.50
6-1 T E19	21.00	35.00	30.00
2-1 T E19	12.00	16.00	25.00
Media	13.83	24.83	27.17
Máximo	21.00	35.00	30.00
Mínimo	8.50	16.00	25.00
Desv. Est.	6.45	9.57	2.57

Tablero contrachapado o normal de 19mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L N19	15.50	18.50	28.00
3-6 L N19	21.50	11.50	21.50
5-6 L N19	23.50	10.50	13.50
Media	20.17	13.50	21.00
Máximo	23.50	18.50	28.00
Mínimo	15.50	10.50	13.50
Desv. Est.	4.16	4.36	7.26

Tablero contrachapado o normal de 19mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-6 T N19	27.00	8.00	14.00
4-6 T N19	25.00	16.00	19.50
6-5 T N19	17.50	13.50	15.50
Media	23.17	12.50	16.33
Máximo	27.00	16.00	19.50
Mínimo	17.50	8.00	14.00
Desv. Est.	5.01	4.09	2.84

Tablero enlistonado de recortes de triplay (1) de 19mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L R1	19.00	18.50	20.50
3-6 L R1	10.00	23.00	20.50
5-6 L R1	31.00	21.00	17.00
Media	20.00	20.83	19.33
Máximo	31.00	23.00	20.50
Mínimo	10.00	18.50	17.00
Desv. Est.	10.54	2.25	2.02

Tablero enlistonado de recortes de triplay (1) de 19mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-6 T R1	26.50	17.50	20.00
4-6 T R1	29.00	7.50	24.50
6-6 T R1	29.00	9.00	12.00
Media	28.17	11.33	18.83
Máximo	29.00	17.50	24.50
Mínimo	26.50	7.50	12.00
Desv. Est.	1.44	5.39	6.33

ANEXO 2

Tablero enlistonado de recortes de triplay (2) de 19mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L R2	27.50	29.00	21.00
3-6 L R2	21.00	10.00	10.00
5-6 L R2	29.50	15.00	26.00
Media	26.00	18.00	19.00
Máximo	29.50	29.00	26.00
Mínimo	21.00	10.00	10.00
Desv. Est.	4.44	9.85	8.19

Tablero enlistonado de recortes de triplay (2) de 19mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-1 T R2	29.50	24.50	22.50
4-6 T R2	25.50	23.00	20.00
6-6 T R2	24.50	13.50	25.50
Media	26.50	20.33	22.67
Máximo	29.50	24.50	25.50
Mínimo	24.50	13.50	20.00
Desv. Est.	2.65	5.97	2.75

Tablero contrachapado o normal de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L N16	10.00	11.50	8.50
3-6 L N16	26.00	12.50	23.00
5-6 L N16	26.50	20.00	30.00
Media	20.83	14.67	20.50
Máximo	26.50	20.00	30.00
Mínimo	10.00	11.50	8.50
Desv. Est.	9.39	4.65	10.97

Tablero contrachapado o normal de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-6 T N16	29.50	9.50	22.50
4-6 T N16	23.50	15.00	25.50
6-6 T N16	20.00	9.50	19.00
Media	24.33	11.33	22.33
Máximo	29.50	15.00	25.50
Mínimo	20.00	9.50	19.00
Desv. Est.	4.80	3.18	3.25

Tablero enlistonado de madera sólida de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L E16	26.00	36.00	39.50
3-6 L E16	15.00	31.50	25.00
5-6 L E16	10.00	21.00	19.00
Media	17.00	29.50	27.83
Máximo	26.00	36.00	39.50
Mínimo	10.00	21.00	19.00
Desv. Est.	8.19	7.70	10.54

Tablero enlistonado de madera sólida de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-6 T E16	16.00	41.00	28.50
4-6 T E16	5.50	22.00	16.50
6-6 T E16	15.00	31.00	26.50
Media	12.17	31.33	23.83
Máximo	16.00	41.00	28.50
Mínimo	5.50	22.00	16.50
Desv. Est.	5.80	9.50	6.43

ANEXO 2

Tablero enlistonado de recortes de triplay de 16 mm, probetas longitudinales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
1-6 L R16	19.00	14.50	14.00
3-6 L R16	26.50	15.00	26.50
5-6 L R16	21.50	21.00	18.00
Media	22.33	16.83	19.50
Máximo	26.50	21.00	26.50
Mínimo	19.00	14.50	14.00
Desv. Est.	3.82	3.62	6.38

Tablero enlistonado de recortes de triplay de 16 mm, probetas transversales			
PROBETA	CARGA (Kg.)		
	CARA	CANTO LONG.	CANTO TRANS.
2-6 T R16	19.00	31.50	19.00
4-6 T R16	25.50	29.00	22.50
6-6 T R16	33.00	15.00	24.00
Media	25.83	25.17	21.83
Máximo	33.00	31.50	24.00
Mínimo	19.00	15.00	19.00
Desv. Est.	7.01	8.89	2.57

ANEXO 3

ANÁLISIS DE TIPOS DE FALLAS EN ENSAYOS A FLEXIÓN ESTÁTICA. Probetas longitudinales (L) y transversales (L), tableros de 16 y 19 mm de espesor.

TABLERO CONTRACHAPADO O NORMAL DE 19 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	34.0	Falla sin romper probeta...no visible
1-2	29.0	Falla trascara 2 chapas...poco visibles
1-3	31.0	Falla sin romper probeta...no visible
1-4	32.5	Falla sin romper probeta...no visible
1-5	35.5	Falla trascara 2 chapas...poco visibles
1-6	36.0	Falla en la trascara 5 chapas
Probeta L	Carga kg	observaciones
5-1	33.0	Falla trascara 4 chapas...visible
5-2	36.0	Falla trascara 4 chapas...muy visibles
5-3	41.0	Falla trascara 5 chapas...muy visibles
5-4	36.0	Falla total
5-5	39.5	Falla trascara 2 chapas...muy visibles
5-6	38.0	Falla trascara 3 chapas...muy visibles
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	24.5	Falla total
3-2	46.0	Falla trascara 2 chapas... visibles
3-3	37.0	Falla trascara 1 chapas...poco visible
3-4	36.0	Falla trascara 4 chapas...muy visibles
3-5	39.0	Falla trascara 4 chapas...muy visibles
3-6	36.5	Falla trascara 2 chapas...visibles

TABLERO ENLISTONADO DE MADERA SÓLIDA DE 19 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	61.5	Falla total listón picado
1-2	57.5	Falla total
1-3	34.5	Falla total ensamble transversal del listón
1-4	38.5	Falla total nudo en el listón
1-5	59.5	Falla total
1-6	50.5	Falla total
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	73.5	Falla total
3-2	38.5	Falla total
3-3	80.0	Falla total
3-4	49.0	Falla total separada
3-5	64.5	Falla total ensamble transversal del listón
3-6	46.0	Falla total
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	31.5	Falla total ensamble transversal del listón
5-2	62.5	Falla total
5-3	66.5	Falla total ensamble transversal del listón
5-4	66.5	Falla total
5-5	43.5	Falla total ensamble transversal del listón
5-6	62.5	Falla total

ANEXO 3

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY (1) DE 19 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	34.0	Falla poco visible
1-2	56.5	Falla total ensamble transversal del listón
1-3	71.5	Falla total ensamble transversal del listón
1-4	29.0	Falla ensamble transversal del listón
1-5	73.5	Falla total
1-6	71.0	Falla poco visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	62.5	Falla ensamble transversal del listón
3-2	68.5	Falla ensamble transversal del listón
3-3	53.5	Falla 3 chapas trascara visible
3-4	45.5	Falla 3 chapas trascara muy visible
3-5	70.0	Falla ensamble transversal del listón...poco visible
3-6	69.0	Falla ensamble transversal del listón...visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	64.5	Falla total ensamble transversal del listón....dividida
5-2	59.0	Falla total ensamble transversal del listón
5-3	72.0	Falla 4 chapas trascara.....muy visibles
5-4	74.5	Falla 4 chapas trascara.....muy visibles
5-5	68.5	Falla 4 chapas trascara.....muy visibles
5-6	59.5	Falla total ensamble transversal del listón

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY (2) DE 19 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	42.5	Falla 4 chapas trascara
1-2	85.5	Falla 2 chapas trascara....poco visible
1-3	77.0	Falla 3 chapas trascara
1-4	66.5	Falla 4 chapas trascara
1-5	61.5	Falla 1 chapa trascara....poco visible
1-6	71.5	Falla total ensamble transversal del listón...dividida
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	59.0	Falla 2 chapas trascaravisible
3-2	67.5	Falla 5 chapas trascara.....muy visible
3-3	85.0	Falla 5 chapas trascara....muy visible
3-4	80.5	Falla 5 chapas trascara....muy visible
3-5	77.0	Falla 3 chapas trascara....muy visible
3-6	70.0	Falla 5 chapas trascara....muy visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	73.5	Falla 3 chapas trascara....muy visible
5-2	56.5	Falla en unión transversal del listón...muy visible
5-3	66.5	Falla 3 chapas trascara....poco visible
5-4	79.5	Falla en unión transversal del listón....muy visible
5-5	28.5	Falla en unión transversal del listón....poco visible
5-6	70.0	Falla en unión transversal del listón.....dividida

ANEXO 3

TABLERO CONTRACHAPADO O NORMAL DE 16 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	39.5	Falla total
1-2	30.5	Falla total dividida
1-3	36.5	Falla total dividida
1-4	32.5	Falla total dividida
1-5	31.0	Falla total
1-6	33.5	Falla total
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	31.0	Falla 3 chapas trascara
3-2	41.5	Falla total
3-3	37.5	Falla 2 chapas trascara...poco visibles
3-4	37.0	Falla total
3-5	39.5	Falla 3 chapas trascara
3-6	38.0	Falla 3 chapas trascara
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	34.5	Falla total ...dividida
5-2	35.0	Falla total ...dividida
5-3	22.0	Falla 3 chapas trascara...poco visible
5-4	32.5	Falla 3 chapas trascara...muy visible
5-5	32.0	Falla 3 chapas trascara...muy visible
5-6	31.0	Falla 3 chapas trascara...muy visible

TABLERO ENLISTONADO DE MADERA SÓLIDA DE 16 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	57.0	Falla total ...dividida
1-2	59.5	Falla total ...dividida
1-3	42.0	Falla total
1-4	49.5	Falla total en unión transversal del listón...dividida
1-5	62.0	Falla total en unión transversal del listón...dividida
1-6	53.5	Falla mixta...pegamento-madera
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	63.0	falla total en unión transversal del listón ...dividida
3-2	48.0	Falla visible sin división
3-3	50.5	Falla total sin división
3-4	46.0	Falla total sin división
3-5	41.5	Falla total en unión transversal del listón ...dividida
3-6	27.0	Falla poco visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	65.5	Falla total sin división
5-2	72.0	Falla total dividida
5-3	47.0	Falla total dividida
5-4	63.0	Falla total dividida
5-5	38.5	Falla total dividida
5-6	57.5	Falla total en unión transversal del listón ...dividida

ANEXO 3

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY DE 16 mm		
Probeta L	Carga kg	Observaciones
1-1	44.5	Falla 5 chapas trascara
1-2	56.5	Falla total...dividida
1-3	47.5	Falla 3 chapas trascara...poco visible
1-4	47.5	Falla total
1-5	50.5	Falla 5 chapas trascara
1-6	52.5	Falla 3 chapas trascara...poco visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
3-1	35.0	Falla total
3-2	52.0	Falla total
3-3	37.5	Falla 3 chapas trascara...poco visible
3-4	42.0	Falla total
3-5	52.5	Falla 5 chapas trascara
3-6	51.0	Falla 5 chapas trascara...poco visible
Probeta L	Carga kg	Observaciones
5-1	36.0	Falla 5 chapas trascara
5-2	44.5	Falla 3 chapas trascara...poco visible
5-3	54.0	Falla total ensamble transversal del listón...dividida
5-4	59.0	Falla 5 chapas trascara
5-5	40.5	Falla 3 chapas trascara
5-6	40.0	Falla total ensamble transversal del listón...dividida

TABLERO CONTRACHAPADO O NORMAL DE 19 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	137.5	Falla en la madera sin división de probeta
6-2	107.0	Falla en la madera sin división de probeta
6-3	61.5	Falla en la madera sin división de probeta
6-4	106.0	Falla en la madera sin división de probeta
6-5	114.0	Falla en la madera sin división de probeta
6-6	113.0	Falla madera-pegamento Línea 2 sin división probeta
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	112.5	Falla en la madera sin división de probeta
4-2	112.0	Falla en la madera sin división de probeta
4-3	139.5	Falla en la madera sin división de probeta
4-4	111.5	Falla en la madera sin división de probeta
4-5	148.5	Falla en la madera sin división de probeta
4-6	105.0	Falla en la madera sin división de probeta
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	137.5	Falla en la madera sin división de probeta
2-2	86.0	Falla en la madera sin división de probeta
2-3	127.0	Falla en la madera sin división de probeta
2-4	113.0	Falla en la madera sin división de probeta
2-5	84.5	Falla en la madera sin división de probeta
2-6	74.5	Falla en la madera sin división de probeta

ANEXO 3

TABLERO ENLISTONADO DE MADERA SÓLIDA DE 19 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	106.5	Falla en la madera
6-2	113.0	Falla en la madera
6-3	91.5	Falla mixta...pegamento-madera
6-4	92.0	Falla en el pegamento
6-5	72.0	Falla en el pegamento
6-6	75.5	Falla en el pegamento
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	70.5	Falla en la madera
4-2	52.0	Falla en la madera
4-3	63.0	Falla mixta...pegamento-madera
4-4	53.0	Falla en el pegamento
4-5	76.0	Falla en la madera
4-6	63.0	Falla mixta...pegamento-madera
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	81.5	Falla en el pegamento
2-2	75.5	Falla en la madera
2-3	82.0	Falla en la madera
2-4	81.5	Falla en la madera
2-5	82.0	Falla en la madera
2-6	88.5	Falla mixta...pegamento-madera

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY (1) DE 19 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	59.5	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
6-2	92.0	Falla en el pegamento entre listones
6-3	71.5	Falla en el pegamento entre listones
6-4	95.0	Falla en el pegamento entre listones
6-5	87.5	Falla en el pegamento entre listones
6-6	87.0	Falla en el pegamento entre listones
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	83.0	Falla en el pegamento entre listones
4-2	90.5	Falla en el pegamento entre listones
4-3	76.0	Falla en el pegamento entre listones
4-4	66.5	Falla en el pegamento entre listones
4-5	65.5	Falla en el pegamento entre listones
4-6	75.5	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	112.5	Falla en el pegamento entre listones
2-2	89.0	Falla en el pegamento entre listones
2-3	104.5	Falla en el pegamento entre listones
2-4	77.5	Falla en el pegamento entre listones
2-5	73.5	Falla en el pegamento entre listones
2-6	107.0	Falla en el pegamento entre listones

ANEXO 3

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY (2) DE 19 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	86.0	Falla en el pegamento entre listones
6-2	79.5	Falla en el pegamento entre listones
6-3	45.5	Falla en el pegamento entre listones
6-4	66.5	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
6-5	84.5	Falla en el pegamento entre listones
6-6	62.0	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	82.0	Falla en el pegamento entre listones
4-2	84.5	Falla en el pegamento entre listones
4-3	82.5	Falla en el pegamento entre listones
4-4	70.0	Falla en el pegamento entre listones
4-5	73.0	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
4-6	75.5	Falla en el pegamento entre listones
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	80.0	Falla en el pegamento entre listones
2-2	47.5	Falla en el pegamento entre listones
2-3	59.5	Falla mixta...pegamento-madera...poca madera
2-4	97.0	Falla en el pegamento entre listones
2-5	90.5	Falla en el pegamento entre listones
2-6	56.0	Falla en el pegamento entre listones

TABLERO CONTRACHAPADO O NORMAL DE 16 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	95.0	Falla en la madera sin división de probeta
6-2	98.5	Falla en la madera sin división de probeta
6-3	101.5	Falla en la madera sin división de probeta
6-4	104.0	Falla en la madera sin división de probeta
6-5	96.5	Falla en la madera sin división de probeta
6-6	116.5	Falla en la madera sin división de probeta
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	90.5	Falla en la madera sin división de probeta
4-2	67.0	Falla en la madera sin división de probeta
4-3	82.0	Falla en la madera sin división de probeta
4-4	113.5	Falla madera-pegamento Línea 2 sin división probeta
4-5	75.0	Falla en la madera sin división de probeta
4-6	76.0	Falla en la madera sin división de probeta
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	107.5	Falla en la madera sin división de probeta
2-2	105.0	Falla en la madera sin división de probeta
2-3	112.0	Falla en la madera sin división de probeta
2-4	119.0	Falla madera-pegamento Línea 3 sin división probeta
2-5	154.5	Falla en la madera sin división de probeta
2-6	144.0	Falla en la madera sin división de probeta

ANEXO 3

TABLERO ENLISTONADO DE MADERA SÓLIDA DE 16 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	48.0	Falla en el pegamento entre listones
6-2	52.5	Falla en el pegamento entre listones
6-3	59.5	Falla en el pegamento entre listones
6-4	83.5	Falla en el pegamento entre listones
6-5	55.5	Falla en el pegamento entre listones
6-6	53.5	Falla mixta...pegamento-madera
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	70.0	Falla en el pegamento entre listones
4-2	61.0	Falla en el pegamento entre listones
4-3	63.5	Falla en el pegamento entre listones
4-4	50.0	Falla en el pegamento entre listones
4-5	88.0	Falla en el pegamento entre listones
4-6	62.5	Falla en el pegamento entre listones
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	65.0	Falla en el pegamento entre listones
2-2	70.5	Falla en el pegamento entre listones
2-3	58.5	Falla en el pegamento entre listones
2-4	58.5	Falla en el pegamento entre listones
2-5	70.5	Falla en el pegamento entre listones
2-6	76.5	Falla en el pegamento entre listones

TABLERO ENLISTONADO DE RECORTES DE TRIPLAY DE 16 mm		
Probeta T	Carga kg	Observaciones
6-1	50.5	Falla en el pegamento entre listones
6-2	50.5	Falla en el pegamento entre listones
6-3	69.5	Falla en el pegamento entre listones
6-4	78.5	Falla en el pegamento entre listones
6-5	41.5	Falla en el pegamento entre listones
6-6	97.9	Falla mixta...pegamento-madera
Probeta T	Carga kg	Observaciones
4-1	66.0	Falla en el pegamento entre listones
4-2	59.0	Falla en el pegamento entre listones
4-3	44.5	Falla en el pegamento entre listones
4-4	47.0	Falla en el pegamento entre listones
4-5	64.5	Falla en el pegamento entre listones
4-6	48.0	Falla en el pegamento entre listones
Probeta T	Carga kg	Observaciones
2-1	39.0	Falla en el pegamento entre listones
2-2	49.5	Falla en el pegamento entre listones
2-3	53.5	Falla en el pegamento entre listones
2-4	55.0	Falla en el pegamento entre listones
2-5	36.5	Falla en el pegamento entre listones
2-6	92.5	Falla en el pegamento entre listones