

# I N D I C E

	Página
1. IMPORTANCIA E INTERES DE LA DETERMINACION TEORICA DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS...	3
1.1. Utilización mundial del tablero contrachapado .....	3
1.2. Producción y consumo del tablero contrachapado en España.....	4
1.3. Materia prima utilizada para la fabricación del tablero contrachapado y problemas que presenta su suministro .....	4
1.4. Objetivos del trabajo .....	6
2. ESTUDIO DE LA BIBLIOGRAFIA EXISTENTE .....	9
2.1. Determinación de las características mecánicas de las maderas desenrollables .....	9
2.2. Características mecánicas .....	9
3. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS FABRICADOS MEDIANTE COMBINACION DE DISTINTAS MADERAS TROPICALES .....	13
3.1. Obtención de muestras de maderas de las especies más utilizadas para fabricar tablero contrachapado y preparación de probetas para la obtención de módulos de rotura, tensiones de rotura y módulos de elasticidad .....	13
3.2. Método de trabajo para realizar los ensayos y descripción de las máquinas de ensayo y aparatos utilizados .....	15
3.2.1. Ensayo de flexión estática .....	15
3.2.2. Ensayo de compresión axial .....	16
3.2.3. Tensión de rotura en dirección perpendicular a la fibra .....	18
3.2.4. Módulo de elasticidad en dirección a la fibra .....	19
3.2.5. Módulo de elasticidad perpendicular a la fibra .....	21
3.3. Resultados obtenidos .....	22
3.3.1. Agrupación de resultados y análisis .....	25
3.3.2. Variabilidad de las características mecánicas de las maderas, debida a causas naturales .....	25
3.4. Características mecánicas de las maderas que se utilizan en el cálculo teórico de las propiedades mecánicas del tablero contrachapado .....	39

	Página
3.5. Comportamiento mecánico de un tablero contrachapado estructural	47
3.5.1. Generalidades .....	47
3.5.2. Fórmulas utilizadas para el cálculo teórico de las propiedades mecánicas del tablero contrachapado.....	47
3.5.3. Cálculo de los módulos de elasticidad a flexión y compresión de tableros contrachapados de composición conocida .....	51
3.5.4. Cálculo del momento flector resistente de los tableros de 3.5.3. ....	59
3.5.5. Cálculo de la tensión de rotura a compresión de los tableros del apartado 3.5.3. ....	60
4. ENSAYOS SOBRE TABLEROS CONTRACHAPADOS DE COMPOSICION CONOCIDA .....	75
4.1. Obtención de muestras de tablero contrachapado y preparación de probetas para los ensayos .....	75
4.2. Ensayos de flexión estática y compresión axial de tableros contrachapados de distintas construcciones. Cálculo del módulo y tensión de rotura .....	78
4.2.1. Ensayo de flexión estática .....	79
4.2.2. Ensayo de compresión axial .....	79
4.2.3. Resultados obtenidos .....	81
4.3. Módulo de elasticidad .....	87
4.4. Comparación entre valores de resistencia calculados para los tableros y los resultados de los ensayos de rotura en los mismos.....	115
5. CONCLUSIONES .....	119
6. BIBLIOGRAFIA .....	121

# 1. IMPORTANCIA E INTERES DE LA DETERMINACION TEORICA DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS.

## 1.1. UTILIZACION MUNDIAL DEL TABLERO CONTRACHAPADO.

La primera utilización tecnológica que exigió tablero contrachapado, dadas sus especiales características físico-mecánicas, fue la construcción aeronáutica, que no hubiese podido tomar el impulso que la caracterizó entre las dos guerras mundiales sin haber contado con un material idóneo, como lo era el tablero contrachapado entonces disponible.

La divulgación de las excelentes propiedades mecánicas del tablero, su estabilidad dimensional y facilidad de trabajo, hicieron que pronto fuera adoptado por la industria de la construcción. Las especies utilizadas para fabricar este tipo de tablero son frondosas boreales, especialmente abedul, chopo y haya, así como algunas coníferas, entre las que debemos destacar el pino de Oregón.

Otra utilización importante del tablero contrachapado es como elemento cubriente y decorativo, siendo un típico ejemplo de esta utilización la fabricación de muebles y mamparas de separación. Para estos últimos empleos se utiliza tablero fabricado con frondosas tropicales, que aunque proporcionan un tablero sin las sobresalientes propiedades mecánicas de los anteriormente citados, son perfectamente adecuados para este empleo. Estas frondosas tropicales tienen un precio inferior a las boreales y, lo que es más importante, es fácil conseguir un suministro de trozas de gran diámetro, con lo que se logra un buen rendimiento en la operación de desenrollo.

Como para este fin se emplean maderas de baja densidad, para las que no existe mucha demanda en el mercado internacional, se cubre un aprovechamiento importante en la explotación del bosque tropical.

En los últimos años ha aumentado considerablemente la demanda de tablero contrachapado, debido fundamentalmente a la aparición de nuevas utilidades: encofrados para hormigón armado y construcción de contenedores y embalajes. Esta demanda debe crecer, pues en algunos países se empieza a incrementar la utilización de estos tableros en la construcción de casas prefabricadas.

El factor más importante de este último desarrollo en las utilidades del table-

ro contrachapado se debe a la realización generalizada del encolado totalmente resistente a la intemperie.

## 1.2. PRODUCCION Y CONSUMO DEL TABLERO CONTRACHAPADO EN ESPAÑA.

Esta industria tiene en España gran importancia y tradición, como lo demuestra el hecho de emplearse unos siete mil operarios en las 180 empresas que lo fabrican. La producción es de 250.000 m<sup>3</sup>., de los que se exportan 60.000. El valor de la producción anual se eleva a unos tres mil quinientos millones de pesetas.

El desarrollo de esta industria se vió impulsada por la demanda producida en la industria del mueble, lo que originó su localización preferente en zonas con gran tradición mueblista, como es la región levantina.

La posibilidad de un suministro de maderas de la Guinea española facilitó, en su día, la existencia floreciente de la industria. Actualmente se está produciendo una transformación en la demanda del tablero, en el sentido de requerirse éste en utilidades estructurales, en lugar de las clásicas como cubrientes, lo que hace totalmente necesario el conocimiento de sus propiedades mecánicas.

En el estado actual, debe producirse una adaptación rápida a la nueva situación de la demanda, que pide un producto industrial de propiedades mecánicas bien conocidas y que permitan calcular en cualquier momento su comportamiento estructural.

## 1.3. MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA LA FABRICACION DEL TABLERO CONTRACHAPADO Y PROBLEMAS QUE PRESENTA SU SUMINISTRO.

Como hemos indicado, y según estadísticas de la Organización Sindical, el 98 % del tablero fabricado en España lo es de maderas tropicales y, hasta hace poco tiempo, de procedencia africana. Las especies corrientemente utilizadas de esta procedencia, son:

- *Antiaris africana* Engl. (AKO/ANTIARIS).
- *Aucoumea klaineana* Pierre (OKUME).
- *Ceiba pentandra* Gant. (FROMAGER).
- *Entandophragma angolense* D.C. (TIAMA).
- *Gossweilerodendron balsamiferum* Harms. (TOLA).
- *Oxystigma oxyphyllum* J. Leonard (TCHITOLA).
- *Pycnanthus kombo* Warb. (CALABO).
- *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. (SAMBA).

Otras especies africanas también desenrollables son las siguientes:

- *Alstonia congensis* Engl. (ALSTONIA).
- *Daniellia thurifera* Benth. (OGEA).
- *Enantia chlorantha* Oliv. (MOAMBE AMARILLO).
- *Exythoxylum manii* Oliv. (LANDA).
- *Lannea welwitschii* Engl. (EKOE).
- *Maesopsis eminii* Engl. (MUSIZI).
- *Monopetalanthus heitzii* Harms. (ANDOUNG).
- *Mitragyna stipulosa* O. Ktze. (BAHIA).
- *Scotellia coriacea* A. Chev. (ODOKO).
- *Sindora klaineana* Pierre. (EBANA).
- *Symphonia globulifera* L. (BARRILLO).
- *Vitex pachyphylla* Baker (EVINO).

Estas especies se importan de los países siguientes:

- Sierra Leona, Guinea (ex-francesa), Liberia, Costa de Marfil, Ghana (Bosque guineano).
- Nigeria (Bosque nigeriano).
- Camerún, Gabón, Congo Brazaville, Congo Kinshasa (Bosque húmedo ecuatorial).

Las importaciones se realizaban normalmente hasta el verano de 1972, en el que Costa de Marfil decretó medidas para limitar la salida de madera en rollo. Estas medidas encontraron eco en otros países africanos exportadores de madera, que desde entonces van limitando los envíos de trozas, incluyendo las desenrollables. Esto se ha traducido, aparte de una grave escasez de madera, en la disminución drástica de la calidad de los embarques, lo que es gravísimo para la industria del desarrollo, en la que muchos tipos de defectos en la madera la hacen utilizable para esta transformación.

La solución a este problema ha sido recurrir a otras fuentes de suministro de maderas desenrollables, siendo América del Sur e Indonesia los lugares apropiados para la importación de nuevas especies utilizables. Concretamente, Brasil parece ser la fuente capaz de alimentar durante largo tiempo a la industria del tablero contrachapado. Hay que tener en cuenta que pueden lograrse tableros utilizables con maderas de baja densidad y mínimas características de resistencia mecánica, por lo que muchas especies forestales brasileñas que actualmente están catalogadas en todo el mundo como no utilizables comercialmente, pueden ser importadas y transformadas en tablero contrachapado.

En resumen, podemos decir que la industria del tablero contrachapado se encuentra en un momento crítico, en el que tiene que cambiar sus fuentes de aprovisionamiento de materia prima. Para evaluar toda la importancia que esto tiene hay que pensar que en el coste de producción del tablero, la madera representa más del 50 %.

El sustituir una región geográfica por otra, como fuente de suministro, significa

en este caso, el cambiar a otras especies de madera con características distintas, la mayoría de las cuales se desconocen.

#### 1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Hemos visto que la industria del tablero contrachapado se encuentra frente a dos condicionantes que van a afectar a su producción. Por un lado la necesidad de producir tableros estructurales para ser utilizados en la construcción de casas prefabricadas, contenedores, encofrados, vigas, suelos, cubiertas de edificaciones, etc.; por otro el cambio a otras especies de madera de las que se desconocen sus propiedades mecánicas.

El resultado de las circunstancias anteriores es la necesidad de realizar un trabajo de investigación que permita conocer las características de todos los tableros que se fabrican o se puedan fabricar. Si pensamos que un tablero contrachapado puede tener cualquier número impar de chapas, desde tres en adelante, las cuales pueden tener infinidad de groesos distintos y además son muchísimas las especies que pueden emplearse para fabricar las chapas constituyentes del tablero, vemos que la combinación de los anteriores factores nos dan un elevadísimo número de posibles tableros contrachapados de estructura diferente.

Existen dos procedimientos para la fijación de las características mecánicas de los tableros contrachapados:

- Determinación directa.
- Fijación de dichas características en función de la resistencia mecánica y rigidez de las maderas componentes del tablero.

El primer método es recomendable para tableros de composición homogénea en cuanto a especies de madera se refiere, pero cuando éstas son numerosas y se utilizan varios groesos de chapas, las combinaciones posibles son muy elevadas, como hemos visto, por lo que el método no puede utilizarse de forma general.

El segundo método es el más recomendable en la situación en que nos encontramos, pues partiendo de unas características de las posibles maderas utilizables, permite mediante el cálculo adecuado, construir una tabla con las características mecánicas de cualquier tablero que pueda formarse con estas especies. Además, si una determinada combinación de groeso de chapas, número de éstas y especies de madera no ha sido tabulada, puede efectuarse el cálculo por los métodos preparados al efecto.

Esto último es particularmente importante, porque cualquier fabricante puede, dado el caso, determinar la resistencia del tablero que le interese, sin tener que recurrir al ensayo directo (en realidad no tiene que fabricar el tablero para conocer sus características), en el caso de no encontrarse ya calculada esta particular combinación.

Si el fabricante tuviese que ensayar el tablero le sería preciso contar con los aparatos necesarios, lo que escapa del equipo de control normal existente en una fábrica. Si se enviase el prototipo del tablero a un laboratorio especializado, para la realización de los ensayos, el tiempo transcurrido hasta recibir los resultados en la mayoría de los casos los haría inutilizables.

Por todo ello, parece mucho más interesante partir de unas características de la madera y mediante la aplicación de fórmulas adecuadas calcular la resistencia y comportamiento elástico del tablero.

Como los datos de resistencia mecánica y módulos de elasticidad de algunas especies no se encuentran determinados, o al menos los datos de que se dispone no han sido hallados mediante un proceso que ofrezca las suficientes garantías, se ha realizado en la primera parte del trabajo la determinación del módulo de rotura a flexión estática, la tensión de rotura a compresión en dirección a la fibra y los módulos de elasticidad, de las especies siguientes:

- *Antiaris africana* Engl. (AKO).
- *Ceiba pentandra* Gaertn. (FROMAGER).
- *Naucleopsis* Spp. (MUIRATINGA).
- *Pycnanthus kombo* Warb. (CALABO).
- *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. (SAMBA).
- *Virola* Spp. (VIROLA).

Con estos resultados y los valores publicados para otras especies, se forma la tabla de las características mecánicas de las especies de madera que se utilizan en la fabricación de tablero contrachapado. Estos valores se entienden de probetas de madera sin defectos y en condiciones de carga ideales.

A continuación se calculan las características teóricas de resistencia de distintos tableros formados con estas especies, utilizando módulos de rotura, tensiones de rotura y módulos de elasticidad de la madera constituyente.

Finalmente, mediante ensayos directos sobre tableros contrachapados de composiciones conocidas se comprueba la relación entre valores reales y calculados.

### 3.5. COMPORTAMIENTO MECANICO DE UN TABLERO CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL.

#### 3.5.1. Generalidades.

La construcción del tablero contrachapado por encolado de un número impar de chapas de madera con la dirección de la fibra cruzada entre sí, hace que sus propiedades mecánicas difieran considerablemente de las de la madera sólida. La característica más destacada en esta comparación, es la casi total isotropía mecánica dentro del plano del tablero; esto es más exacto cuando se aumenta el número de chapas que lo componen, pues la relación entre el número de chapas que tiene la fibra en una dirección y en la perpendicular a ella se acerca a la unidad. En el caso de un tablero de tres chapas, esta relación vale 2, y en el de once chapas, 1,2.

Entre todas las posibles combinaciones de grueso de chapas y especies de madera utilizadas, se emplean aquellas que producen tableros equilibrados; es decir, que son simétricos con respecto al centro, tanto en el grueso de cada chapa como en la especie. Esta simetría se cumple también para la humedad de la madera de cada chapa, lo que en conjunto nos proporciona tableros isotrópicos y que permanecen planos al variar la humedad del medio en que se encuentran. En el caso de utilizarse distintas chapas en posiciones asimétricas, se producirían diferentes hinchazones o mermas al variar la humedad, con el consiguiente alabeo del tablero.

Debido a esta composición, no pueden aplicarse las fórmulas generales utilizadas en construcción, pues el módulo de elasticidad varía con la especie y con la dirección de la fibra, siendo este último factor de gran importancia. En efecto, el módulo de elasticidad en dirección perpendicular a la fibra varía entre la décima o vigésima parte del longitudinal, por lo que no puede aplicarse el concepto de distribución de tensiones proporcional a la distancia a la fibra neutra, puesto que la ley de Hooke asume que la distribución de tensiones es proporcional al módulo de elasticidad de las chapas.

#### 3.5.2. Fórmulas utilizadas para el cálculo teórico de las propiedades mecánicas del tablero contrachapado.

En el cálculo de las propiedades mecánicas de los tableros a partir de las características de las chapas que lo integran, es frecuente el despreciar aquellos que tienen la fibra en dirección perpendicular a la sollicitación. Esto no introduce grandes errores, pues el módulo de elasticidad de la madera perpendicular a la fibra y en dirección tangencial es, como hemos dicho, del orden de la vigésima parte del longitudinal. No obstante, en este trabajo no se han despreciado estas chapas, pues por intentar encontrar relaciones entre las propiedades de las chapas y las de los tableros, interesa tener el mayor número posible de datos con el mínimo de desviaciones por causas distintas que las que se trata de encontrar.

Por ello se han aplicado fórmulas que proporcionan resultados exactos, salvo en lo que respecta a la línea de cola, que no ha sido tomada en cuenta dado su pequeño espesor en comparación con los gruesos de las chapas.

Las fórmulas mediante las cuales se van a calcular las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados, son las que a continuación se detalla.

### 3.5.2.1. Flexión estática:

i). Distancia desde la fibra neutra a la cara del tablero,

$$d_n = \frac{\sum (E_i h_i d_i)}{\sum (E_i h_i)}$$

en la que,

$E_i$  = módulo de elasticidad de cada chapa del tablero, tanto las que tienen la dirección de la fibra según la distancia entre apoyos, como las perpendiculares a ella.

$h_i$  = grueso de cada chapa.

$d_i$  = distancia desde el centro de cada chapa a la cara del tablero.

ii). Módulo de elasticidad a flexión del tablero contrachapado,

$$E_L = \frac{\sum (E_i I_i)}{I_T}$$

siendo,

$E_i$  = módulo de elasticidad de cada chapa

$I_i$  = momento de inercia de la misma chapa anterior con respecto a la línea neutra.

$I_T$  = momento de inercia de toda la sección del tablero con respecto a la línea neutra.

iii). Radio de curvatura del tablero,

$$R = \frac{E_L \cdot I_T}{M}$$

siendo,

$M$  = momento flector aplicado.

$E_L$  y  $I_T$  = tienen el significado expuesto anteriormente.

iv). Tensión en la chapa que se encuentra a una distancia,  $d$ , de la línea neutra.

$$\sigma_d = \frac{E_d \cdot d \cdot M}{\sum (E_i \cdot I_i)}$$

en donde,

$d$  = distancia entre el eje de la chapa considerada y la línea neutra.

$M$  = momento flector aplicado.

$E_d$  = módulo de elasticidad de la chapa cuya tensión estamos calculando.

$E_i$  = módulo de elasticidad de cada chapa.

$I_i$  = momento de inercia de cada una de las chapas anteriores con respecto a la línea neutra.

v). Máximo momento que resiste el tablero,

$$M = \frac{\sigma \cdot E_L \cdot I_T}{E_d \cdot d}$$

en donde,

$\sigma$  = tensión de rotura de la chapa que primero falla (normalmente la más exterior con la fibra paralela al vano).

$E_d$  = módulo de elasticidad de la chapa anterior.

$E_L$  = módulo de elasticidad equivalente de todo el tablero.

$d$  = distancia de la chapa considerada a la línea neutra.

$I_T$  = momento de inercia de todo el tablero respecto a la línea neutra.

### 3.5.2.2. Compresión.

$$P = \sum b(E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n)$$

donde,

$P$  = fuerza que actúa.

$\epsilon$  = deformación unitaria (deformación del tablero dividido por la altura de éste en sentido de la deformación).

$b$  = ancho del tablero.

$h_i$  = grueso de la chapa  $n_i$ .

$E_i$  = módulo de elasticidad de la chapa  $n_i$ .

i). Módulo de elasticidad del tablero en compresión, en función de las chapas que lo forman.

$$E_T = \frac{\sum (E_i \cdot h_i)}{\sum h_i}$$

siendo,

$E_i$  = módulo de elasticidad de la chapa  $n_i$

$h_i$  = grueso de la chapa  $n_i$

ii). Tensión máxima de rotura a compresión,

$$\sigma_T = \frac{\sigma_i}{E_i} \cdot E_T$$

en la que,

$\sigma_i$  = tensión de rotura de la chapa más resistente

$E_i$  = módulo de elasticidad de la chapa anterior

$E_T$  = módulo de elasticidad equivalente del tablero a compresión

Otra expresión para calcular la tensión máxima que resiste un tablero sometido a compresión en su plano es la siguiente.

$$\sigma_T = \frac{\sum (\sigma_i \cdot h_i)}{\sum h_i}$$

en la que,

$\sigma_i$  = tensión de rotura de la chapa  $n_i$

$h_i$  = grueso de la chapa  $n_i$

### 3.5.2.3. Módulo de elasticidad.

En el cálculo teórico del módulo de elasticidad a flexión, que se resume en las páginas siguientes, se ha utilizado la fórmula,

$$E_T = \frac{\sum E_i I_i}{I_T}$$

donde,

$E_i$  = módulo de elasticidad de cada chapa, en la dirección de su deformación. Tanto los valores en dirección longitudinal como transversal se encuentran en la tabla 3.4.b.

$I_i$  = momento de inercia de cada chapa con respecto a la línea neutra. Se calcularon mediante la fórmula,

$$I = \frac{b h^3}{12} + s \cdot d^2$$

en la que,

b = anchura de la chapa considerada (en este caso la unidad).

h = grueso

s = sección de la chapa

d = distancia entre el eje de inercia de la chapa y la fibra neutra del tablero

A continuación se especifica para cada tablero, su composición chapa por chapa, grueso de cada una de ellas, momento de inercia de las mismas con respecto al eje del tablero y el módulo de elasticidad calculado.

Para cada tablero se hace el cálculo en el caso en que la dirección de la fibra de las chapas de las caras sea paralela a la distancia entre apoyos (longitudinal), así como cuando estas direcciones son perpendiculares (transversal).

### 3.5.3. Cálculo de los módulos de elasticidad a flexión y compresión de tableros contrachapados de composición conocida.

El módulo de elasticidad teórico a flexión, se ha calculado para los tableros siguientes:

TABLERO	M - 1		M - 2	
	Especie de cada chapa	Grueso mm.	Especie de cada chapa	Grueso mm.
	Okume	0,8	Okume	0,6
	Ako	2	Ako	2
	Okume	1	Ako	2
	Ako	3	Calabó	3
	Ako	2	Ako	3
	Ako	3	Ako	3
	Ako	2	Ako	3
	Ako	3	Ako	2
	Okume	1	Okume	0,6
	Ako	2		
	Okume	0,8		