

00171

① 2ej.

INGENIERIA DEL MUEBLE

Oswaldo Altamirano Silva

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN DISEÑO INDUSTRIAL**

**Posgrado en Diseño Industrial
Facultad de Arquitectura
U.N.A.M.
1989**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SUMARIO

Se trata de introducir en la práctica del diseño de mobiliario ciertas variables tecnológicas que le asignen rasgos de científicidad y lo caractericen como un proceso racionalizador en el aprovechamiento de la madera. Esto se logra mediante la aplicación de conocimientos sobre las propiedades de resistencia de este material y de métodos apropiados de análisis estructural, de tal manera que nos permita optimizar la propuesta estructural del mueble, tanto en sus dimensiones como en el tipo de armado y los ensambles adecuados para resistir los diferentes esfuerzos a que se somete comúnmente el mobiliario básico de vivienda. Este trabajo de tesis está dirigido a estudiantes de diseño industrial y a los profesionales en general que se encuentran vinculados con la industria mueblera. Pretende señalar algunas referencias técnicas que deben considerarse en el proceso de diseño y establecer de manera general los principios metodológicos de la ingeniería del mueble.

INDICE DE CONTENIDO

SUMARIO

INDICE	1
PROLOGO	5
1.- INTRODUCCION	11
1.1.- ¿Qué es la ingeniería del sueste?	11
1.2.- ¿Qué es el diseño estructural?	13
1.3.- Conceptos fundamentales	16
1.4.- Métodos de análisis estructural	20
1.4.1.- Diseño por medio de modelos físicos	20
1.4.2.- Diseño por medio de modelos matemáticos	21
1.4.2.1.- Método de los esfuerzos permisibles.....	22
1.5.- Sistemas constructivos de sobillario	23
1.5.1.- Sistemas estructurales de armazón	23
1.5.1.1.- Armazones articuladas	24
1.5.1.2.- Armazones con uniones rígidas	25
1.5.2.- Sistemas estructurales apanelados	29

2.- CONSIDERACIONES DE CARGA EN LA INGENIERIA DEL MUEBLE	31
2.1.- Cargas para sillas	32
2.1.1.- Cargas verticales en el asiento	32
2.1.2.- Cargas en el respaldo	34
2.1.3.- Cargas verticales en los travesaños	35
2.1.4.- Fuerzas de torsión en el asiento	35
2.1.5.- Cargas en apoyabrazos	36
2.1.6.- Fuerzas laterales en las patas	36
2.1.7.- Fuerzas horizontales desde adelante en patas delanteras	37
2.1.8.- Fuerzas horizontales desde atrás en patas traseras	37
2.2.- Cargas para sillones	36
2.2.1.- Cargas verticales en el asiento	36
2.2.2.- Cargas en el respaldo	40
2.2.3.- Fuerzas horizontales en apoyabrazos	40
2.3.- Cargas para entrapaños, anaques y libreros	40
2.4.- Cargas para mesas y escritorios	42
2.4.1.- Cargas verticales	42
2.4.2.- Fuerzas horizontales	42
2.4.3.- Cargas en cajones	43
2.5.- Cargas para casas	44
3.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE ARMAZONES	45
3.1.- Armazones isostáticas o estáticamente determinadas	45
3.2.- Armazones hiperestáticas o estáticamente indeterminadas	49
3.2.1.- Método de Cross	49
3.3.- Cálculo de Esfuerzos de Trabajo	57
3.3.1.- Esfuerzos de Trabajo axiales	57
3.3.2.- Esfuerzos de Trabajo a flexión	58
3.3.3.- Esfuerzos de Trabajo a corte	59
3.3.4.- Esfuerzos de Trabajo a torsión	60
3.4.- Esfuerzos permisibles o de diseño	61
3.4.1.- Valores de última resistencia	61
3.4.2.- Factores de seguridad	62
3.5.- Dimensionamiento de armazones	64
3.5.1.- Dimensionamiento de estructuras estáticas	64
3.5.2.- Dimensionamiento de estructuras isostáticas	70
4.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE ENSAMBLES	73
4.1.- Factores que afectan el comportamiento de ensambles	76
4.1.1.- Sistema de fuerzas internas	76
4.1.2.- Dirección del grano	77
4.1.3.- Variaciones dimensionales	78
4.1.4.- Acabado de las superficies de unión	79
4.2.- Ensamblaje de caja y espiga	79
4.2.1.- Análisis estructural.....	83

4.3.- Ensamblajes con pernos de madera	87
4.3.1.- Resistencia a la extracción de pernos perpendiculares al grano	88
4.3.2.- Resistencia a la flexión de ensamblajes con pernos....	90
4.4.- Uniones con sujetadores mecánicos	92
4.4.1.- Clavos	92
4.4.1.1.- Resistencia a la extracción perpendicular a la fibra.....	93
4.4.1.2.- Resistencia a la extracción paralela a la fibra	94
4.4.1.3.- Resistencia al corte en clavos perpendiculares a la fibra	95
4.4.1.4.- Resistencia al corte en clavos paralelos a la fibra	95
4.4.2.- Tornillos.....	98
4.4.2.1.- Resistencia a la extracción perpendicular al grano	98
4.4.2.2.- Resistencia a la extracción paralela al grano	99
4.4.2.3.- Resistencia al corte en tornillos perpendiculares a la fibra	100
4.4.3.- Grapas	101
4.4.3.1.- Resistencia al corte	102
4.4.3.2.- Resistencia a la extracción	103
5.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE TABLEROS Y MUEBLES APANELADOS	105
5.1.- Tableros contrachapados (triplax)	108
5.1.1.- Usos estructurales de la madera contrachapada	109
5.1.2.- Propiedades de la madera contrachapada	110
5.1.3.- Resistencia a la extracción de tornillos de la cara del tablero	113
5.1.4.- Resistencia a la extracción de tornillos del canto del tablero	114
5.2.- Tableros de aglomerados	115
5.2.1.- Resistencia a la extracción de tornillos de la cara del tablero	118
5.2.2.- Resistencia a la extracción de tornillos del canto del tablero	118
5.3.- Tableros de fibra	119
5.3.1.- Resistencia a la extracción de tornillos de la cara del tablero	121
5.4.- Dimensionamiento de estructuras apaneladas	122
5.5.- Dimensionamiento de entrepaños	125
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	129
BIBLIOGRAFIA.....	133

APENDICE:

ANEXO 1.- PROPIEDADES MECANICAS Y ELASTICAS DE LA MADERA	A-1
A1.1.- Resistencia a la compresión paralela al grano	A-2
A1.2.- Resistencia a la compresión perpendicular al grano	A-3
A1.3.- Resistencia a la tracción	A-4
A1.4.- Resistencia al corte	A-5
A1.5.- Resistencia a la flexión paralela al grano.....	A-6
A1.6.- Módulo de elasticidad.....	A-7
A1.7.- Módulo de rigidez.....	A-8
ANEXO 2.- FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA	A-9
A2.1.- Defectos de crecimiento	A-9
A2.2.- Influencia del contenido de humedad	A-10
A2.3.- Influencia de la densidad	A-12
A2.4.- Influencia de la temperatura	A-13
A2.5.- Duración de la carga	A-13
A2.6.- Degradación	A-14
A2.7.- Ataque de insectos	A-16
A2.8.- Ataques químicos	A-16
ANEXO 3.- LA MADERA DE USO ESTRUCTURAL	A-19
A3.1.- Requisitos generales	A-20
A3.1.1.- Contenido de humedad	A-20
A3.1.2.- Durabilidad y preservación	A-20
A3.2.- Clasificación visual de madera estructural	A-21
A3.2.1.- Defectos de la constitución anatómica	A-22
A3.2.2.- Defectos por el ataque de agentes biológicos	A-23
A3.2.3.- Defectos originados durante el apeo, transporte y almacenamiento	A-23
A3.2.4.- Defectos originados en el secado	A-24
A3.2.5.- Defectos originados en el aserrio	A-24
A3.3.- Control de defectos	A-25
A3.4.- Normas de clasificación visual	A-26
A3.5.- Agrupación de maderas seleccionadas en grupos estructurales y especificaciones de resistencia	A-32
ANEXO 4.- METODOS COMPUTARIZADOS DE ANALISIS ESTRUCTURAL	A-39
A4.1.- Alcances del programa desarrollado	A-40

PROLOGO

Es conveniente proponer unas consideraciones de tipo conceptual sobre el proceso de diseño, a partir de las cuales poder argumentar y fundamentar el tema de este trabajo de tesis. Es indudable que el proceso de diseño trata de las cuestiones del método. Al hablar de proceso, estamos entendiendo un método para apropiarnos de la realidad, para concebir el mundo. Un proceso implica una comprensión ordenada de un conjunto de fenómenos que necesariamente son abstraídos y simplificados dentro de ciertos límites, límites que están dados por las diferentes corrientes de pensamiento. La comprensión de los fenómenos, dentro de estos límites, va desde la percepción de una necesidad, hasta la solución de esa necesidad. En este sentido, un objeto de diseño, es el resultado al cual hay que llegar por medio de un proceso.

El diseño, considerado en términos de proceso, se descompone en fases de investigación y tratamientos técnicos, como componentes elementales para conocer, explicar y realizar en el espacio la necesidad social de los diferentes sistemas de objetos. El presente trabajo gira en torno a la fase de los tratamientos técnicos del diseño, sin que esto signifique que el problema tiene que ver con la simple aplicación de una determinada "técnica neutra", sino que tiene que ver con la introducción de variables políticas e históricas que permitan conocer nuestra realidad y transformarla. Sólo así se puede responder a las preguntas de para quién es y para qué sirve la tecnología apropiada. De tal manera que la práctica del diseño se relaciona con los

requerimientos que la sociedad formula.

La necesidad del presente trabajo surge al detectar que, en Latinoamérica, la práctica del diseño ha recogido propuestas de todo orden, que en muchos casos la han convertido en un instrumento en donde el sujeto idealiza la necesidad y la traduce en respuestas formales de manera mecánica, unilateral y fragmentada, adaptando a los objetos formas extrañas, dejando de lado la capacidad investigativa y creadora de los diseñadores e impidiendo identificar en su obra el contenido de la sociedad.

En el caso de la industria de mobiliario de madera, la insuficiencia de conocimientos técnicos aplicados en esta área y una serie de prejuicios derivados del desconocimiento de las propiedades del material, han incidido en que muchos diseñadores de las empresas fabricantes adopten una actitud de simple promotores de modelos extranjeros, logrando con ello una serie de manifestaciones en la forma que, en última instancia, persiguen acrecentar sus niveles de ganancia en desmedro de una adecuada y racional utilización de los materiales y procesos productivos, lo que encarece el producto. Es decir, se ha desarrollado la práctica del diseño de mobiliario como un sistema lógico normativo, cuyas respuestas formales se identifican con la "moda internacional" que llega a nosotros a través de infinidad de catálogos, revistas, propaganda, etc., y que encubren un determinado sistema de dominación.

Es evidente, entonces, que algunos de los desaciertos en la práctica del diseño en Latinoamérica se deben a la falta de comprensión del papel del diseñador como agente que interpreta y condiciona los procesos de transformación del entorno y que para ello es fundamental el desarrollo de sistemas investigativos, que legitimen una tecnología conforme a nuestras necesidades, a fin de afianzar nuevos criterios de diseño que estén de acuerdo con nuestra realidad histórica, y poder así satisfacer los requerimientos que plantean los grandes sectores de la población.

Conviene, por lo tanto, dentro del campo del diseño de mobiliario, cuestionar la forma como se ha venido procediendo, el modo empírico de concebir y desarrollar estos enseres, que encuentra en la copia del modelo ajeno las razones que fundamentan su práctica, sus principios y criterios de diseño, limitándose a adecuarlo a la tecnología de que dispone. El mobiliario así "diseñado" no tiene una correspondencia cabal con las necesidades que lo originaron.

Se trata, entonces, de introducir en la práctica de diseño de mobiliario ciertas variables técnicas que le asignen rasgos de cientificidad y lo caractericen como un proceso racionalizador en el aprovechamiento de la madera, evitando de esta forma su uso indiscriminado que, amparado en el criterio de tratarse de un recurso renovable, esconde fines especulativos. Son objetivos a largo plazo aquellos que procuran legitimar esta herramienta analítica en la práctica del diseño para levantar sobre ella

nuevos criterios de diseño que identifiquen una corriente latinoamericana acorde con nuestra realidad.

Este trabajo de tesis propone, entonces, la racionalización del uso de la madera en la fabricación de mobiliario doméstico a través del conocimiento y aplicación de los principios del cálculo ingenieril; con ello podrían determinarse las propuestas estructurales y constructivas que optimicen las dimensiones de los diferentes elementos y ensambles, para resistir satisfactoriamente los esfuerzos a que se somete comúnmente el mobiliario básico de vivienda.

Uno de los objetivos de este estudio es el análisis de los sistemas constructivos de armazones y apanelados, así como los tipos de ensambles más utilizados en la fabricación de mobiliario de madera. Se intenta con ello organizar y sistematizar la información, actualmente dispersa, en un cuerpo metodológico que facilite un seguimiento en el análisis estructural de cualquier mueble. Básicamente se hace referencia a los procesos productivos que se llevan a cabo con tecnología tradicional en nuestro medio, sin que esto invalide su aplicación a procesos artesanales o de alta tecnología, así como a la utilización de otros materiales, siempre y cuando se disponga de la información de resistencia de cada uno de ellos.

En síntesis, este estudio pretende señalar las referencias técnicas que deben considerarse al abordar el diseño de mobiliario de madera y establecer de manera general los fundamentos y los principios metodológicos de la ingeniería del mueble.

Con este propósito, el primer capítulo del trabajo explica una serie de generalidades y conceptos básicos que serán posteriormente utilizados, así como el estado de desarrollo de los principales métodos de análisis estructural y sistemas constructivos que son aplicados en mobiliario.

En el segundo capítulo se hacen las consideraciones de cargas de trabajo a que son sometidos en el uso los diferentes tipos de muebles propuestos para el análisis: sillas, sillones, mesas, camas, escritorios, entrepaños de anaqueles y libreros.

Con esta información, en el capítulo tres, se realiza el análisis y dimensionamiento de estructuras de armazón. Primero se abordan las estructuras estáticamente determinadas y posteriormente las isostáticas o estáticamente indeterminadas, utilizando para ello el método de Cross. Se calculan los esfuerzos de trabajo y se determinan los esfuerzos admisibles o de diseño con los factores de seguridad requeridos. En un proceso de aproximaciones sucesivas se dimensionan las secciones de los elementos estructurales.

En el capítulo cuatro se estudian los tipos más usuales de ensambles, su comportamiento estructural y dimensionamiento; además se analizan estructuralmente los distintos tipos de

sujetadores mecánicos como son los tornillos, grapas y clavos.

A continuación se dedica el capítulo cinco a un breve estudio estructural de tableros prefabricados: de fibra, aglomerado y contrachapados, por considerarse que su uso, cada vez mayor en la industria del mueble, debe ser sustentado por estudios que recomienden normas de construcción apropiadas para cada caso. En este capítulo también se realiza el análisis estructural de las estructuras apaneladas, para lo cual se utiliza el método de las deformaciones, a partir del cual se dimensionan las piezas para que, al aplicarles la carga, no se deformen más de lo que se considere permisible.

Paralelamente, en el apéndice, se estudian los conceptos técnicos fundamentales de la madera, que son empleados en el desarrollo del tema central. En los anexos uno y dos se analizan las propiedades mecánicas y elásticas de la madera, así como los factores que afectan su comportamiento. En el anexo tres se estudia la madera como material constructivo de uso estructural: los requisitos que debe cumplir para este propósito, la influencia del contenido de humedad, su duración, preservación y muy especialmente la manera de clasificarla visualmente de acuerdo a ciertas normas que consideran los defectos que presenta. Para finalizar esta parte del trabajo, se realiza una clasificación de las maderas más comunes en México y Ecuador en grupos estructurales, atendiendo a sus propiedades mecánicas y elásticas, con el objeto de simplificar su aplicación en los análisis estructurales.

Finalmente, en el anexo cuatro, con el propósito de simplificar los procesos de cálculo estudiados, que si bien no son complicados, si llegan a ser tediosos por la minuciosidad requerida, se realizó un primer intento de programación en computadora del análisis estructural y dimensionamiento de los diferentes tipos de estructuras y ensambles estudiados. Con esta herramienta será posible realizar rápidamente la aplicación de estos métodos de cálculo en un sinnúmero de casos de mobiliario, con lo cual se propiciaría la aplicación y difusión de la ingeniería del mueble como disciplina racionalizadora en el proceso de diseño.

Tomando en consideración el carácter didáctico de esta tesis, se ha tratado de presentar los cálculos íntegramente en el Sistema Internacional de Unidades (SI), ya que la tendencia es a unificar el sistema de medidas. Sin embargo, a pesar de que la legislación de muchos países latinoamericanos consideran al sistema métrico como sistema vigente, existen diferentes sistemas de medida todavía en uso para las dimensiones comerciales de madera, largos y diámetros de clavos, tornillos, brocas etc., por lo que adicionalmente se presentan estos valores en el sistema inglés.

Con el propósito de unificar la nomenclatura utilizada, se ha empleado la terminología en español lo más correcta posible, de comprensión amplia y de uso ya establecido.

En consecuencia, es de esperar que esta tesis será un medio de conocimiento y trabajo para diseñadores, estudiantes y en general para los profesionales que están directamente involucrados en el desarrollo de nuevos productos de madera.

Por último, expreso el reconocimiento a diversas personas por la valiosa ayuda recibida. Agradezco al Arq. Jorge Sánchez Ochoa, profesor de la Facultad de Arquitectura de la UNAM por la instrucción recibida en su curso de estructuras y por su paciente asesoría y ayuda con la revisión de los procesos de cálculo. Al Ing. Víctor Díaz Gómez y al Ing. Paulino Becerril, del Departamento de Tecnología de la Madera del CIFAP de México, por su asesoría y las facilidades prestadas en la obtención de la información sobre resistencia de maderas mexicanas. Asimismo agradezco al Profesor Mario Stoute por los datos antropométricos utilizados en las consideraciones de carga. Y muy especialmente a mis maestros en el posgrado, César González, Arq. Fernando López Carmona, a mi tutor Angel Grosó, mis asesores Horacio Durán y Carlos Chávez, mis sinodales Fernando Martín Juez y Oscar Salinas, quienes con sus sugerencias y apreciaciones contribuyeron directamente a la elaboración de este trabajo.

INTRODUCCION

1

1.1.- ¿QUE ES LA INGENIERIA DEL MUEBLE?

A pesar de que el diseño de mobiliario tiene una larga historia, es muy poco lo que conocemos del fundamento científico aplicado en su construcción, al menos de la manera en que se intenta abordarlo en este trabajo. El diseño del mueble ha sido tratado exclusivamente como una actividad empírica, donde la experiencia individual, ganada por pruebas de acierto y error, fue la razón única y suficiente para su propuesta constructiva. El desarrollo de la ingeniería, a partir de la revolución industrial en el siglo XVIII y su auge posterior, permitió un conocimiento cabal de las posibilidades que ofrecían ciertos materiales (acero, hormigón, etc.) con el consecuente avance en su utilización en el diseño de maquinarias, puentes, arquitectura, etc., mientras se relegaba su aplicación en el diseño de mobiliario, quizás debido a que se habían llegado a estándares relativamente confiables a través de la experiencia.

Es relativamente reciente el interés de aplicar los conocimientos de la ingeniería al diseño de mobiliario. Así nace la ingeniería del mueble como disciplina racionalizadora en la construcción de mobiliario, que proporciona los elementos técnicos para hacerlo capaz de soportar adecuadamente los diferentes tipos de sollicitaciones (fuerzas y cargas) a que va a ser sometido en condiciones de servicio, y proporciona al usuario la información y especificaciones de uso para el cual fue diseñado.

¿Por qué se llama "ingeniería" lo que constituye un proceso de racionalización en la producción de mobiliario? Por ingeniería se entiende el uso de las ciencias físicas y matemáticas en la técnica y en la industria. Pero la racionalización implica mucho más cuando consideramos que en el proceso de diseño intervienen factores de tipo social, económico, funcional, formal, etc.

La ingeniería del mueble intenta conferir al diseño rasgos de cientificidad buscando relaciones exactas y racionales, que las podemos encontrar en el análisis estructural de los componentes, basado en conceptos matemáticos y de la física, que dan una misma respuesta al problema cuando las condiciones son las mismas. Sin embargo hay que tomar en cuenta que estos análisis matemáticos no son suficientes para conseguir los objetivos de la racionalización integral del proceso productivo, y es necesario realizar una serie de consideraciones más amplias que dependen de la habilidad, intuición, creatividad, conocimientos e ideología del diseñador.

Este trabajo sobre la ingeniería del mueble, enfoca al diseño en lo concerniente al desarrollo del producto atendiendo únicamente a las características estructurales y de resistencia de los materiales utilizados, sin que esto signifique que los otros niveles sean menos importantes. Es más, si bien los otros aspectos que se contemplan en el proceso de diseño no son objetivo del presente trabajo, cabe mencionar que la ingeniería del mueble debe aplicarse en función de lo que plantea el proyectista en estos otros niveles. Es decir, la ingeniería del mueble debe respetar los criterios económicos, sociales, funcionales, formales, ergonómicos, estéticos, etc., que proponga el diseñador, pero siempre teniendo en mente las posibilidades técnicas que ofrecen los materiales, y tratando de obtener la máxima eficiencia y ahorro de ellos.

Cabe mencionar que la ingeniería del mueble se encuentra en un estado primario de desarrollo, existen muchas cuestiones por resolver, especialmente en lo relacionado a información sobre cargas de trabajo, resistencia de maderas, tableros prefabricados y sobre diseño de ensambles, lo cual limita el desarrollo del tema. Sin embargo se han hecho avances, especialmente en lo referente al análisis estructural de armazones y es sobre este tema que se hace más énfasis en el presente trabajo.

Siendo el objetivo fundamental de la ingeniería del mueble la proyectación estructural de mobiliario, tal que proporcione un margen de seguridad en la resistencia a las sollicitaciones a que va a ser sometido con el uso, el presente trabajo desarrolla su metodología de análisis ayudado de ejemplos prácticos, que de ninguna manera limitan su aplicación a otros materiales y formas constructivas.

1.2.- ¿QUE ES EL DISEÑO ESTRUCTURAL?

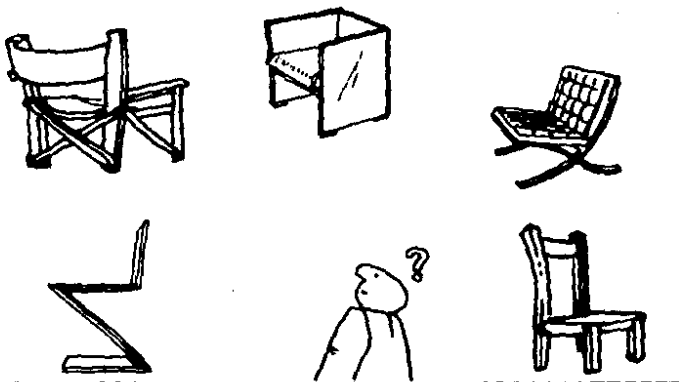
Es difícil contestar esta pregunta con una simple definición. El proceso de diseño estructural es complejo e intervienen en él variables de diversa naturaleza. Quizás la mejor forma de definir esta actividad consiste en describir el proceso que sigue el proyectista al diseñar la estructura de un mueble.

A grandes rasgos, el problema estriba en dar forma a una estructura que cumpla una determinada función, con un grado de seguridad razonable y que en las condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Además, como ya se vio anteriormente, debe cumplir otros requisitos dados por diversos aspectos que el diseñador debe tomar en cuenta, tales como mantener un costo dentro de ciertos límites, el de satisfacer determinadas exigencias funcionales: prácticas, simbólicas y estéticas, etc. Estas consideraciones hacen obvio que la solución al problema del diseño estructural del mueble no puede mantenerse mediante un proceso matemático rígido, donde se aplique rutinariamente un conjunto de reglas y fórmulas.

¿Qué puede considerarse como seguridad razonable, o como resistencia adecuada? ¿Qué requisitos debe satisfacer una estructura para considerar que su comportamiento, bajo condiciones de uso, es satisfactorio? ¿Qué vida útil deberá preverse? ¿Es la estructura acorde con la propuesta funcional, tecnológica, etc.? Estas son algunas de las preguntas que el diseñador, al desarrollar la estructura de un mueble debe tomar en cuenta. El problema no es sencillo y en su solución el diseñador hace uso de su experiencia y de su intuición, apoyando éstas en el análisis y la experimentación. Se puede afirmar que los problemas de diseño no son nunca de solución única, sino de solución razonable, óptima. En efecto la labor del diseñador en el campo de la ingeniería del mueble, requiere tanto de creatividad como de disciplina científica. Indudablemente el diseñador debe aprovechar la información científica disponible, pero además debe tomar en cuenta otros factores que están fuera del campo de las matemáticas y de la física. El proceso que sigue el diseñador al resolver un problema de diseño estructural, planteado en estos términos, puede considerarse como un proceso cíclico de aproximaciones sucesivas.

En general, el diseño de cualquier estructura implica la provisión de que ésta tenga la capacidad necesaria para soportar, con un margen de seguridad adecuado, las sollicitaciones a que puede estar sujeta durante su vida útil. Debe aclararse que la finalidad fundamental de las estructuras no es resistir estas cargas y fuerzas, sino permitir satisfacer las necesidades que dieron origen al objeto del cual forma parte. Las cargas son condiciones inevitables y no hay más que tomarlas en cuenta en el diseño; no basta que la estructura tenga suficiente resistencia, también es necesario que sea satisfactoria en los diferentes aspectos que contemple el diseñador, como pueden ser las limitaciones económicas, las exigencias ergonómicas, funcionales, significativas, estéticas, tecnológicas, constructivas, etc.

Una vez plantado un problema estructural, supuestas las sollicitaciones razonables y definidas las dimensiones generales de mueble, es necesario ensayar diversas propuestas estructurales para resolverlo. Es en esta fase del proceso donde la intuición y la experiencia del diseñador desempeñan un papel primordial. La elección del tipo de estructura es sin duda uno de los factores que más afecta el costo de un proyecto.



La elección del tipo de estructura debe ir asociada a la elección del material con que se piensa realizar el proyecto. Al hacer esta elección, el diseñador debe tener en cuenta las características de la mano de obra y la maquinaria disponible, así como el proceso constructivo más adecuado para cada caso.

Después de elegir una estructura tentativa se la idealiza para estudiar los efectos de las cargas a que puede estar sujeta. Esta idealización es necesaria porque el problema real es siempre más complejo que lo que es práctico analizar. Una idealización típica, por ejemplo, consiste en la descomposición de las estructuras espaciales en estructuras planas con el objeto de simplificar su análisis. Otro tipo de idealización es la que se efectúa al considerar, para efectos de análisis, que los miembros que forman un marco están concentrados en una línea, situada generalmente en su eje de gravedad. También se hacen idealizaciones en relación con las condiciones de apoyo de los elementos estructurales. Así, un apoyo se considera articulado, empotrado o deslizante aunque las condiciones físicas reales no correspondan con precisión al comportamiento ideal en el apoyo escogido. Otro tipo de consideraciones que se efectúan son por ejemplo, los ensambles rígidos, elementos indeformables, con secciones constantes y generalmente rectangulares, etc.

El análisis estructural implica un conocimiento de las cargas que van a actuar en la estructura y de las dimensiones de sus elementos. Estas dimensiones son tentativas cuando se inicia el análisis y en un proceso cíclico el proyectista los va ajustando a valores óptimos. Solamente en la fase final de este proceso se hace un análisis relativamente refinado. El grado de precisión que trate de obtener en este proceso depende de la importancia del proyecto y de las posibilidades de conocer las cargas que se aplicarán realmente sobre la estructura. Se evitará caer en excesos de minuciosidad cuando la importancia del problema no lo amerita, cuando el conocimiento de las cargas a aplicarse es impreciso y cuando el ahorro que pueda obtenerse gracias al refinamiento no lo justifica.

La fase final del diseño consiste en la comunicación de los resultados del proceso a las personas que van a ejecutar la obra. La comunicación de los datos necesarios para la realización del diseño se hace mediante planos y especificaciones. Este aspecto final no debe descuidarse, puesto que el disponer de planos claros y sencillos, y de especificaciones concretas, evita errores y confusiones por parte de los carpinteros y operarios.

Debe mencionarse, por último, la importancia que tiene la vigilancia del comportamiento del mueble diseñado tanto dentro de la etapa de fabricación como durante su uso. Debe considerarse que esta evaluación también es parte del proceso de diseño. En algunos casos la observación del comportamiento puede evidenciar la necesidad de efectuar modificaciones de importancia.

Como complemento a la descripción del proceso de diseño estructural que se presenta, conviene hacer algunas observaciones acerca de sus finalidades. A primera vista podría parecer que la finalidad de la ingeniería del mueble es proyectar estructuras que no fallen. Sin embargo, analizando el problema más profundamente se verá que esta manera de definir los objetivos es poco realista. Las variables y parámetros que deben considerarse son de naturaleza aleatoria. No es posible asignar límites a los valores de estas variables de manera que pueda uno confiar que jamás serán excedidos. Siempre existirá cierta probabilidad de que se presente una combinación de parámetros y variables tal que se produzca la falla de la estructura de un mueble.

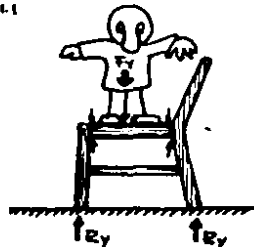
De acuerdo con estos razonamientos no puede considerarse que el propósito de la ingeniería del mueble sea evitar las fallas. Más acertado sería decir que su meta consiste en la optimización de los parámetros de la estructura, haciendo máximo el rendimiento en función del costo del proyecto. En los procedimientos de diseño, actualmente se busca un equilibrio, más bien cualitativo entre la seguridad y la economía. El grado de seguridad que se acepta como adecuado suele depender de la práctica establecida y de la tradición. En Latinoamérica estos criterios no están normalizados a través de reglamentos para la fabricación de mobiliario por lo que queda a criterio de cada diseñador el fijar estos límites.

1.3.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Antes de abordar detalladamente el desarrollo del análisis estructural, es preciso familiarizarse con los elementos conceptuales y técnicos con que se va a trabajar, para lo cual he dedicado esta sección a la revisión de estos fundamentos.

En general se define a una fuerza como la acción de un cuerpo sobre otro. Existen fuerzas ejercidas por contacto y a distancia; a nosotros nos interesan las primeras, cuando el cuerpo la aplica directamente sobre otro, ya que las segundas tratan sobre fuerzas gravitatorias, eléctricas o magnéticas. Aplicada a estructuras, también podemos decir que una fuerza es una acción que cambia las condiciones de equilibrio del cuerpo sobre el que actúa. Es importante diferenciar entre fuerzas externas e internas: fuerza externa es aquella que es aplicada a la estructura por otro cuerpo; fuerza interna es aquella resistencia que los elementos estructurales desarrollan internamente, en respuesta a una fuerza externa. Las fuerzas externas se pueden subdividir en aplicada directamente a la estructura por otro cuerpo (F_y), y de reacción que ejerce el piso a los apoyos de la estructura (R), como se ve en la Fig. 1.1.

FIG. 1.1

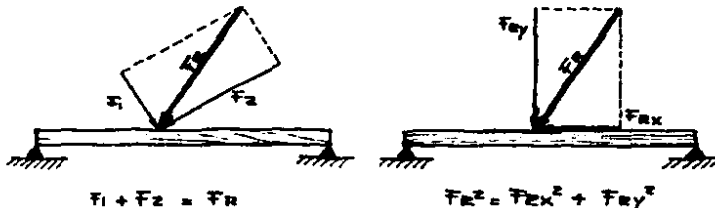


FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS

Para determinar completamente una fuerza lo hacemos por su magnitud, dirección, sentido y punto de aplicación. Siendo magnitudes vectoriales, varias fuerzas aplicadas a un mismo punto pueden ser reemplazadas por su resultante F_R , y ésta a su vez, puede ser expresada en sus componentes ortogonales F_{Rx} y F_{Ry} , que actúan paralela y perpendicularmente a las coordenadas del sistema estructural. (Fig. 1.2)

FIG. 1.2

FUERZA RESULTANTE Y COMPONENTES ORTOGONALES



Otra característica importante de una fuerza es el momento que produce. Se define como momento de una fuerza con respecto a un eje, al efecto de rotación que experimenta el cuerpo en el que actúa la fuerza.

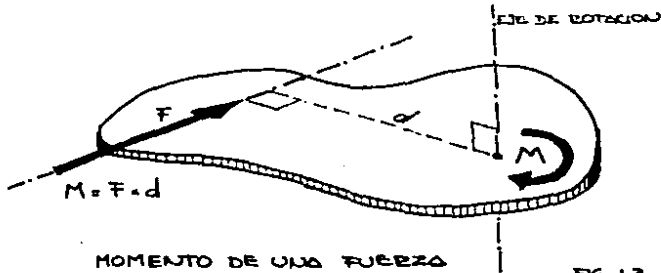
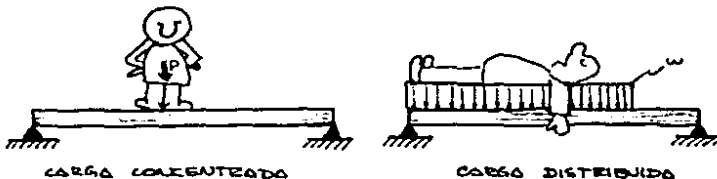


FIG. 1.3

En la Fig. 1.3 se indica que la magnitud del momento M es el producto de la fuerza F por la distancia d que separa el eje de rotación de la línea de acción de la fuerza. Las unidades que utilizaremos serán $(\text{kg} \cdot \text{cm})$.

El término "carga" generalmente se utiliza para señalar el peso de un cuerpo que soporta la estructura. Una fuerza F aplicada a una estructura se llama carga concentrada o puntual cuando el área en que es aplicada es muy pequeña; cuando el área de aplicación es una área considerable del elemento de apoyo, se llama carga distribuida, como por ejemplo la carga que imprime un sujeto al sentarse en una silla.

FIG. 1.4

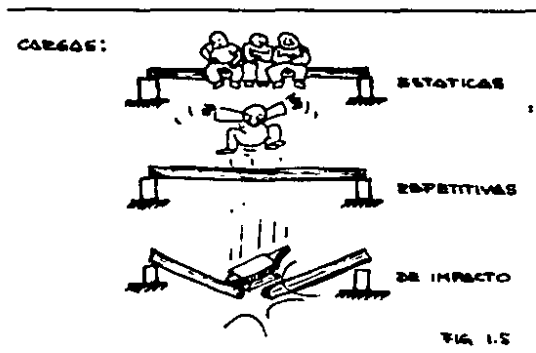


Las cargas pueden ser clasificadas de acuerdo con los efectos que producen y por la manera en que son aplicadas:

Cargas estáticas son cargas aplicadas gradualmente hasta su máximo valor y luego permanecen constantes, por ejemplo el peso de los libros de una estantería.

Cargas repetitivas son aquellas que se aplican y levantan sucesivamente, por lo general, muchas veces, como puede suceder en el caso de sillas y sillones. Sus efectos pueden provocar la fatiga del material estructural y sus ensamblajes, y el deterioro de los elementos de acojinamiento y revestimiento del asiento.

Cargas de impacto son aquellas que son aplicadas instantáneamente, generalmente por un cuerpo en movimiento. Los efectos producidos por las cargas de impacto son muy superiores a que si se aplica la carga gradualmente, sus efectos pueden provocar la fatiga del material aun tratándose de valores menores que la carga estática para la cual fue diseñado. Por ejemplo, cuando una persona se deja caer pesadamente en una silla le imprime casi el doble de su peso a la silla. Se pueden presentar combinaciones de estos tipos de carga, como sucede, por ejemplo, cuando un niño salta repetidamente en una cama, imprimiéndole cargas repetitivas y cargas de impacto.



Además de estas consideraciones generales sobre los tipos de cargas, es necesario recordar algunos conceptos básicos sobre estabilidad en las estructuras. Decimos que un cuerpo está en equilibrio, cuando la resultante de todas las fuerzas que inciden en él, es cero. Las condiciones de equilibrio estático, para estructuras planas son más específicas:

$F_y = 0$ Sumatoria de fuerzas en y igual a cero.

$F_x = 0$ Sumatoria de fuerzas en x igual a cero.

$M_o = 0$ Sumatoria de momentos igual a cero.

Estas ecuaciones no se pueden demostrar algebraicamente, pues sólo describen la observación de Isaac Newton de que para toda acción ejercida sobre un cuerpo en reposo, existe una reacción igual y opuesta. Independientemente de que se trate de una estructura de un edificio o de un mueble, las ecuaciones de la estática deben cumplirse si el cuerpo ha de permanecer en equilibrio.

Los sistemas estructurales se sostienen a un soporte por medio de apoyos. En la Fig. 1.6 están representados los tres tipos de apoyos más usuales: deslizable, articulado y empotrado, y sus respectivas fuerzas de reacción posibles.

APOYOS:

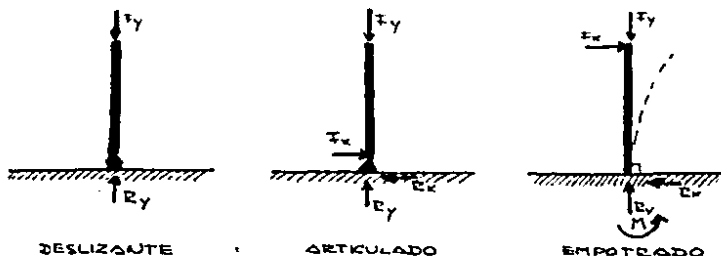


FIG. 1.6

Para graficar estos tipos de apoyo, nos hemos valido de diagramas de cuerpo libre. Un diagrama de cuerpo libre es un recurso gráfico que ayuda a visualizar con claridad las fuerzas externas e internas que actúan en el cuerpo; se trata de un dibujo lineal de una estructura que ha sido aislada de sus contornos inmediatos, y donde se representan las fuerzas externas a él y sus apoyos. Se puede considerar el análisis de toda la estructura o sólo parte de ella, ya que sabemos que una estructura está en equilibrio cuando todos y cada uno de sus elementos están equilibrados y si las ecuaciones de estática son aplicables a una estructura completa, también deben serlo a cualquiera de sus partes.

Por tanto, es posible dibujar un diagrama de cualquier parte de una estructura y aplicarle las ecuaciones de la estática. El resultado debe incluir todas las fuerzas aplicadas a esa porción de la estructura. Tales fuerzas son las reacciones y las cargas externas, así como las fuerzas internas aplicadas por las partes contiguas de la estructura.

1.4.- METODOS DE ANALISIS ESTRUCTURAL

La madera es un material anisotrópico, es decir, presenta propiedades mecánicas diferentes en direcciones diferentes. El comportamiento de un elemento de madera bajo la acción de una carga es distinto del que tendría un elemento de material homogéneo e isotrópico. Para fines de la ingeniería del mueble, sin embargo, la madera puede ser tratada como un material ortotrópico, con direcciones características definidas por la orientación de las fibras''. Por lo general, se recomienda analizar estructuras o elementos estructurales de madera suponiendo un comportamiento lineal, ya que para niveles de carga que producen esfuerzos por debajo del límite proporcional, el comportamiento es esencialmente lineal.

Los procedimientos más comunes para el diseño estructural en la ingeniería del mueble son los análisis basados en modelos físicos y los basados en modelos matemáticos. Veamos en qué consiste cada uno de ellos.

1.4.1.- Diseño por medio de modelos físicos

Una manera muy directa de diseñar una estructura consiste en hacer un modelo a escala natural y comprobar si es satisfactorio su comportamiento bajo combinaciones de cargas que reproduzcan aquellas a las que se supone estará comúnmente sujeto el mobiliario en servicio. Este procedimiento es el que probablemente se utilizó, más o menos conscientemente, en el diseño del mueble desde la antigüedad. La experiencia de generaciones sucesivas permitió ir desarrollando nuevas formas estructurales y afinar sus dimensiones. Incluso hoy en día las características dimensionales de muchos de los sistemas de mobiliario tradicionales están basados en la experiencia acumulada sobre el comportamiento de prototipos a escala natural.

El uso de modelos físicos es a veces el método más indicado en el diseño de mobiliario, no solo porque se analizan aspectos estructurales, sino también funcionales, ergonómicos, estéticos, constructivos, etc., y más aún cuando los objetos diseñados son muy complejos, lo que dificulta un análisis matemático. En elementos que van a fabricarse en gran número puede también convenir este método por el refinamiento de dimensiones que es posible lograr, ya que la información que se puede obtener por ensayos a escala natural es la más fidedigna posible. Ya que los modelos matemáticos reproducen los fenómenos físicos reales tan sólo de una manera aproximada.

Se puede aplicar más acertadamente este método de diseño por medio de modelos físicos, como método experimental para comprobar los resultados del análisis matemático. En etapas iniciales de aplicación de los métodos matemáticos, es necesaria una verificación experimental a través de la construcción de modelos

que reflejen las condiciones reales del mueble y su comportamiento en condiciones de servicio. Solo de esta manera se puede asegurar si las consideraciones e idealizaciones iniciales, hechas para simplificar el cálculo matemático, son válidas, y si las variaciones en los resultados son significativas o no.

En el proceso de diseño por medio de modelos se aplican conjuntos de solicitaciones representativas de aquellas a las que el prototipo estará sujeto en la realidad, y se miden las respuestas del mismo. Para satisfacer las condiciones de seguridad, el modelo debe resistir solicitaciones un tanto mayores a las que se estima soportará el prototipo bajo las condiciones de servicio. Para cumplir la condición de comportamiento satisfactorio bajo estas condiciones de servicio, las respuestas del modelo a estas solicitaciones deberán estar comprendidas entre los valores considerados como límites admisibles. Si una de las condiciones no se satisface, se modifican las características del modelo y se repite el proceso.

Evidentemente las desventajas principales de este método son su costo y el tiempo necesario para obtener resultados, cuestiones que imposibilitaron que el presente trabajo se dirigiera por este rumbo; sin embargo es importante dejar planteadas sus posibilidades para aplicaciones futuras.

El alto costo que implica el diseño por medio de modelos puede reducirse si éstos se hacen a una escala reducida. El comportamiento del prototipo puede deducirse del comportamiento del modelo a escala, teniendo en cuenta los principios de similitud que establece la teoría de los modelos. Las solicitaciones aplicadas al modelo deben reproducir a escala las que vayan a afectar a la estructura real. El problema de diseñar muebles de madera con modelos a escala es que las relaciones de los elementos anatómicos de la madera (que son los que le confieren sus propiedades mecánicas) con las dimensiones de las piezas del prototipo, no son equivalentes en el modelo a escala, lo que introduce incertidumbres que no existen en el modelo a escala natural.

1.4.2.- Diseño por medio de modelos matemáticos

El empleo de modelos físicos para el diseño estructural es evidentemente un procedimiento costoso cuya aplicación se justifica sólo en determinadas circunstancias. En general, es más frecuente, recurrir a procedimientos analíticos basados en modelos matemáticos que nos proporciona la Mecánica de Materiales. Dentro de estos procedimientos, las tendencias en el diseño estructural son hacia el método plástico o de última resistencia. Estos permiten la consideración por separado de la incertidumbre en las cargas, los métodos de análisis y la resistencia del material, en

lugar de analizar un factor de seguridad único, resultando diseños algo más eficientes. Sin embargo, la limitada información de que se dispone por el momento, con relación a estructuras construidas con maderas, hace inaplicable el análisis en condiciones límites, por lo que, según se propone en este trabajo y es la práctica mundialmente establecida, se diseñan por el método de esfuerzos permisibles.

1.4.2.1.- Método de los esfuerzos permisibles

Este método consiste esencialmente en el siguiente proceso. Las fuerzas internas (fuerzas axiales, momentos y fuerzas cortantes) producidos en los diferentes elementos de una estructura por las cargas aplicadas, se calculan por medio de un análisis elástico. Se determinan después los esfuerzos de trabajo producidos en las distintas secciones por métodos basados también en hipótesis elásticas. Estos esfuerzos de trabajo así calculados deben mantenerse por debajo de ciertos esfuerzos permisibles que toman en cuenta la resistencia del material y los factores de seguridad que se consideran aceptables. El análisis es razonable en estructuras de materiales que, como la madera, tienen un comportamiento esencialmente elástico.

La aplicación de este método en el análisis de muebles con armazones consiste en el siguiente proceso: primero, se determinan las cargas y fuerzas externas que van a actuar en la estructura del mueble en condiciones de servicio; segundo, se establecen las dimensiones de partida de los elementos estructurales; tercero, se determina la magnitud de las fuerzas internas y su distribución en la estructura prediseñada; cuarto, se calculan los esfuerzos de trabajo de cada uno de los elementos estructurales y se verifica que no excedan o no estén muy por debajo de los esfuerzos permisibles de la madera utilizada y si es necesario se corrige o redimensiona la estructura, y se procede nuevamente al cálculo de las fuerzas internas; quinto, se diseñan los ensambles para que soporten las fuerzas que actúan en sus elementos.

El primer paso consiste en determinar las cargas que van a trabajar en cada tipo de mobiliario. Por ejemplo, cuando diseñamos mobiliario para ser utilizado en una vivienda, consideraremos unos valores de cargas diferentes a los utilizados en mobiliario para servicio público. Es decir, el diseñador debe conocer las condiciones de uso a que va a ser sometido el mueble y las formas más comunes en que se aplican las cargas: por ejemplo, se debe determinar las fuerzas externas que se aplican a una silla cuando una persona se sienta en ella, cuando se apoya en el respaldo, cuando se bambolea en ella, etc.; o cuánto pesan los libros que va a soportar un librero; o que fuerzas laterales recibe una cama o una mesa, etc.

El siguiente paso consiste en elaborar un prediseño de los elementos estructurales, con el cual se procede a realizar el

análisis matemático de las fuerzas internas: se calculan fuerzas axiales de tracción o compresión, momentos flectores, fuerzas cortantes y de torsión. Una vez realizado el cálculo inicial se analiza cada elemento por separado para determinar si soporta adecuadamente los esfuerzos de trabajo y si es necesario se hacen los ajustes pertinentes, ya sea aumentando o disminuyendo su sección para que no falte ni sobre material. Este proceso se repite hasta determinar las dimensiones óptimas de cada elemento de la estructura.

Una vez conocidas las dimensiones de los elementos estructurales, y por lo tanto las fuerzas que actúan en sus extremos, se procede al diseño de los ensambles. Por lo general los ensambles son las partes más débiles de una pieza de mobiliario, posiblemente porque conocemos muy poco de su comportamiento y se diseñan sin considerar cuantitativamente las fuerzas que actúan en ellos. De esta manera se concluye el análisis estructural de la ingeniería del mueble. Pasos posteriores dentro del proceso de diseño son las fases de evaluación del mobiliario en uso, donde se detectarán las posibles modificaciones necesarias para próximas propuestas.

1.5.- SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE MOBILIARIO

A primera vista, puede hacerse difícil reconocer el sistema estructural básico de un mueble, puede parecernos que hay una gran variedad de maneras de obtener formas rígidas y resistentes en el mobiliario. Sin embargo un vistazo más detallado nos revela que el mobiliario de madera, por lo general, está compuesto básicamente de dos componentes: elementos de la armazón y tableros o paneles, planos y curvos. Dependiendo de cuál es el componente predominante se puede clasificar a las estructuras de mobiliario en apaneladas y de armazón. Es evidente que cualquiera de los sistemas estructurales puede ser utilizado para construir un mueble que resuelva determinada necesidad. Por ello veamos algunos aspectos básicos de cada uno de estos sistemas estructurales para conocer el comportamiento y las ventajas que ofrecen.

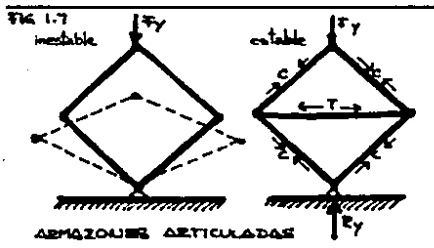
1.5.1.- SISTEMAS ESTRUCTURALES DE ARMAZON

Se puede definir una armazón como la estructura de un mueble construida en base a piezas longitudinales de madera, interconectadas a través de ensambles o articulaciones, que forman una estructura estable. Estas piezas longitudinales o miembros estructurales pueden ser de variadas formas, dimensiones y secciones transversales. En caso de estar conectados por ensambles, entendemos que los miembros tienen una unión rígida que los sostiene en una posición fija, haciendo de la armazón una estructura continua, mientras que en el segundo caso, la articulación les permite girar, teniendo como eje justamente la

articulación, y para lograr estabilidad en la estructura es necesario disponer los miembros de tal manera que evite desplazamientos. Veamos más detenidamente estos casos.

1.5.1.1.- Armazones articuladas

Recordando uno de los principios de geometría plana, vemos que el triángulo es la única figura indeformable, es decir que para una longitud dada de sus lados, sólo existe una y sólo una disposición posible de los ángulos que forman. Aplicando este principio al diseño de muebles articulados inducimos que de todas las disposiciones posibles de los miembros de una estructura, únicamente los armados en forma de triángulos forman una estructura estable y se comportan como un cuerpo rígido.



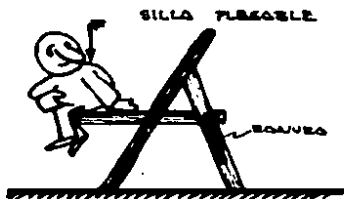
Generalmente, los miembros de una estructura articulada transportan únicamente cargas axiales, esto es, transportan fuerzas que actúan a lo largo de su eje longitudinal. No transportan fuerzas de rotación o momentos ya que cada miembro es libre de rotar con centro en el eje de la articulación. Por lo tanto el factor principal a tomarse en cuenta durante el diseño estructural de este tipo de armazones es la resistencia

de sus miembros a la tracción y a la compresión paralela a la fibra, que son los únicos esfuerzos axiales posibles. (Fig. 1.7)

Existen pocos ejemplos de aplicación de este tipo de armazón, uno de ellos son los muebles plegables como mesitas, sillas y otros. Veamos más detenidamente la silla plegable de la Fig. 1.8.

Nótese que los tres elementos están armados con uniones articuladas, y cuando la carga vertical F se aplica al asiento de la silla, toda la estructura se comporta como un cuerpo rígido y estable; mientras que si se aplica la fuerza F en sentido contrario al indicado, permite que la articulación del asiento con la pata posterior, se desplace a lo largo de la ranura, permitiendo que la silla se plegue.

APLICACIONES:



1.5.1.2.- Armazones con uniones rígidas

Es una armazón que forma una estructura continua a base de uniones o ensambles rígidos, sin desplazamientos ni giros, que dan estabilidad y solidez al mobiliario, independientemente de la disposición de sus miembros, por lo tanto no está limitada a un modo específico de configuración geométrica como en el caso anterior. Al parecer, esta flexibilidad de diseñar con muchas formas, es el principal motivo que ha justificado que la mayoría de muebles sean construidos con este sistema de armado, y es por ello que estudiaremos este caso con más detenimiento.

Un ensamble hace trabajar a dos miembros como parte de una estructura continua, es decir, su comportamiento se semeja a estructuras construidas con materiales como el hormigón armado, que trabajan como una sola pieza. Una forma simple de unión rígida es una viga en voladizo (cantiliver), cuyo empotramiento es perfecto como la de la Fig. 1.10.A

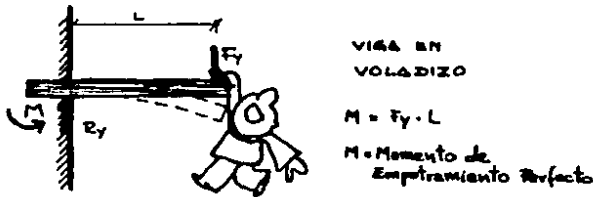


FIG. 1.10.A

Es importante notar que la fuerza F_y aplicada perpendicularmente al eje longitudinal de la viga en voladizo, produce una fuerza R_y de reacción en el elemento de apoyo, un momento M que impide que la viga gire y una flexión de la viga. Un ejemplo común de este caso se presenta en una mesa, donde las patas están ensabliadas con la estructura de la cubierta.

FUERZA APLICADA Y REACCIONES

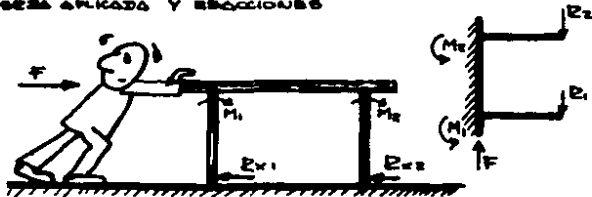
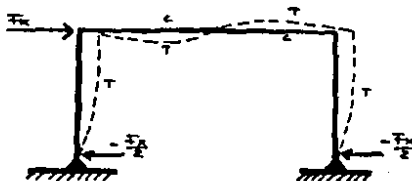


FIG. 1.10.B

En la Fig. 1.10.b se ilustra que la fuerza F_x aplicada lateralmente en la mesa, produce fuerzas de reacción R_x y R_x en el piso, cuyos efectos en la estructura son los mismos de la viga en voladizo, como se puede apreciar si giramos la mesa tal que la cubierta permanezca vertical.

Veamos con más detenimiento el comportamiento de los tres miembros estructurales considerados en su conjunto como armazón. Los efectos de la fuerza F_x aplicada lateralmente en la cubierta, cual si una persona empujara la mesa, sin levantarla, produce deformaciones características, dependiendo del tipo de apoyo con el suelo¹¹¹. Cuando las dos patas se encuentran simplemente apoyadas, la estructura se deforma como lo indica la Fig. 1.11



DEFORMACIONES DE UNA MESA
CON LAS DOS PATAS APOYADAS.

FIG. 1.11

Se puede observar que al estar la mesa simplemente apoyada en el suelo, y se la empuja pero sin que exista desplazamiento, los puntos de apoyo se comportan como si fuesen articulados por la resistencia de fricción estática que ejerce el suelo contra la superficie de apoyo de las patas. En esas condiciones se producen las deformaciones ilustradas en la Fig. 1.11, claro que en el gráfico han sido exageradas para hacerlas evidentes. Se puede observar que el travesaño que soporta la cubierta tiene una doble curvatura: las fibras superiores del lado izquierdo del miembro trabajan a compresión y las inferiores a tracción, y en el lado derecho las fibras superiores a tracción y las inferiores a compresión; de donde deducimos que en el tramo central de la pieza no hay esfuerzos de flexión. Así mismo, nótese que las fuerzas de reacción en el piso R_x y R_x son iguales entre sí, y cada una equivale a la mitad de la fuerza F_x aplicada, pero son de sentido contrario.

¹¹¹ VERSE EN EL SUBCAPÍTULO 1.2 SOBRE LOS DIFERENTES TIPOS DE APOYO

Cuando tenemos una pata simplemente apoyada y la otra libre de rozamiento, como sucedería en el caso de que una persona levante levemente uno de los extremos de la mesa, mientras la empuja lateralmente, la deformación que se produce es diferente del caso anterior y se indica en la Fig. 1.12.

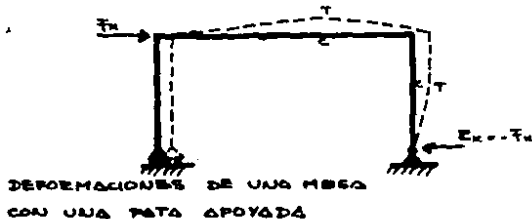


FIG. 1.12.

El travesaño que soporta la cubierta tiene en este caso una deflexión uniforme: todas sus fibras superiores trabajan a tracción y las inferiores a compresión. Como en este caso la pata derecha es la que descansa en el suelo, sólo en este apoyo se produce la fuerza de reacción R_x , que es de igual magnitud pero de sentido contrario a la fuerza F_x aplicada.

Si a esta estructura de tres miembros le añadimos uno nuevo, llamémoslo travesaño inferior, obtenemos una estructura con un comportamiento diferente. En la Fig. 1.13 se grafica esta estructura de cuatro componentes, que es la que generalmente se utiliza en sillas, mesas y otro tipo de muebles, por poseer mejores características de rigidez; veamos por qué:

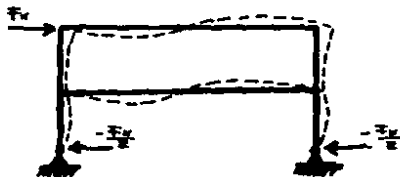
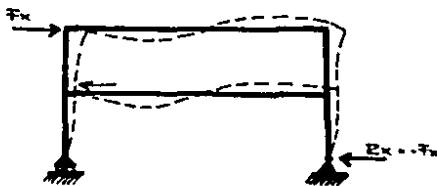


FIG. 1.13

Al aplicar la fuerza F_x en la estructura, ésta se deforma como se indica en la Fig. 1.13. Se asume que las dos patas están simplemente apoyadas en el suelo. Como la estructura es simétrica, las fuerzas de reacción del piso R_x son iguales. Comparando con la Fig. 1.11, en que las condiciones de apoyo son las mismas, vemos que las deformaciones son semejantes; además de que el travesaño inferior presenta también una deformación con doble curvatura. Es decir que la fuerza aplicada ahora se distribuye también a través del travesaño, aumentando la rigidez de toda la estructura.

Si se levanta una de las patas de la mesa mientras se la empuja, el travesaño tiene aún más importancia por la manera como distribuye los esfuerzos a través de la estructura. En la Fig. 1.14 se ilustran las deformaciones bajo estas condiciones. Nótese las diferencias; la pata izquierda no sufre deformaciones por no tener fuerza horizontal de resistencia en el piso. Al mismo tiempo la fuerza de reacción del piso R_x que actúa en la pata derecha se ha duplicado. Lo que el tensor hace es transmitir parte de esta fuerza R_x a la pata izquierda, disminuyendo el esfuerzo que recibe el ensamble de la pata derecha con el travesaño superior.



DEFORMACIONES DE UNA MESA CON TRAVESAÑO.

CON UNA PATA APOYADA

FIG. 1.14

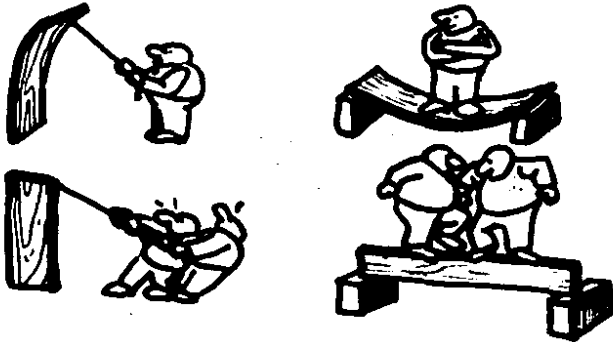
Esto nos permite deducir un principio estructural importante: las fuerzas y cargas externas que actúan sobre una estructura se distribuyen en sus miembros componentes, provocando esfuerzos internos en cada uno de ellos que resisten dichas fuerzas externas. Por tanto, a mayor número de elementos componentes que se reparten los esfuerzos, corresponde una mayor resistencia y rigidez de toda la estructura.

1.4.2.- SISTEMAS ESTRUCTURALES APANELADOS

Las características estructurales de los paneles o tableros difieren básicamente de las armazones, porque la solidez de estas últimas, depende principalmente de la rigidez y resistencia de sus miembros a las fuerzas axiales y flectoras; en cambio, en las estructuras apaneladas, la solidez de la estructura depende de la resistencia a la torsión y pandeos de sus componentes.

Los tableros o paneles usados en este tipo de estructuras son generalmente flexibles cuando aplicamos fuerzas perpendiculares a su cara, pero son rígidos cuando las aplicamos a sus cantos. Es decir, los paneles pueden ser deformados al aplicar fuerzas perpendiculares a su plano principal, mientras que permanece rígido cuando las fuerzas aplicadas corren a lo largo de este plano, como lo ilustra la Fig. 1.16.

FIG. 1.16



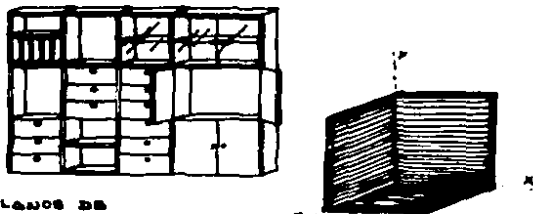
En general, una estructura apanelada se asemeja a una caja: tiene cuatro lados, una tapa posterior y puede tener un marco, para cajones o puertas. Dependiendo de la complejidad de la estructura, varía su comportamiento. Puede estar construida únicamente con paneles o estar combinada con armazones.

El comportamiento de la estructura de paneles es similar, por ejemplo, al comportamiento de una caja de zapatos: si la torcemos por sus extremos notamos que todas sus caras se deforman, es decir que la deformación de un panel se relaciona en una proporción geométrica determinada con la deformación de cada una de las caras de la caja. En el Capítulo 5 se estudiará detenidamente esta

relación, pero por ahora podemos deducir que si a uno de los paneles se rigidiza lo suficiente, los otros paneles también se rigidizan. En el ejemplo de la caja de zapatos, lo comprobaríamos pegando a una de sus caras un pedazo de madera contrachapada, notándose como toda la caja adquiere mayor rigidez. Los mejores resultados los conseguiremos al pegarse el pedazo de madera al fondo de la caja, ya que este transmite directamente su rigidez a los cuatro lados restantes.

Si ahora observamos el comportamiento de la caja, veremos que su cara abierta aún puede deformarse, por lo tanto debemos rigidizarla respecto a las fuerzas que actúan en este plano. La manera más sencilla de hacerlo es colocarlo un marco rígido, o cerrándola completamente con su tapa, así conseguiremos su máxima rigidez.

Otro punto de interés es el comportamiento de una estructura de paneles no depende de la rigidez de las uniones de los tableros, sino que proviene de la resistencia de los paneles en sus diferentes planos de armado. Se puede armar una estructura de paneles, uniéndolos con bisagras y toda ella mantendría su rigidez y solidez.



PLANO DE
ARMADO DE PANELES
PARA RIGIDIZAR LA ESTRUCTURA

CONSIDERACIONES DE CARGA EN LA INGENIERIA DEL MUEBLE

2

Para poder diseñar estructuralmente un mueble, es importante identificar las fuerzas externas que comúnmente se ejercerán en él cuando esté en uso. La determinación de las magnitudes, puntos de aplicación, direcciones y sentidos de las fuerzas externas, es uno de los pasos más importantes en todo proceso de análisis estructural, y se requiere hacer consideraciones para cada tipo de mueble. Si las cargas de trabajo estipuladas son menores a las aplicadas en la práctica, el mueble se dañará cuando sea utilizado; si por el contrario, las cargas consideradas en el diseño son mayores, el mueble estará sobredimensionado y habremos ocasionado un desperdicio innecesario de material.

Por otro lado se trata de evitar errores comunes en la fabricación de muebles como pueden ser, por ejemplo, entrepaños que se pandean, cajones alabeados, ensambles que se aflojan, etc. Lo importante es combinar solidez, resistencia y economía, con los demás criterios que considere el diseñador.

Mientras mayor sea la información con que cuenta el diseñador, tiene mejor oportunidad de producir un buen diseño. Desgraciadamente la ingeniería del mueble carece actualmente de información amplia y suficiente, sobre datos experimentales de las cargas que actúan en cada tipo de mobiliario, más aún considerando que la gran mayoría de estas cargas son complejas y no pueden ser determinadas por ningún proceso simple de razonamiento. Es necesario, entonces, investigar detalladamente cada caso especial,

partiendo de pruebas de laboratorio y análisis matemáticos, para proponer normas y reglamentaciones concretas sobre cargas de trabajo para los diferentes tipos de mobiliario. La información sobre cargas de trabajo que se describen e ilustran en este capítulo son de carácter general y están aplicadas a los tipos de mobiliario más utilizado en vivienda. Los criterios son retomados de las investigaciones del Prof. Karl Eckelman, de la Universidad de Purdue en Lafayette, E.U. Las magnitudes aplicables a nuestro medio están dados por estudios antropométricos de la población de derechohabientes del ISSSTE de la ciudad de México, facilitados por el Prof. Mario Stoute.

Sabemos que en nuestro medio no existe una reglamentación sobre las cargas de trabajo que deben ser consideradas para el análisis estructural de los diferentes tipos de mobiliario, por tanto es responsabilidad del diseñador establecer los valores que se usarán en el cálculo. Seleccionar estas cargas es un proceso que requiere del conocimiento de las características de cada tipo de mueble y del trato que el usuario va a dar al mobiliario ya en servicio. Puede ser útil establecer rangos entre los cuales se localicen la resistencia y durabilidad prevista del mueble, así podemos considerar mobiliario para servicio doméstico, destinado a trato ligero, mediano o pesado, y mobiliario para servicio público de trato ligero, mediano o pesado. Por ello es importante que el fabricante comunique al usuario las condiciones de uso que fueron consideradas en el diseño del mueble y advierta sobre aquellas cargas que pueden afectar al mueble ya que no están contempladas en el análisis estructural.

Con estas consideraciones, se presenta a continuación, una serie de datos que no intentan abarcar todos los tipos posibles de cargas de todos los tipos de mobiliario, sino por el contrario, apenas se perfilan como parámetros de referencia para que el diseñador seleccione los casos más apropiados para cada problema. Los valores de carga que se proponen no son absolutos ni definitivos y más bien se los utiliza, en este punto, con fines de ejemplificación del análisis estructural.

2.1.- CARGAS PARA SILLAS

2.1.1.- Cargas verticales en el asiento

Especificaciones dadas en "Specifications for strength and stability of domestic and contract furniture", del British Standards Institute (Instituto de Normalización Inglés), estiman las cargas verticales aplicadas al asiento en valores entre 80 y 130 kg. Por otro lado, Carl Eckeman, de la Universidad de Purdue, E.U., recomienda apropiado utilizar para los análisis, valores de carga comprendidos entre 120 y 230 kg.

Una buena estimación para establecer la carga estática máxima de trabajo en el asiento de una silla, se puede lograr utilizando

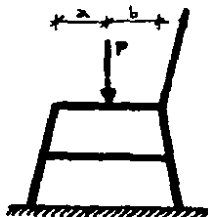
un peso corporal que incluya un valor percentil de la población factible de utilizar esa silla. Por ejemplo, si se diseñara una silla para una escuela, se utilizarían las estadísticas antropométricas de los niños en edad escolar. Para el caso de mobiliario doméstico básico que se propone ejemplificar en esta tesis, se considera que está dirigido al sector de trabajadores públicos. Para esto, se va a utilizar el peso máximo de los varones, vestidos ligeramente, contemplados en el 85 percentil de la población que atiende el ISSSTE en la ciudad de México, esto es un peso de 85 kg. Es decir que no más de un 5 por ciento de la población puede pesar más de 85 kg.

Las cargas dinámicas sobre el asiento ocurren cuando la persona se sienta rápida y pesadamente. Pruebas experimentales demuestran que una persona sentándose vigorosamente le imprime a la silla casi el doble de su peso, por lo tanto el sujeto que pesa 85 kg, va a ejercer una fuerza momentánea sobre el asiento de cerca 170 kg. Pruebas realizadas por Eckelman indican que un saco de arena, dejado caer desde una altura de 15 cm. ejerce una fuerza de impacto de siete veces su peso propio.

Un aspecto importante en el estudio del comportamiento estructural de la silla es la manera como se transmiten las cargas del asiento a la armazón. En el caso de asientos de madera sólida y de cojines con base de contrachapado, las cargas verticales se transmiten a los travesaños que forman el marco del asiento, y de estos a las cabezas de las patas. En otro tipo de asientos, por ejemplo aquellos con un entramado de palma o mimbre, el peso de una persona sentada imprimirá fuerzas horizontales y verticales a los travesaños que forman el marco.



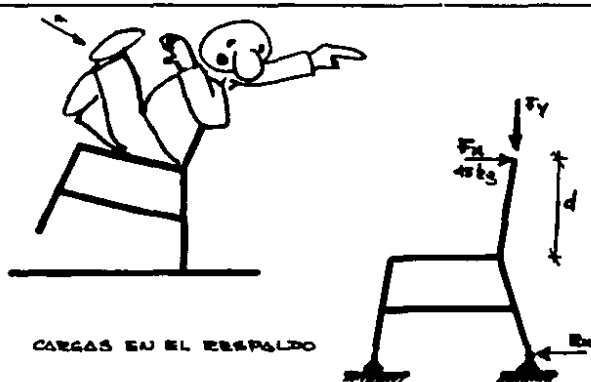
CARGAS VERTICALES
EN EL ASIENTO



2.1.2.- Cargas en el respaldo

Este tipo de cargas se ejercen normalmente cuando el usuario se apoya en el respaldo. Las especificaciones inglesas indican que para condiciones normales de uso del mobiliario doméstico promedio, se utilicen cargas en el respaldo de 40 kg, y de 136 kg para mobiliario público de trato pesado. Las especificaciones de E.U. para mobiliario de oficina estiman cargas en el respaldo entre 68 y 136 kg. Para propósitos analíticos, en nuestro medio, se deben considerar cargas horizontales entre 35 y 140 kg que corresponden a uso doméstico ligero y a uso público pesado, respectivamente.

También se imprimen cargas considerables en el respaldo cuando el usuario se inclina hacia atrás con la silla. Bajo estas condiciones, Eckelman encontró que un sujeto de 90 kg. ejerce una fuerza de 45 kg en el respaldo. Este tipo de carga es importante considerar ya que provoca un gran momento en los ensamblajes posteriores que es la causa más frecuente de daños en sillas.



CARGAS EN EL RESPALDO

FIG. 2.2

Para propósitos de análisis, las cargas en el respaldo se aplican de manera simétrica a los postes posteriores. El punto de aplicación de la carga es importante conocer en cada diseño, para determinar la distancia hasta el ensamble. Esta distancia fluctúa entre 30 y 40 cm.

Se presentan casos especiales de cargas en el respaldo cuando una persona se sienta sobre él, con los pies sobre el asiento, y cuando accidentalmente una silla se cae hacia atrás recibiendo una carga de impacto que puede provocar el rompimiento de los

postes o travasaños del respaldo. Ya que las cargas de impacto son de diferente naturaleza de las que estamos analizando en este estudio y se carece de información suficiente, no las vamos a especificar, aunque deben ser consideradas en el proceso de diseño.

2.1.3.- Cargas verticales en los travesaños

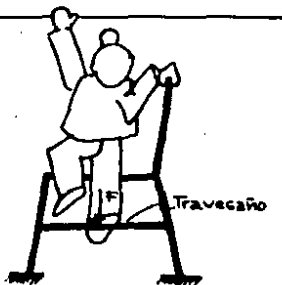
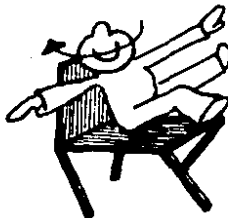


FIG 2.3

Frecuentemente el usuario se para en los travesaños de las patas de la silla, cuando necesita levantarse para alcanzar un lugar alto. Cuando lo hace imprime una carga mínima equivalente a su propio peso. Con fines de cálculo se considera que esta fuerza es aplicada en el centro del travesaño, en el rango que va desde los 40 kg para mobiliario escolar, hasta los 85 kg en mobiliario doméstico de trato ligero.

2.1.4.- Fuerzas de torsión en el asiento

Sucede a menudo que el usuario sentado en una silla apoyándose en el respaldo, gira hacia un lado. Este tipo de esfuerzo que imprime a la silla es de los más desfavorables para la estructura, pues está haciendo trabajar a los ensambles con fuerzas en el sentido perpendicular a su plano principal. Se estima que se imprime a la silla momentos de 10.36 kg.m, cuando un sujeto de 80 kg gira mientras está apoyado en el asiento.



FUERZAS DE TORSION

FIG 2.4

Si se analizan los efectos de esta carga, vemos que el marco del asiento tiende a girar mientras los apoyos de las patas en el piso permanecen en su lugar, es decir, toda la estructura sufre un efecto de torsión que es resistido por los ensambles en sentido horizontal. Se utilizan escuadras de madera atornilladas en las esquinas del marco del asiento para reforzar los ensambles para estos esfuerzos. Por carecer de información suficiente sobre el comportamiento de las armazones con estas cargas, no se diseñan los refuerzos y ensambles en este sentido.

2.1.5.- Cargas en apoyabrazos

Cuando una persona se para de una silla con apoyabrazos, se apoya en ellos ejerciendo un empuje vertical y otro horizontal que tiende a abrirlos. El empuje lateral fluctúa entre 25 y 30 kg cuando un sujeto de 95 a 100 kg de peso se pone de pie. Otras pruebas indican valores entre 20 y 100 kg para esfuerzos laterales que ocurren cuando, por ejemplo, una persona jala o empuja del apoyabrazos de una silla ocupada, con el fin de moverla lateralmente.

El empuje vertical que ejerce una persona al ponerse de pie es relativamente pequeño, comparado con la posibilidad de que una persona se siente sobre el apoyabrazos, en cuyo caso (que es frecuente) le imprime una fuerza equivalente a su peso. Para cargas verticales en apoyabrazos se calcula el valor de 50 kg para mobiliario doméstico de trato ligero, hasta valores de 200 kg para mobiliario público de trato pesado.

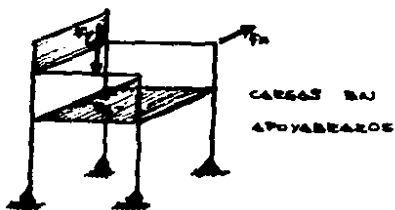


FIG. 2.5

2.1.6.- Fuerzas laterales en las patas

FUERZAS LATERALES EN PATAS

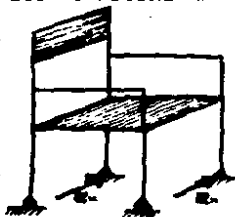


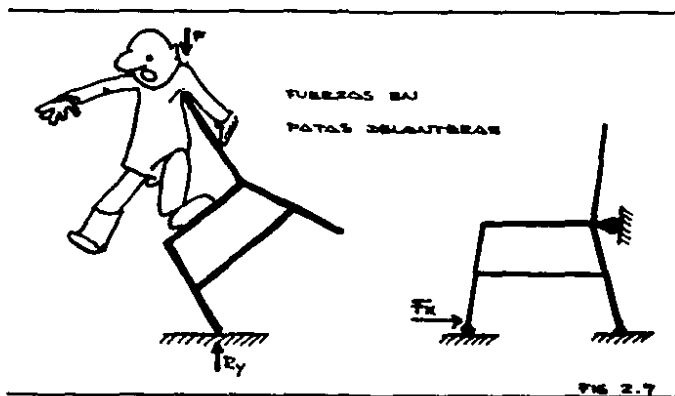
FIG. 2.6

Cuando una persona jala o empuja lateralmente una silla ocupada, se producen fuerzas de reacción en el piso que actúan sobre las patas. También los usuarios suelen inclinarse lateralmente con la silla, lo que provoca esfuerzos laterales en las patas. En estos casos se utilizan valores de 25 y 80 kg para cada pata, siendo correspondientes al mobiliario de uso doméstico ligero y de uso público de trato pesado, respectivamente.

Para el análisis se supone que las fuerzas se ejercen simétricamente y se deben considerar la aplicación de ellas en los dos sentidos.

2.1.7.- Fuerzas horizontales desde adelante hacia atrás en patas delanteras

En condiciones normales de uso no se producen de manera significativa, pero eventualmente sucede que una persona colocada tras una silla desocupada, la inclina hacia adelante y se recarga en el respaldo; o que un niño intente desocupar a otro de la silla, empujándola por el respaldo. En estos casos se puede proceder al análisis para esfuerzos hacia adelante o hacia atrás, con valores entre 15 a 70 kg para cada pata. Para analizar los efectos en estas condiciones de carga, el diagrama de cuerpo libre de la silla debe considerar apoyos como se indican en el diagrama de la Fig. 2.7.



2.1.8.- Fuerzas horizontales desde atrás hacia adelante en patas traseras

Suceden cuando el usuario apoyado en el respaldo, se reclina hacia atrás con todo y silla. En estas condiciones imprime una fuerza horizontal a las patas traseras. Como ya se estudió este caso en cargas en el respaldo, se utilizan los mismos valores de carga en el respaldo, pero distribuidos en cada pata, esto es 17.5 y 70 kg por pata, en uso doméstico ligero y público pesado respectivamente.

2.2.- CARGAS PARA SILLONES

2.2.1.- Cargas verticales

La determinación de las cargas verticales es de gran importancia en el dimensionamiento de armazones de sillones, especialmente para los travesaños longitudinales que son los que absorben el mayor esfuerzo al estar el sillón en uso. Existen varias posibilidades de carga vertical pero principalmente debemos tomar en cuenta el número de personas que se pueden sentar en un sillón de determinada longitud. La condición más crítica en el uso de un sillón se da cuando las personas se sientan apretadamente en el asiento, donde pueden ocurrir casos extremos de carga como sería si además una persona se sienta en las rodillas de otra, o si varias personas se sientan pesadamente en el sillón al mismo tiempo.

Para calcular la capacidad máxima de usuarios de un sillón nos valemos de las medidas antropométricas del ancho de hombros y de caderas, que se encuentran tabuladas en la Tabla 2.1, valores válidos para el 95 percentil de la población atendida por el ISSSTE en México.

TABLA 2.1.- DIMENSIONES ANTROPOMETRICAS DE REFERENCIA

Tipo	Medida max 95 perc.	Ropa		
		Ligera	Mediana	Pesada
Ancho de hombros	46 cm	+1.0	+3.0	+ 7.5 cm
Ancho de caderas (H)	38 cm	+1.5	+4.0	+ 9.0 cm
Peso (H)	85 kg	+1.0	+2.0	+ 3.0 kg

(11)

Por otro lado, Mc. Cormic⁽¹²⁾ indica que un asiento con 48 cm de ancho, acomoda al 85 % de la población con un grado de comodidad razonable en asientos para una persona, pero este valor debe ser revisado para nuestra población. Si consideramos de los datos de la Tabla 2.1 el ancho de hombros de personas vestidas ligeramente (que es el caso que ocuparían menos espacio) se necesita 47 cm por asiento, es decir que una persona de 85 kg imprime una carga uniformemente repartida de 1.81 kg/cm.

(11) PARA MAYOR INFORMACION SOBRE ANTROPOMETRIA DEL ASIENTO Y ANALISIS METEOROLOGICO VEASE "LAS DIMENSIONES HUMANAS EN LOS ESPACIOS INTERIORES" PANARD Y IELNIC, ES 88, 1964

(12) CROGDONIA, MC. CORNIC, ANTROPOMETRIA APLICADA Y ESPACIO DE TRABAJO, ES. 88, 1974

Ahora supongamos un caso extremo, donde las personas se sientan apretadamente, alternándose unos hacia el respaldo y otros hacia la orilla del sillón, cada uno utilizaría 39.5 cm de sillón que es el ancho de caderas de un hombre con ropa ligera, lo que significa una carga repartida de 2.15 kg/cm para estas condiciones de servicio. Para sillones de uso doméstico medio, consideremos el ancho máximo de 46 y mínimo de 38 cm y tomemos como valor apropiado la media, es decir 42 cm, con esta medida (que es menor que el que Mc. Cormic propone) una persona, incluida en el 95 percentil de los derechohabientes del ISSSTE, se puede sentar con un grado de comodidad mínimo aceptable, y con la cual se imprimiría una carga repartida de 2.02 kg/cm.



CARGAS PARA SILLONES

FIG. 2.2

Si queremos ser más exactos en cuanto a la carga total que soporta un sillón de determinada longitud, nos vamos a valer de la medida promedio de 42 cm por persona y a partir de ella tabulamos los valores que se indican en la Tabla 2.2

TABLA 2.2.- CAPACIDAD MAXIMA DE ASIENTOS EN UN SILLON

Largo del sillón	Número de asientos
0.84 - 1.25 m	2
1.26 - 1.67 m	3
1.68 - 2.09 m	4
2.10 - 2.51 m	5

Otras especificaciones son menos exactas, pues toman en cuenta un sólo valor de carga para cualquier longitud de sillón; así cargas estáticas de 97 kg y adicionalmente una carga de repetición de 130 kg, que absorbe la posibilidad de trato pesado.

Por último, consideremos la distribución de las cargas en el asiento. El centro de gravedad de una persona sentada se localiza en diferentes puntos, dependiendo de la postura que adopte el sujeto, de la inclinación del asiento y del respaldo, y del área de apoyo del sujeto en el asiento. Pruebas realizadas por Eckelman para sillones de uso doméstico indican que el centro de gravedad se encuentra aproximadamente a la mitad de la longitud del asiento, por lo tanto los travesaños frontal y posterior del sillón soportan igual carga, ya sea en el acto de tomar asiento o mientras la persona permanece sentada. En base a esta evidencia, parece razonable distribuir la carga vertical en mitades a los dos travesaños.

2.2.2.- Cargas en el respaldo

A pesar de que estas cargas son similares a las aplicadas en el respaldo de sillas, es necesario determinar cuántas cargas son aplicadas en el sillón, dependiendo de su longitud. La Tabla 2.2 nos da el número de personas que admite el sillón según su longitud. El valor de las cargas horizontales por persona puede variar, según Eckelman, entre 34, 66 y 102 kg para mobiliario doméstico de trato ligero, medio y pesado respectivamente. Así, un asiento para trato ligero con capacidad para tres personas, recibe una carga horizontal en el respaldo de 102 kg. Este valor sirve para analizar la resistencia del travesaño superior del respaldo a la flexión horizontal, ya que por lo general suele considerarse únicamente la resistencia a la flexión vertical producida por cargas verticales.

2.2.3.- Fuerzas horizontales en el apoyabrazos

Por lo general este tipo de cargas no son consideradas en el diseño de sillones. Ocurren cuando un sillón es empujado o jalado por el apoyabrazos. Por la naturaleza del armado, es difícil diseñar apoyabrazos que resistan magnitudes muy grandes de estas fuerzas por tanto se considera apropiado utilizar un valor de 25 kg para estas fuerzas.

2.3.- CARGAS PARA ENTREPAÑOS DE AMAQUELES Y LIBREROS

Cuando se aplican cargas verticales en entrepaños de alacenas, libreros, etc., éstas por lo general son uniformemente repartidas. En casos de disposiciones no uniformes se debe tomar en cuenta las posibilidades más desfavorable como es una carga concentrada a la mitad del claro o luz. Los entrepaños deben ser analizados como si se trataran de vigas simplemente apoyadas en

sus extremos, como lo indica la Fig. 2.9.

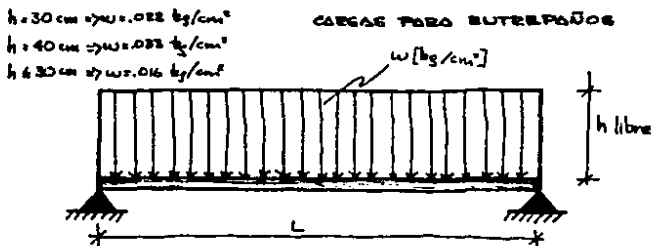


FIG. 2.9

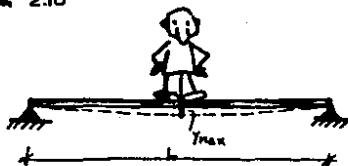
Las cargas que se ejercen sobre los entrepaños de un librero dependen de su largo, ancho y de la altura libre sobre él. En muchos casos, sin embargo, los entrepaños de un librero son dimensionados de manera uniforme, es decir todos los entrepaños son del mismo espesor, por tanto cualquiera de ellos debería ser capaz de soportar las cargas más grandes que se hayan considerado.

Una especificación de Eckelman indica una carga de 0.022 kg por cada centímetro cuadrado de entrepaño cuando éste tiene una altura libre de 30 cm. Asumamos un entrepaño de 25 cm de ancho y 120 cm de largo, según esta especificación el entrepaño recibirá una carga de: $0.022 (25 \times 120) = 66 \text{ kg}$. Si consideramos que se trata de una carga uniformemente repartida a lo largo del entrepaño, entonces ésta tendría un valor de 0.55 kg/cm.

Quando el entrepaño tiene una altura de 40 cm se considera una carga de 0.033 kg/cm², como sería el caso de anaqueles con grandes libros en una biblioteca. Para entrepaños con altura libre menor a 30 cm y de uso doméstico se recomienda utilizar una carga de 0.016 kg/cm².

Las flechas máximas de deformación a la mitad del entrepaño están limitadas a 0.35 % de su longitud, después de siete días de duración de la carga. Una norma más estricta, para un grado de calidad superior, permite una flecha máxima de 0.20 % de la longitud del entrepaño.

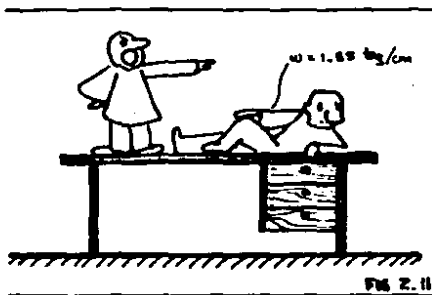
FIG. 2.10



$$y_{max} \leq \begin{matrix} 0.35\% L \\ 0.20\% L \end{matrix}$$

2.4.- CARGAS PARA MESAS Y ESCRITORIOS

2.4.1.- Cargas verticales.-



Las cargas de trabajo para mesas y escritorios dependen principalmente del uso para el cual están destinados y de las posibilidades de trato pesado que puedan tener en su uso. Por ejemplo, una de las condiciones de trato pesado más frecuentes sucede cuando las personas se sientan sobre el tablero de la mesa o escritorio. Al suceder esto, la estructura debe soportar una carga repartida no menor de 1.85 kg/cm en el sentido longitudinal del mueble.

Para la fabricación de escritorios metálicos existen especificaciones estadounidenses que indican considerar cargas concentradas de 270 kg en el centro del travesaño frontal, lo que equivale a una carga repartida de 1.8 kg/cm en un escritorio de 150 cm de largo, carga algo menor que la propuesta.

2.4.2.- Fuerzas horizontales

Se ejercen en este tipo de mobiliario cuando, por ejemplo, una persona empuja una mesa deslizándola sobre el piso. Las condiciones de carga pueden llegar a ser peligrosas cuando al ser empujada dicha mesa, una de sus patas se atora con algún obstáculo del piso, en ese instante la reacción del piso produce un momento flector muy grande que actúa en el ensamble de la pata con los travesaños del marco.

Pruebas realizadas por Eckelman indican que la fuerza máxima de empuje horizontal que una persona puede ejercer sobre una mesa es de alrededor de 110 kg, claro que esta magnitud es una referencia para el valor máximo y no quiere decir que deba tomarse en cuenta en todo tipo de mesas y escritorios, sino únicamente en aquellos casos en que exista la posibilidad de trato pesado del mueble de uso público. Para mobiliario doméstico se debe considerar fuerzas horizontales en mesas y escritorios en el rango de 25 a 45 kg, dependiendo del trato ligero o pesado a que sean sometidos.

Cuando se consideran fuerzas laterales aplicadas en mesas y escritorios, se debe determinar la manera cómo se distribuyen las fuerzas internas en la estructura. Es decir hay que determinar si las cuatro patas están apoyadas en el piso mientras la fuerza es aplicada, o si se apoya sólo en dos; o más aún, si una de las

patas se atora mientras la mesa es empujada, la fuerza de reacción es mayor que en los casos anteriores. En el análisis estructural de la armazón, se elegirá el caso de apoyo dependiendo de las condiciones de uso a que sea destinado el mueble, por ejemplo se consideran fuerzas horizontales de 110 kg para cada pata cuando se trata de mobiliario de uso público que va estar siendo movido continuamente en una superficie alfombrada, mientras que considerar fuerzas de 25 kg en cada pata es apropiado para mobiliario doméstico de trato medio.

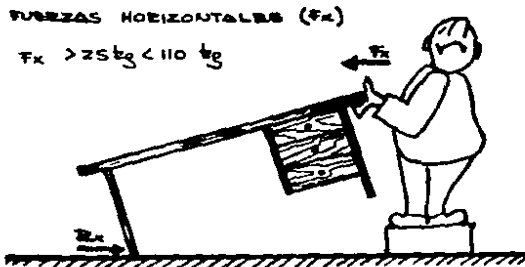


Fig. 2.12

2.4.3.- Cargas en cajones

Las cargas que resisten los cajones de un escritorio o gaveta pueden ser calculados multiplicando el espacio útil del cajón por el factor 0.00064 kg/cm³. Este factor representa el peso unitario de los materiales de papelería que pueden estar contenidos en el espacio útil del cajón.

Otras especificaciones indican considerar cargas de 10 kg en cajones de escritorio y 25 kg en archivadores. Estos valores son menores a los que obtendríamos utilizando el factor mencionado; por ejemplo, un cajón de archivador para forliders tamaño carta, de 23 x 31 x 70 cm, es decir con una capacidad de 49 910 cm³, soportaría una carga de 32 kg.

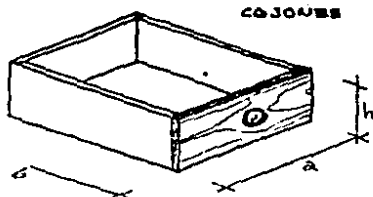


Fig. 2.13

2.5.- CARGAS PARA CAMAS

Para camas individuales de adultos se pueden considerar cargas verticales estáticas de 85 kg y dinámicas de 170 kg. Para camas matrimoniales estos valores se duplican. Un caso extremo se puede presentar cuando varias personas se sientan apretadamente en uno de los largueros longitudinales de la cama, en cuyo caso podemos considerar una carga uniformemente repartida de 1.85 kg/cm en el sentido longitudinal de la cama.

Las cargas horizontales consideradas se asemejan a las aplicadas en mesas y escritorios, por tanto se deben considerar fuerzas horizontales en el rango de 25 a 45 kg, dependiendo del trato ligero o pesado a que sean sometidos. Muchos tipos de camas, se fabrican con herrajes y mecanismos que permiten desarmar los componentes del mueble, en cuyo caso son estos herrajes los que soportan la mayor parte de los esfuerzos de trabajo en los ensambles y se debe diseñarlos tomando en cuenta sus características de resistencia. Lastimosamente se carece aún de esta información sobre este tipo de herrajes.

Para concluir es necesario enfatizar nuevamente que ninguno de los valores de cargas de trabajo que se han expuesto en este capítulo, deben ser considerados ciegos y absolutamente, ni deben ser tratados como propuestas invariables y definitivas. Son más bien presentados con el propósito de establecer unas condiciones y rangos generales de cargas para proceder con el análisis estructural.

De esta manera se intenta plantear las diferentes posibilidades que deben analizarse en este punto del proceso de diseño estructural tal que en un futuro ayuden al diseñador a desarrollar y seleccionar el conjunto de solicitaciones que se presentan en un mueble determinado. Debido a lo extenso de la materia, no es práctico describir todas las posibilidades de carga de cada tipo de mueble. La falta de información es un impedimento que será superado con los aportes de instituciones dedicadas a estas disciplinas y de las inquietudes y logros de quienes se dediquen a la práctica de la ingeniería del mueble.

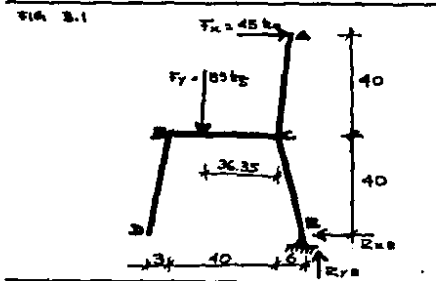
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMAZONES

3

3.1.- ARMAZONES ISOSTÁTICAS O ESTÁTICAMENTE DETERMINADAS

La descripción de los diferentes tipos de apoyos de la Sección 1.2 (Fig. 1.6), indica que en un empotramiento existen tres componentes desconocidas de reacción (R_x , R_y , M), en un apoyo articulado existen dos (R_x , R_y), y en un apoyo deslizante uno (R_y). Si al analizar cierta armazón, el número total de componentes de reacción es igual al de las ecuaciones de equilibrio estático disponibles, las incógnitas se pueden calcular y se dice entonces que la estructura es isostática o estáticamente determinada.

Analicemos la silla de la Fig. 3.1. En esta silla se han hecho las siguientes consideraciones: se toma 85 kg como carga estática vertical y 45 kg como carga horizontal del respaldo. Consideramos que estos valores se duplican al ser aplicados dinámicamente. Vamos a analizar el pòrtico izquierdo de la silla que, por tratarse de una estructura simétrica, recibe la mitad de las cargas.



El sujeto sentado está en equilibrio, reclinando la silla en sus patas traseras. Es decir que el apoyo D no está en contacto con el piso. Por simple inspección vemos que la reacción vertical en E será igual a 85 kg, y que la reacción horizontal en E será 45 kg.

Nos interesa conocer los momentos internos que trabajan en el ensamble C por ser el más desfavorable. Para ello analizamos separadamente los momentos que producen las diferentes fuerzas externas, cuando tenemos como centro de momentos el punto C. Tomamos como positivos los giros en sentido antihorario.

$$\begin{aligned} F_y = 0 &; 85 - R_{ye} = 0 &; R_{ye} = 85 \text{ kg} \\ F_x = 0 &; 45 - R_{xe} = 0 &; R_{xe} = 45 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ce} &= + 8 \times 85 - 45 \times 40 = -1290 \text{ kg.cm} \\ M_{ca} &= - 40 \times 45 = -1800 \text{ kg.cm} \\ M_{cs} &= + 36.35 \times 85 = +3090 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

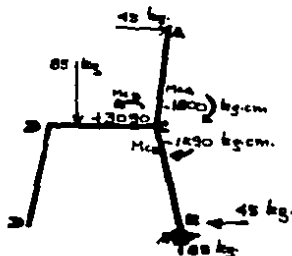
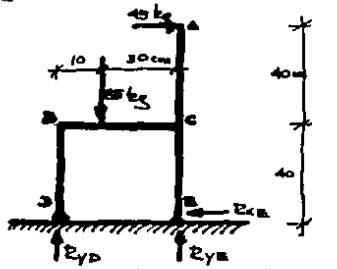


Fig. 3.2



Tomemos ahora el caso de la silla que se ilustra en la Fig. 3.2. La silla apoya sus patas en el piso. El primer paso es calcular las reacciones mediante las ecuaciones del equilibrio estático. Al aplicar la ecuación $\sum M=0$, generalmente puede seleccionarse como centro de momentos un punto tal que las líneas de acción de todas las fuerzas desconocidas, excepto una, pasen por ese punto.

En este caso calcularemos R_y , a partir de la sumatoria de momentos en el punto E, y luego calcularemos las componentes de reacción en E empleando las ecuaciones de equilibrio de fuerzas en el eje X y en el eje Y.

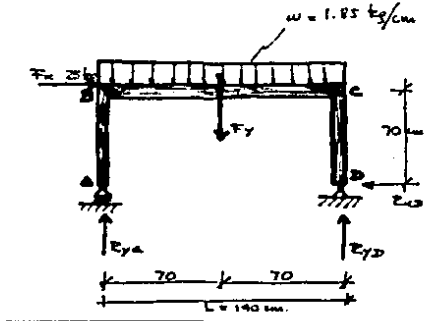
$$\begin{aligned} M_e = 0 &; - 40 R_y + 30 \times 85 - 80 \times 45 = 0 &; \\ & R_y = 1050/40 = 26.25 &; R_y = 26.25 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y = 0 &; + 85 - 26.25 - R_{ye} = 0 &; R_{ye} = 58.75 \text{ kg} \\ F_x = 0 &; + 45 - R_{xe} = 0 &; R_{xe} = 45.00 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ce} &= - 45 \times 40 &= - 1800 \text{ kg.cm} \\ M_{ca} &= - 45 \times 40 &= - 1800 \text{ kg.cm} \\ M_{cs} &= + 85 \times 30 + 26.25 \times 40 &= + 3600 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

Existen varios tipos de muebles que utilizan este sistema de estructuras isostáticas, como camas, mesas, bancos, etc, que pueden ser analizados similarmente a los ejemplos vistos. El primer paso es, siempre, determinar las fuerzas de reacción, y posteriormente calculamos los momentos internos con que trabajan los miembros estructurales.

FIG. 3.3



Para la estructura de mesa de la Fig. 3.3 vamos a considerar que se aplica una carga uniformemente repartida de 1.85 kg/cm. El apoyo de la pata izquierda es deslizante, por lo que no tiene reacción en X, es decir que asumimos que toda la reacción horizontal del piso va a absorber el apoyo de la pata derecha. Primero calculamos la fuerza puntual que ejerce la carga distribuida a la mitad de su longitud y a continuación procedemos como en los otros ejemplos: calculamos las reacciones y los momentos internos en el ensamble C.

$$F_y = w \cdot L ; F_y = 1.85 \times 140 = 259 \text{ kg}$$

$$M_0 = -140 R_{yA} + 70 \times 259 - 70 \times 25 = 0 ; F_{yA} = 16380/140 = 117 \text{ kg}$$

$$F_y = 259 - 117 - R_{yD} = 0 ;$$

$$F_x = 25 - R_{x0} = 0 ;$$

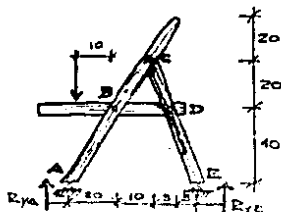
$$R_{yD} = 259 - 117 = 142 \text{ kg}$$

$$R_{x0} = 25$$

$$M_{c0} = -70 \times 25 = 1750 \text{ kg cm}$$

$$M_{c0} = -117 \times 140 + 259 \times 70 = 1750$$

FIG. 3.4



Todas las armazones articuladas pueden calcularse estáticamente. Por ejemplo en la silla de la Fig 3.4 hacemos una sumatoria de momentos con centro en E y calculamos la reacción R_{yA} . Calculamos R_{yD} con la sumatoria de fuerzas en Y.

Finalmente analizamos los momentos internos que afectan a la pata trasera en el punto D, a la pata delantera en B y al asiento también en el punto B:

$$M_x = - 45 R_{y_a} + 35 \times 85 = 0 ; \quad R_{y_a} = 2975/45 = 66.11 \text{ kg}$$

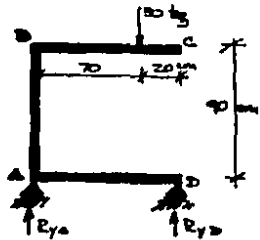
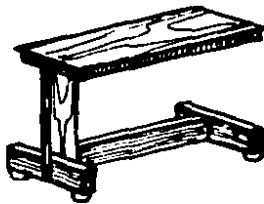
$$F_y = + 85 - 66.11 - R_{y_c} = 0 ; \quad R_{y_c} = 85 - 66.11 = 18.89 \text{ kg}$$

$$M_{B_c} = + 10 \times 18.89 = + 188.90 \text{ kg.cm}$$

$$M_{D_a} = - 20 \times 66.11 = - 1322.20 \text{ kg.cm}$$

$$M_{B_c} = + 10 \times 85.00 = + 850.00 \text{ kg.cm}$$

FIG. 3.5



La mesa de hospital de la Fig. 3.5 parece ser otro tipo de estructura a las anteriormente analizadas, sin embargo es el mismo caso, sino que girado 90° . Momentos críticos se producen en los ensambles A y B.

$$M_x = - 90 R_{y_a} - 20 \times 50 = 0 ; \quad R_{y_a} = 1000/90 = 11.11 \text{ kg}$$

$$F_y = + 50 - 11.11 - R_{y_c} = 0 ; \quad R_{y_c} = 50 - 11.11 = 38.89 \text{ kg}$$

Los momentos flectores que actúan en los tramos BC y AD, en los ensambles B y A respectivamente son:

$$M_{B_c} = - 50 \times 70 = - 3500 \text{ kg.cm}$$

$$M_{D_a} = - 90 \times 38.89 = + 3500 \text{ kg.cm}$$

3.2.- ARMAZONES HIPERESTATICAS O ESTATICAMENTE INDETERMINADAS

Cuando las fuerzas internas y momentos que actúan en una estructura no pueden ser determinados únicamente a partir de las leyes de equilibrio estático, es decir son estructuras estáticamente indeterminadas, es necesario valernos de una serie de procedimientos que toman en cuenta las propiedades elásticas del material como son el módulo de elasticidad, su rigidez, etc. Estos procedimientos hiperestáticos parten de una suposición de las dimensiones de la sección transversal de los elementos estructurales para determinar los momentos internos que actúan en ellos.

Entre los métodos de análisis de estructuras estáticamente indeterminadas el más apropiado para los fines que perseguimos es el método de Cross, pues a más de ser sencillo, permite su aplicación en cualquier estructura continua, lo que posibilita analizar diferentes tipos de mobiliario. Entonces, vamos en qué consiste el método de Cross y a continuación realizaremos una ejemplificación explicativa del procedimiento.

3.2.1.- METODO DE CROSS:

En 1930, el profesor Hardy Cross dió a conocer el método de distribución de momentos, luego de haberlo enseñado a sus alumnos en la Universidad de Illinois desde el año de 1924. Esto marcó el cominezo de una nueva época en el análisis de las estructuras estáticamente indeterminadas, dando un mayor impulso al empleo de estos sistemas estructurales. El método de distribución de momentos aplicado a estructuras continuas, proporciona una exactitud equivalente a la obtenida con los métodos exactos clásicos pero que son mucho más tardados y laboriosos, pues implican la resolución de ecuaciones simultáneas difíciles de manejar. Las ventajas de este método práctico y rápido se deben a su sencillez teórica y de aplicación.

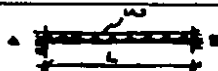
El método de Cross sirve para determinar el valor de los momentos internos que se producen en la armazón, debido a la aplicación de las cargas de trabajo. Este método implica ciclos de cálculos sucesivos que van aproximando los resultados hacia la respuesta correcta. Las operaciones pueden suspenderse después de dos o tres ciclos, dando un análisis aproximado muy satisfactorio, o bien, pueden continuarse, según la precisión deseada.

El análisis por el método de Cross se refiere a estructuras continuas, es decir, que las diversas piezas que concurren a un nudo están perfectamente ensambladas en sus extremos (empotradas), sin desplazamientos ni giros. Consideremos elementos estructurales de sección constante en toda su longitud.

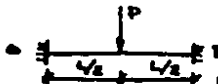
Los términos siguientes se emplean constantemente al analizar estructuras con el método de Cross:

Momentos de empotramiento perfecto.- Cuando todos los nudos de una estructura están perfectamente fijos para impedirles cualquier rotación, las cargas externas producen ciertos momentos flexionantes en los extremos de los elementos que las soportan. Dichas cantidades se denominan momentos de empotramiento perfecto. En la Fig. 3.6 se presentan fórmulas para el cálculo de los momentos de empotramiento perfecto según diversos tipos de condiciones de apoyo y carga. Si se requieren los momentos de empotramiento en un mismo tramo sujeto a diferentes condiciones de carga, se calcularán por separado para después sumarlos.

Fig. 3.6



$$M_A = M_B = -\frac{wL^2}{12}$$

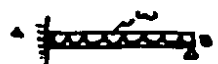


$$M_A = M_B = -\frac{Pl}{8}$$



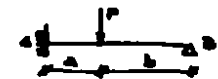
$$M_A = -\frac{Pab^2}{L^2}$$

$$M_B = -\frac{Pa^2b}{L^2}$$



$$M_A = -\frac{wL^2}{8}$$

$$M_B = 0$$



$$M_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{2L^2}$$

$$M_B = -\frac{Pab}{L^2} \left(b + \frac{L}{2} \right)$$

Momento de desequilibrio.- Los diversos momentos de empotramiento de las piezas concurrentes en un nudo, producirán un momento de desequilibrio, que será igual a la suma algebraica de dichos momentos. Los nudos de una estructura se consideran inicialmente fijos. Cuando se libera alguno, gira debido a que la suma de los momentos de empotramiento en el nudo es diferente a cero.

Momento de equilibrio.- Para evitar el desplazamiento del nudo, deberá aplicársele un momento igual y opuesto en signo, llamado momento de equilibrio, que deberá ser distribuido entre las piezas del nudo en proporción directa a la resistencia de cada una de ellas.

Momentos distribuidos.- Es el momento de equilibrio que absorbe cada miembro. Depende directamente del momento de inercia (I) de la sección transversal, e inversamente a su longitud (L); a la relación I/L se le llama coeficiente de rigidez. El coeficiente de rigidez representa el valor del momento capaz de hacer girar una unidad angular el extremo de una pieza en que se aplica el momento. El valor de la rigidez depende de las condiciones de apoyo en el extremo que permanece fijo; cuando el extremo fijo está empotrado (K), o cuando tiene un apoyo articulado (K'). Se considera que una pieza con apoyo articulado tiene una rigidez (K') equivalente a 0.75 del valor de cuando está empotrada (K):

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Ec. 3.1



$$K = \frac{4 E I}{L}$$

Ec 3.2a

$$K = \frac{I}{L}$$

Ec 3.2b

$$K' = \frac{3 E I}{L}$$

Ec3.3a

$$K' = \frac{3 I}{4 L}$$

Ec 3.3b

donde:

I = Momento de inercia de la sección transversal (b x h)

K = Rigidez en tramos doblemente empotrados

K' = Rigidez en tramos con una articulación

E = Modulo de elasticidad

L = Longitud del elemento

Como en la distribución de momentos lo que interesa es la relación entre las rigideces de las piezas concurrentes en un nudo, se puede trabajar con valores relativos como los de las Ec. 3.2b y 3.3b, donde se asume el módulo de elasticidad E con valor de uno cuando todos los miembros estructurales son del mismo material.

Momento de transporte.- Al tomar cada pieza su parte proporcional del momento de equilibrio, se induce en su extremo contrario cierto valor de momento, llamado de transporte, que deberá sumarse a los momentos de empotramiento de las piezas concurrentes del nuevo nudo, y los de transporte que aparezcan de la consideración de los demás nudos.

Teóricamente se trata de ir eliminando las restricciones

externas (momentos de empotramiento perfecto producidos por las cargas de trabajo), permitiendo la continuidad de cada nudo. Si su suma de momentos en el nudo no es cero, éste tratará de girar. Esta suma algebraica nos dará el valor del momento equilibrante que deberemos aplicar en el nudo para equilibrarlo, siendo su distribución y transporte sucesivos, los que permitirán el equilibrio final de la estructura. ¿Está claro? ¿no?, pues veamos un caso práctico para ejemplificar el procedimiento.

Analicemos una silla como la de la Fig. 3.7 con las dimensiones que constan en ella. Se han realizado las siguientes consideraciones de carga: una carga vertical estática de 85 kg aplicada a 36.35 cm de C, una carga horizontal en el respaldo de 45 kg aplicada a 40 cm del ensamble C. Las cargas dinámicas duplican estos valores. La silla es simétrica por tanto su pórtico izquierdo recibe la mitad de la carga total. La silla está apoyada en el suelo únicamente en sus patas traseras.

La secuela de análisis es la siguiente:

- 1.- INERCIAS
- 2.- RIGIDECES
- 3.- FACTORES DE DISTRIBUCION
- 4.- MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO
- 5.- DISTRIBUCION

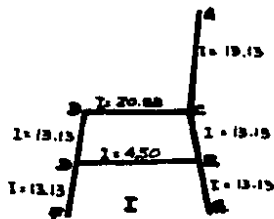
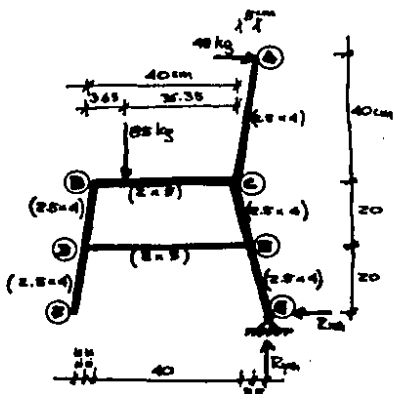
1.- INERCIAS (I).- Calculamos los momentos de inercia de cada tramo con la Ec. 3.1 y anotamos los valores en el diagrama.

$$\begin{aligned}
 I_{AC} &= (2.5 \times 4^3)/12 = 13.13 \\
 I_{BC} &= (2 \times 5^3)/12 = 20.83 \\
 I_{DE} &= (2 \times 3^3)/12 = 4.50 \\
 I_{CE} &= I_{BE} = 13.13 \\
 I_{BD} &= I_{DF} = 13.13
 \end{aligned}$$

2.- RIGIDECES (K).- Para aplicar las fórmulas de la rigidez, primero necesitamos calcular las longitudes reales de los tramos AC, CE, EG, BD y DF, utilizando el teorema de pitágoras.

$$\begin{aligned}
 CA^2 &= 5^2 + 40^2 ; & CA &= 40.45 \text{ cm} \\
 BD^2 &= 2.5^2 + 20^2 ; & BD &= 20.16 \text{ cm} \\
 CE^2 &= 5^2 + 20^2 ; & CE &= 20.62 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

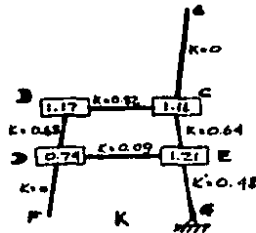
Fig. 3.7



$$\begin{aligned} DF &= BD = 20.16 \text{ cm} \\ EG &= CE = 20.62 \text{ cm} \end{aligned}$$

Reemplazamos los valores de I y L de cada tramo en las ecuaciones 3.2b y 3.3b. Sabemos que las condiciones de apoyo influyen en la rigidez, así que los tramos doblemente empotrados (BC, DB, DE y CE) utilizarán la Ec. 3.2b, y el tramo EG que tiene un extremo articulado utilizará la Ec. 3.3b. Los tramos CA y DF, por estar trabajando como vigas en voladizo, no son tomados en cuenta en la distribución de momentos, por lo que podemos considerar su rigidez como cero. En el diagrama se anotan los valores de rigidez de cada tramo, y se suman las rigideces de los tramos que convergen en cada nudo.

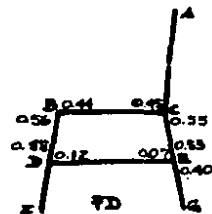
$$\begin{aligned} K_{bc} &= 20.83/40.31 = 0.52 \\ K_{db} &= 4.5/47.5 = 0.09 \\ K_{de} &= 13.13/20.16 = 0.65 \\ K_{ce} &= 13.13/20.62 = 0.64 \\ K'_{eg} &= 0.75 \times 13.13/20.62 = 0.48 \end{aligned}$$



3.- FACTORES DE DISTRIBUCION (FD).— Para determinar el momento de equilibrio que toma cada uno de los elementos concurrentes en un nudo, se suman las rigideces relativas de dicha junta, y se supone que cada tramo resiste una porción del momento de equilibrio igual a su valor de K dividido entre la suma de todos los valores de K para ese nudo. Estas fracciones del momento de equilibrio resistidas por cada uno de los elementos, se evalúan con los llamados factores de distribución (FD)

$$FD = \frac{K_{ELEMENTO}}{K_{NUDO}} \quad \text{Ec. 3.4}$$

En consecuencia, cada momento distribuido es igual al producto del momento equilibrante por el factor de distribución respectivo.



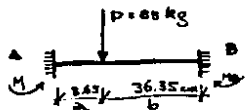
$$\begin{aligned} FD_{bc} &= 0.52/1.17 = 0.44 \\ FD_{db} &= 0.65/1.17 = 0.56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FD_{bc} &= 0.65/0.74 = 0.88 \\ FD_{de} &= 0.09/0.74 = 0.12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FD_{ce} &= 0.52/1.16 = 0.45 \\ FD_{ce} &= 0.64/1.16 = 0.55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FD_{de} &= 0.09/1.21 = 0.07 \\ FD_{ec} &= 0.64/1.21 = 0.53 \\ FD_{eg} &= 0.48/1.21 = 0.40 \end{aligned}$$

4.- MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO.- Calculamos los valores de los momentos producidos por las cargas de trabajo. Nos valemos de las expresiones de la Fig. 3.7, donde constan las condiciones de apoyos y cargas más frecuentes.

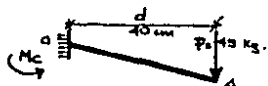


$$M_A = - \frac{Pab^2}{L^2}$$

$$M_B = - \frac{Pa^2b}{L^2}$$

$$M_A = + \frac{Pab^2}{L^2} = + \frac{85 \times 3.65 \times (36.35)^2}{40^2} = + 256.21 \text{ kg.cm}$$

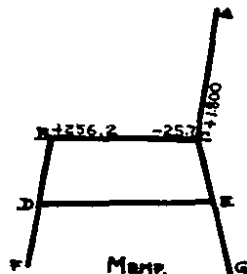
$$M_B = - \frac{Pa^2b}{L^2} = - \frac{85 \times (3.65)^2 \times 36.35}{40^2} = - 25.73 \text{ kg.cm}$$



$$M_A = P \times d$$

$$M_A = P \times d = 45 \times 40 = 1800 \text{ kg.cm}$$

De tal manera que en el diagrama se anotan los valores de momento de empotramiento junto a su respectivo extremo de los tramos analizados. Estos son los valores de partida para la distribución.



5.- DISTRIBUCION.- La distribución consiste en ir soltando y equilibrando los nudos de una estructura. Soltar un nudo consiste en liberar a los momentos de empotramiento o de transporte que actúan en un nudo. El momento desequilibrante, que en estas condiciones produciría un giro, va a ser equilibrado sumando un momento igual pero de signo contrario, que se distribuye a cada extremo de los miembros del nudo según su factor de distribución. Al hacer esto hemos equilibrado el nudo. En el diagrama señalamos un nudo equilibrado con una línea sobre o bajo los valores de los momentos distribuidos, según sea el sentido ascendente o descendente en que se lleve la notación.

En nuestro ejemplo, vamos a considerar la primera pasada o ciclo de distribución. Comenzamos por el nudo C por ser el que está más

desequilibrado y seguidamente se analizarán los nudos B, D y E.

Soltamos en nudo C. El momento de desequilibrio es la suma algebraica de los momentos de empotramiento en los extremos C de las piezas CB y CA ($+1800 - 25.7 = +1774.3$). Para equilibrar este nudo vamos a sumarle un momento de -1774.3 , distribuido a cada extremo según los factores de distribución (Fig. 3.8):

$$CB = -1774.3 \times 0.45 = -798.4$$

$$CE = -1774.3 \times 0.55 = -975.9$$

El nudo está equilibrado, lo señalamos en el diagrama con una raya a continuación de los momentos distribuidos. Al aplicar los momentos distribuidos se transmiten a los extremos opuestos de las piezas un momento que depende del factor de transporte. Para vigas de sección constante este factor es 0.5, por tanto se transportan

$$Mt_1 = 0.5 \times 975.9 = -488.0 \text{ al extremo E del tramo CE, y}$$

$$Mt_2 = 0.5 \times 798.4 = -399.2 \text{ al extremo B del tramo BC.}$$

A continuación soltamos el nudo B, realizamos el mismo procedimiento: el momento desequilibrante es ($+256.2 - 399.2 = -143$) por lo que cambiado de signo y distribuidos por los FD 0.44 y 0.56 tenemos momentos de $+62.9$ en BC que transporta $+31.5$ al extremo C, y $+80.1$ en BD que transporta 40.1 al extremo D. Hacemos igual cosa en los nudos D y en E para completar la primera pasada de distribución. Nótese que al equilibrar los nudos B y E se transportan momentos al nudo C que lo desequilibran, por lo que es necesario equilibrarlo nuevamente, realizándose tantas pasadas como precisión se requiera.

FIG 3.8

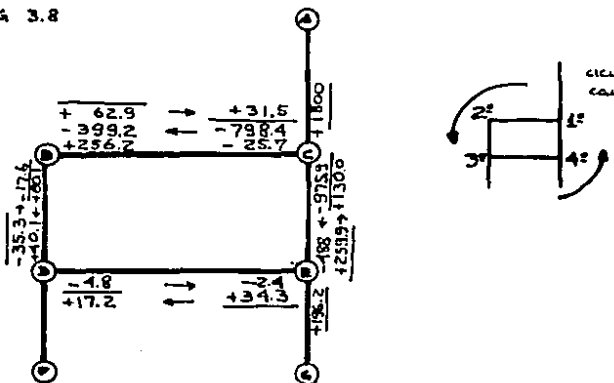
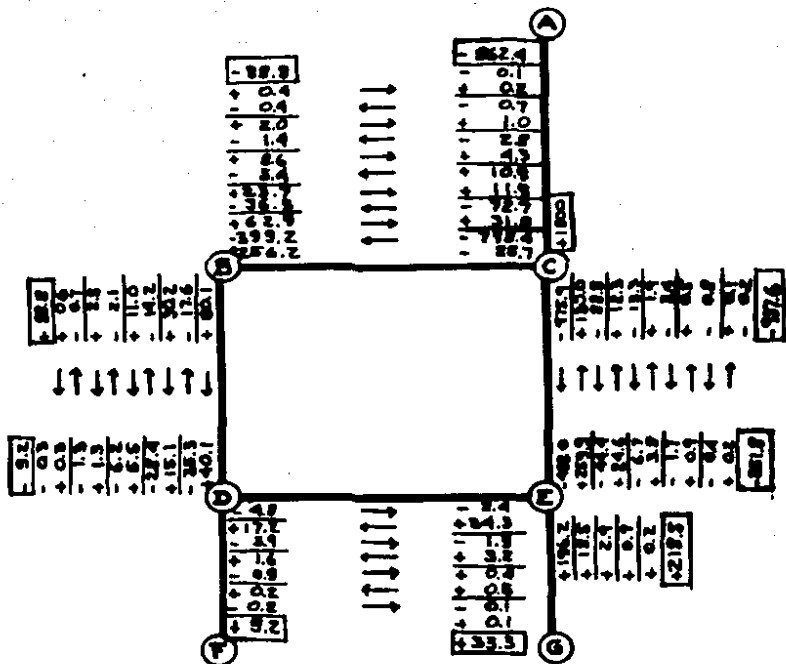


FIG 3.9



En la Fig. 3.9 se han anotado los valores de la primera pasada y a continuación los valores de distribución de varios ciclos o pasadas, hasta obtener aproximaciones de los valores de un decimal. Finalmente, los valores de momentos internos con que trabajan las partes de la estructura se evalúan sumando todos los valores de momentos de empotramiento, de distribución y transporte en cada extremo analizado. En el diagrama se lo señala encerrado en un rectángulo.

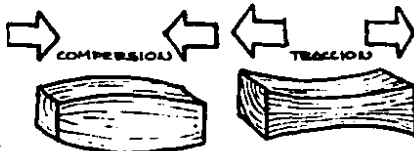
3.3.- CALCULO DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO (ET)

Una vez analizadas las fuerzas internas que actúan en los miembros del armazón, se pueden calcular las fuerzas por unidad de área que soportan dichos miembros, para comparar esas magnitudes con las cargas permisibles, también unitarias, del material utilizado. De esta manera se puede detectar si es necesario redimensionar ciertas piezas, ya sea porque han sido sobredimensionadas, o porque el esfuerzo de trabajo de una pieza ha excedido el esfuerzo permisible de la madera utilizada, incrementando el riesgo de falla de la pieza, en las condiciones de uso consideradas.

Ciertas piezas, como ya se dijo anteriormente, pueden ser sobredimensionadas con criterios funcionales, estéticos o de otro tipo, casos en que interesa averiguar cuánta carga son capaces de resistir dichas piezas. En cambio, cuando las piezas tienen únicamente una función estructural, como sería el caso de armazones de muebles tapizados, lo ideal será dimensionar las piezas exactamente para cumplir con las consideraciones de carga. Recordemos que el objetivo general que persigue la ingeniería del mueble es llegar a un diseño óptimo de la estructura, donde se utilice solamente el suficiente material para producir un mueble capaz de soportar, con un margen de seguridad razonable, las especificaciones de carga en condiciones de un uso determinado.

Entonces, para dimensiones las diferentes piezas de una armazón, las fuerzas internas que actúan en los extremos de ellas, deben primeramente traducirse a esfuerzos unitarios, es decir deben relacionarse con la cantidad de material que existe en la sección transversal de la pieza. Así averiguamos cuánto esfuerzo está realizando cada centímetro cuadrado de material, para poder comparar con el esfuerzo unitario permisible (o de diseño) del material a utilizar, en nuestro caso madera. Vamos a considerar cuatro tipos de esfuerzos: esfuerzos axiales (de compresión y tracción), esfuerzos de flexión, de corte y de torsión. Para su estudio se han considerado piezas de madera con las fibras paralelas a su eje longitudinal. Las unidades de los esfuerzos estarán dados en kg/cm^2 .

3.3.1.- Esfuerzos de trabajo axiales (ET_a)



Se producen cuando actúan fuerzas paralelas al eje longitudinal de la pieza. Pueden ser de compresión o tracción, dependiendo del sentido en que actúan esas fuerzas. Su esfuerzo unitario se calcula con la expresión:

$$ET_a = \frac{F}{A}$$

Ec. 3.5

$$A = b \cdot h$$

donde:

- ET_a = Esfuerzo de trabajo axial en kg/cm^2 .
 F = Fuerza axial de compresión ó tracción. [kg]
 A = Sección transversal de la pieza ($b \times h$) [cm^2]

3.3.2.- Esfuerzos de trabajo a flexión (ET_f)



FIG. 3.11

Por lo general, son los esfuerzos más importantes que actúan en una pieza estructural, por lo tanto, son los más críticos y los que se toman en cuenta en primer término en el dimensionamiento. Se producen por el efecto de los momentos flectores que actúan en los extremos de la pieza. Para piezas de sección rectangular, los esfuerzos de flexión pueden calcularse con la expresión 3.4:

$$ET_f = \frac{6 M}{b \cdot h^2}$$

Ec. 3.4



donde:

- ET_f = Esfuerzo de trabajo de flexión [kg/cm^2]
 M = Momento flector [$\text{kg} \cdot \text{cm}$]
 b = espesor de la pieza [cm]
 h = ancho de la pieza [cm]

Se debe tener la precaución de considerar esta simbología, siempre que h sea perpendicular al eje de acción del momento; en caso de que sea paralelo se debe considerar h como el espesor y b como el ancho de la pieza, como lo indica la Fig. 3.11

En caso de analizar piezas sblidas de sección circular, el esfuerzo máximo de flexión está dado por la expresión 3.5:

$$ET_{f,s} = \frac{10.2 M}{D^3}$$

Ec.3.5

donde:

- ET, ϕ . Esfuerzo de trabajo de flexión para secciones circulares.
 D = Diámetro de la sección

3.3.3.- Esfuerzo de trabajo a corte (ET_v)

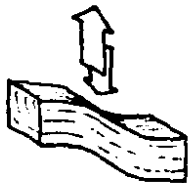


FIG. 3.12

Los esfuerzos cortantes en una pieza estructural se producen por la acción de las fuerzas cortantes perpendiculares al eje longitudinal del miembro. En una pieza de madera sometida a cargas transversales, las fuerzas cortantes producen esfuerzos cortantes en los planos perpendicular y paralelo al eje de la pieza.

La madera tiene considerable resistencia a los esfuerzos cortantes perpendiculares a la fibra, sin embargo su resistencia a esfuerzos cortantes paralelos a la fibra es baja. Puesto que las piezas estructurales se fabrican de manera que las fibras quedan orientadas en sentido paralelo a su eje longitudinal, cuando la fuerza cortante resulta crítica, provoca fallas en esos planos, debido a la transmisión de los esfuerzos cortantes. Los esfuerzos cortantes se revisan con la expresión 3.6, para materiales elásticos de sección rectangular.

$$ET_v = \frac{3 V}{2 b \cdot h}$$

Ec. 3.6

donde:

- ET_v = Esfuerzo de trabajo cortante
 V = Fuerza cortante
 b = Espesor de la pieza
 h = Ancho de la pieza

Para secciones transversales circulares, el esfuerzo cortante máximo se calcula con la ecuación 3.7:

$$ET_{\phi} = \frac{4 V}{3 A}$$

Ec. 3.7

donde:

ET, s = Esfuerzo cortante en secciones circulares
 V = Fuerza cortante
 A = Area de la sección circular.

3.3.4.- Esfuerzos de trabajo a torsión (ETtor)

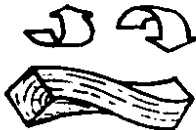


Fig. 3.13

Los esfuerzos de torsión se provocan en un miembro estructural, cuando se aplica en sus extremos un momento de torsión en uno de sus extremos, es decir, se aplica un momento cuyo eje de rotación coincide con el eje longitudinal de la pieza, causando un giro de la pieza sobre ese eje. Fig. 3.13

El esfuerzo máximo de torsión para secciones rectangulares se calcula con la expresión:

$$ETtor = \frac{15 h + 9 b}{5 b^2 \cdot h^2} \times Mtor$$

Ec. 3.8

donde:

ETtor = Esfuerzo de trabajo de torsión
 Mtor = Momento de torsión
 b = espesor de la pieza
 h = ancho de la pieza

Para piezas de sección circular el esfuerzo de torsión se calcula con la ecuación 3.9.

$$ETtors = \frac{4 MT}{A \cdot D}$$

Ec. 3.9

donde:

ETtors = Esfuerzo de torsión en secciones circulares
 Mtor = Momento de torsión
 A = Area de la sección
 D = Diámetro de la sección

Este esfuerzo de torsión actúa a lo largo del eje longitudinal del miembro.

3.4.- ESFUERZOS PERMISIBLES DE DISEÑO (EP)

Los esfuerzos permisibles (EP) o de diseño, son magnitudes que representan la fuerza que puede soportar un material por unidad de Área, con un grado de seguridad dado. Una vez determinados los esfuerzos de trabajo (ET) de los elementos estructurales, los debemos comparar con los esfuerzos permisibles del material con el cual se van a construir, para evaluar si estas piezas están trabajando adecuadamente.

Los valores de esfuerzo permisible de las diferentes especies de madera son determinados a partir de dos consideraciones. Primeramente a través de ensayos de laboratorio, en los cuales se lleva a rotura a una serie representativa de probetas libres de defectos y se registran los valores de resistencia última para cada tipo de esfuerzo, es decir se determina el valor máximo que resiste dicho material antes de que falle. Posteriormente, a estos valores de resistencia última se aplican unos coeficientes de reducción y seguridad, que consideran factores que se presentan ya sea por las características del material o por condiciones de uso.

Para madera de uso estructural, se obtienen valores de esfuerzos permisibles muy inferiores a su capacidad última, debido a que es un material muy variable. Es frecuente encontrar madera que soporta tan solo una fracción de los valores de resistencia última; por ello es indispensable una buena selección de la madera según las normas de clasificación visual del anexo A3.4

Los esfuerzos permisibles de un mismo material pueden variar cuando se usan en diferentes tipos de estructuras, dependiendo de las condiciones de seguridad requeridas en cada una de ellas. Por ejemplo, en el caso de que falle la estructura de madera de una vivienda las consecuencias pueden ser graves, catastróficas, mientras que una falla que se produzca en una silla será de consecuencias leves; por lo tanto, los esfuerzos permisibles de la madera usada en el primer caso serán menores que la utilizada en mobiliario.

Otro factor que hay que considerar en la ingeniería del mueble es la posibilidad de que, en ciertas condiciones, las cargas reales aplicadas al mobiliario en uso sean mayores a las consideradas en el cálculo, debido a la naturaleza aleatoria de las variables que intervienen. Por estos imponderables es que una armazón se diseña atendiendo a esfuerzos permisibles que son menores a la resistencia última del material por la aplicación de coeficientes de seguridad para mobiliario.

3.4.1.- Esfuerzos Últimos de resistencia (EU)

Son los esfuerzos máximos que resiste una especie de madera a los diferentes tipos de esfuerzos, antes de que falle. Se obtienen a través de ensayos de laboratorio, en los cuales se llevan a

rotura a una serie representativa de probetas limpias del material y se registran los valores promedios máximos.

Los valores de última resistencia de las maderas consideradas en este estudio están dados en las tablas del anexo A3.3. Estos valores están basados en pruebas de laboratorio, considerando maderas con un 12 % de contenido de humedad (CH). Estos valores de última resistencia se incrementan cuando el CH es menor, y disminuyen cuando el CH es mayor. Se pueden realizar ajustes de estos valores de acuerdo al contenido de humedad de la madera que se utilice, o bien tomar en cuenta el contenido de humedad de equilibrio (CHE) propio del lugar en que se utilice el mueble (en la ciudad de México el CHE es del orden de 12-13 %) Estos ajustes se pueden realizar por los procedimientos que se describen el anexo A2.2.

3.4.2.- Factores de seguridad (FS)

En la actualidad no se cuenta con una reglamentación que considere esfuerzos permisibles de diseño para madera que va a ser utilizada en la fabricación de mobiliario, pero se han realizado una serie de consideraciones para determinar estos valores, con resultados todavía conservadores en el dimensionamiento final de los elementos estructurales.

Para determinar los diferentes valores de esfuerzos permisibles se multiplican los valores de última resistencia de cada tipo de esfuerzo, por los factores reducción que se indican en la Tabla 3.1

TABLA 3.1.- FACTORES DE REDUCCION DE ESFUERZOS ULTIMOS

Esfuerzos	Factores de reducción	
Flexión	FS _f	0.33
Corte	FS _v	0.33
Torsión	FS _t	0.44
Tracción paralela al grano	FS _t	0.33
Compresión perpendicular	FS _c	1.00
Compresión paralela al grano	FS _c	0.65

Estos factores de reducción indican que las maderas utilizadas para la fabricación de muebles van a trabajar a sólo una fracción de su capacidad máxima de resistencia a cada esfuerzo.

Estas fracciones de reducción incluyen factores de seguridad,

pero no toman en cuenta la duración de las cargas (véase el anexo A2.5). Por lo general, el mobiliario no soporta fuertes cargas por períodos prolongados, a excepción de anaqueles y libreros, que son diseñados con criterios basados en las deformaciones y no en sus características de resistencia última. Este caso especial está tratado en el Capítulo 5. Si de todas maneras creemos conveniente considerar acciones prolongadas de cargas, se debe multiplicar por 0.56 a los valores obtenidos con el factor de reducción de la Tabla 3.1.

Los factores de reducción de esfuerzos últimos para madera estructural de mobiliario, se basaron en información de ASTM Standards D245 y D295. Si se siguen los procedimientos allí indicados, los valores para el esfuerzo de corte, por ejemplo, son reducidos por los factores: 0.78 considerando la variación natural de la madera; 0.56 considerando cargas prolongadas; y 0.43 considerando un factor de seguridad adicional. De tal manera que el factor de reducción total es 0.19. Si asumimos que las cargas prolongadas no son significativas, ya que el factor de seguridad las puede cubrir, el factor de reducción total puede ser de 0.33.

El factor de reducción para esfuerzos de compresión perpendicular al grano está dado por un factor de reducción de 0.33 en la resistencia a este esfuerzo, debido a la variabilidad del material y para mantener un rango de seguridad. Sin embargo permite un incremento de 0.33 para madera estufada, por lo tanto el factor se cancela para este tipo de madera.

Para determinar el esfuerzo permisible de compresión paralela al grano se debe multiplicar el valor promedio de su resistencia última, por los siguientes factores: 0.70 debido a variaciones en la madera; 0.56 por cargas prolongadas; y, por 0.93 para proveer un pequeño rango de seguridad. Si no consideramos cargas prolongadas el factor de reducción total será de 0.65.

Finalmente, y a manera de síntesis, podemos generalizar que para determinar el valor de los diferentes esfuerzos permisibles (EP) se multiplica su factor de seguridad (FS) por el valor de resistencia última a dicho esfuerzo de la madera usada (EU):

$$EP = FS \cdot EU$$

Ec. 3.10

donde:

- EP = Esfuerzo permisible o de diseño
- FS = Factor de seguridad (Tabla 3.1)
- EU = Esfuerzo último de resistencia (Tablas A3.6 y 7)

3.5.- DIMENSIONAMIENTO DE ARMAZONES

El paso previo al dimensionamiento de las diferentes piezas de una armazón, es el cálculo de las fuerzas y momentos que actúan en cada pieza. Cuando una armazón es estáticamente determinada, las fuerzas que actúan en cada miembro son independientes de la sección transversal de ese miembro. En este caso el dimensionamiento se simplifica mucho, ya que la sección requerida para cada pieza se determina directamente.

Quando la armazón es estáticamente indeterminada y se emplean consideraciones hiperestáticas en su análisis, se parte de un prediseño de la estructura, es decir se parte de una primera propuesta de dimensionamiento de las secciones de las piezas. Una vez calculados los esfuerzos de trabajo (ET) que actúan en cada pieza en condiciones de uso, se comparan con los esfuerzos permisibles (EP) del material con que se va a fabricar la armazón y se realizan los ajustes necesarios hasta obtener un dimensionamiento óptimo. Este procedimiento, a la vez que nos permite obtener las secciones óptimas de diseño, nos provee la información necesaria para el diseño de los ensambles.

Como advertencia cabe señalar que se debe poner especial atención al analizar los esfuerzos de flexión que, por lo general, son los determinantes en el dimensionamiento, los esfuerzos de compresión, tracción y de corte, por lo general son de menor incidencia, y las secciones obtenidas para resistir los esfuerzos de flexión absorben también los esfuerzos axiales y de corte. Existen excepciones como puede ser el caso del larguero frontal de un sofá, en que el esfuerzo cortante es mayor, y será necesario redimensionare ese tramo para que resista ese esfuerzo.

3.5.1.- Dimensionamiento de armazones estáticas

Para ilustrar este procedimiento, consideremos el caso de la armazón de la silla analizada en la subcapítulo 3.1. En la Fig. 3.14 se ilustran los valores de las fuerzas que actúan en los miembros, calculadas con la aplicación de las condiciones del equilibrio estático, por lo tanto, las secciones transversales de dichos miembros pueden ser determinadas directamente en su valor exacto.

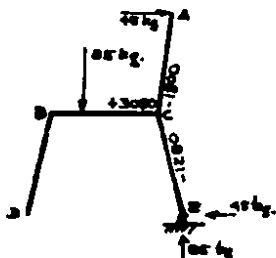


Fig. 3.14

Vamos a asumir que esta silla va a ser construida con madera de pino real⁽¹⁾, con un contenido de humedad del 12%. Con este contenido de humedad las maderas del grupo estructural B tienen una resistencia última a la flexión de 786 kg/cm²; al corte de 74 kg/cm²; y a la compresión paralela de 388 kg/cm².⁽²⁾

Analicemos primeramente la pieza CB. El momento flector que actúa en el extremo C de la pieza es de 3090 kg.cm, por lo que su esfuerzo de trabajo a flexión, aplicando la ecuación 3.4 es

$$ET_f = \frac{6 \times 3090}{b \cdot h^2} = \frac{18540}{b \cdot h^2}$$

donde:

ET_f = Esfuerzo de trabajo de flexión
 b = Espesor de la pieza
 h = ancho de la pieza o altura de la sección

Nos interesa calcular b y h. Dejamos planteada esa expresión y determinamos el esfuerzo permisible a flexión (EP_f) debemos utilizar el factor de seguridad correspondiente a la flexión, para reducir el esfuerzo último de resistencia a la flexión (EU_f) del pino real:

$$EP_f = FS_f \cdot EU_f ; \quad EP_f = 0.33 \times 786 = 259.38 \text{ kg/cm}^2$$

donde:

EP_f = Esfuerzo permisible de flexión
 EU_f = Esfuerzo último de resistencia a la flexión
 FS_f = Factor de seguridad para flexión

Ahora, vamos a hacer trabajar a la pieza a su valor máximo permisible, es decir igualamos ET_f con el valor de EP_f, y despejamos las incógnitas:

$$\text{si: } ET_f = EP_f ; \quad \frac{18540}{b \cdot h^2} = 259.38$$

En este punto necesitamos definir el espesor de la pieza, para lo cual tomamos en consideración las dimensiones comerciales de que disponemos y reales a utilizarse, es decir las dimensiones que obtendremos luego de cortes y cepillado. Para simplificar el cálculo, podemos considerar un espesor (b) de 2.5 cm, y procedemos al cálculo del ancho (h).

(1) VERSE LA TABLA A3.4 DEL ANEXO 3.5

(2) VERSE LA TABLA A3.6 DEL MISMO ANEXO

$$h^2 = \frac{18540}{259.38 \times 2.5} ; \quad h = 5.35 \text{ cm}$$

Valor que es aproximado a la dimensión real de obra inmediata superior, que corresponde en este caso, digamos a 5.5 cm.

El esfuerzo de trabajo a corte ET_v , que actúa en la pieza que acabamos de dimensionar lo calculamos con la Ec. 3.6

$$ETV = \frac{3 V}{2 b \cdot h} = \frac{3 \times 85}{2 \times 2.5 \times 5.5} = 9.27 \text{ kg/cm}^2$$

Calculamos el esfuerzo permisible al corte (EP.) multiplicando el esfuerzo la resistencia última (EU.) por su factor de seguridad (FS.).

$$EP_v = FS_v \cdot EU_v = 0.33 \times 74 = 24.42 \text{ kg/cm}^2$$

donde:

- EP_v = Esfuerzo permisible al corte
- EU_v = Esfuerzo último de resistencia al corte (Tabla A3.6)
- FS_v = Factor de seguridad al corte (Tabla 3.1)

Ahora podemos comparar los valores del esfuerzo de trabajo y del esfuerzo permisible, viéndose que la pieza está trabajando muy por debajo de su capacidad, por lo tanto, el esfuerzo cortante no afecta al dimensionamiento previo.

A continuación analicemos la pieza del respaldo CA, como ya conocemos el esfuerzo permisible, definamos en 2.5 cm el espesor de la pieza, para calcular su ancho. Conocemos el valor del momento que soporta el extremo inferior de la pieza, por lo tanto reemplazamos estos valores en la Ec 3.4.

$$ET_v = \frac{6 \times 1800}{2.5 \times b^2} = 259.38 ; \quad b = 4.08 \text{ cm}$$

Su dimensión real inmediata superior es 4.1 cm. Su esfuerzo de trabajo al corte sería:

$$ET_v = \frac{3 \times 45}{2 \times 2.5 \times 4.1} = 6.59 \text{ kg/cm}^2$$

Valor que es nuevamente menor que su esfuerzo permisible y lo absorbe el dimensionamiento previo.

Debido a que el respaldo CA y la pata trasera CE forman una pieza continua, el tramo superior de la pata y el inferior del respaldo deben tener igual sección transversal, a pesar de que la pata soporta un momento inferior que el respaldo. La pata trasera

soporta, además del momento flector y del esfuerzo de corte (que los resiste adecuadamente por tener igual sección que el respaldo), trabaja con un esfuerzo de compresión paralela al grano, cuyo valor es mayor que 85 kg. considerando que la pata tiene una inclinación, por lo que primeramente calculamos la longitud real de la pieza:

$$CE^2 = 40^2 + 6^2 ; \quad CE = 40.45 \text{ cm}$$

por lo tanto podemos calcular el valor de la carga axial inclinada sumando las componentes de las reacciones en esa dirección:

$$F = \frac{40}{40.45} \times 85 + \frac{6}{40.45} \times 45 = 90.73 \text{ kg}$$

sustituyendo los valores correspondientes en la Ec. 3.3 de esfuerzos de trabajo para compresión tenemos:

$$ET_a = \frac{90.73}{2.5 \times 4.1} = 8.85 \text{ kg/cm}^2$$

ya que el factor de seguridad para la compresión paralela FS_c , es 0.65, y su resistencia o última a este esfuerzo es 388 kg/cm^2 , el esfuerzo permisible a la compresión paralela al grano será:

$$EP_c = 0.65 \times 388 = 252.2 \text{ kg/cm}^2$$

con lo cual comprobamos que la pieza soporta adecuadamente (y de sobra) este esfuerzo axial.

Para ilustrar más aún los principios utilizados, consideremos el dimensionamiento de las patas y el travasado de la parte superior de la mesa de la Fig. 3.15. que fue ya analizado en el subcapítulo 3.1. Las cargas de trabajo y las reacciones del piso, están dadas en el diagrama de cuerpo libre.

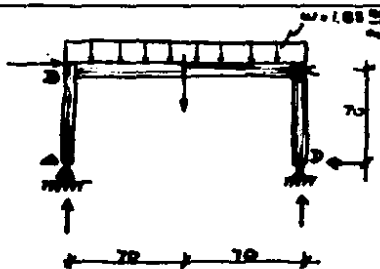


FIG 3.15

Nótese que en el análisis de las fuerzas se ha considerado que una de las patas es capaz de soportar toda la fuerza horizontal, como sucedería si una persona levanta un lado del mueble y lo empuja.

Asumamos que la armazón será construida con madera de bari (grupo estructural B de la Tabla A3.5), con un 12 % de CH. Los valores de resistencia última (EU), para cada tipo de esfuerzo los encontramos en la Tabla A3.7 de los anexos. Estos valores multiplicados por su respectivo factor de seguridad FS (Tabla 3.1), nos dan los siguientes esfuerzos permisibles (EP):

$$\begin{aligned} EP_v &= FS_v \cdot EU_v = 0.33 \times 786 = 252.78 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_c &= FS_c \cdot EU_c = 0.33 \times 70 = 23.10 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_t &= FS_t \cdot EU_t = 0.65 \times 352 = 228.80 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_r &= FS_r \cdot EU_r = 0.33 \times 311 = 102.83 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Si analizamos la pata derecha de la mesa, notamos que el momento en su parte superior es 1750 kg.cm; por tanto su esfuerzo de trabajo a flexión será según la Ec. 3.4:

$$ET_f = \frac{6 \times 1750}{b \cdot h^2} ; \quad ET_f = EP_f ; \quad b = 2 \text{ cm}$$

La armazón será construida en piezas con espesor de 2 cm, por lo tanto el ancho requerido puede ser encontrado sustituyendo el esfuerzo permisible de flexión EP, y el valor del espesor en la expresión.

$$h^2 = \frac{6 \times 1750}{2 \times 252.78} ; \quad h = 4.56 \text{ m} \approx 4.6 \text{ cm}$$

Si requerimos que la sección transversal sea cuadrada tendríamos: cuando $b = h$:

$$b^2 = \frac{6 \times 1750}{252.78} ; \quad b = 3.48 \text{ m} \approx 3.5 \text{ cm}$$

Revisamos esta sección para el esfuerzo cortante que actúa en esta pieza. Tomemos el caso más desfavorable, que sería cuando la sección tiene 2 cm.

$$ET_c = \frac{3 \times 25}{2 \times 2 \times 4.6} = 4.8 \text{ kg/cm}^2$$

Valor que está muy por debajo del esfuerzo permisible al corte que es de 23.10 kg/cm².

Finalmente revisamos para el esfuerzo de compresión paralela al grano:

Para la sección de 2×4.6 cm: $ET_a = \frac{142}{2 \times 4.6} = 15.43 \text{ kg/cm}^2$

Y para la sección de 3.5×3.5 cm: $ET_a = 142 / 3.5^2 = 11.59 \text{ kg/cm}^2$

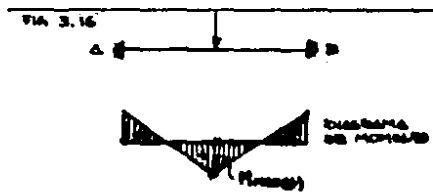
Ya que el esfuerzo permisible a la compresión es de 228.80 kg/cm^2 , estos valores no afectan el dimensionamiento de la pata.

Ahora veamos el travesaño BC; debido a que el momento producido en sus extremos es también de 1750 kg.cm , su sección transversal debe ser igual a la de la pata analizada. Asumamos que va a ser construida con un espesor de 2 cm , por lo tanto su sección será 2×4.6 cm. La fuerza axial de 25 kg que actúa en su extremo B produce esfuerzos tan pequeños que no son significativos; en cambio la fuerza transversal de 259 kg , que actúa a la mitad de su longitud provoca un esfuerzo cortante que lo vamos a calcular sustituyendo valores en la Ec. 3.6

$$ET_c = \frac{3 \times 142}{2 \times 2 \times 4.6} = 23.15$$

Este valor es semejante al esfuerzo permisible al corte, por lo tanto el dimensionamiento es satisfactorio.

Además de los momentos flectores negativos que actúan en los extremos de la pieza BC, también se debe revisar su momento máximo positivo a la mitad de la luz (Fig. 3.16). Para esto realizamos una sumatoria de momentos desde el extremo derecho por ser el más desfavorable:



$$M_{D'} = -1750 + 70 \times 142 = +8190 \text{ kg.cm}$$

por lo tanto el esfuerzo de trabajo para la flexión es:

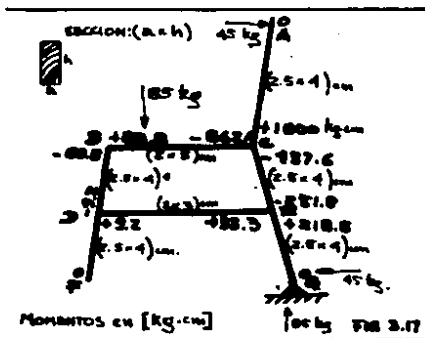
$$ET_f = \frac{6 \times 8190}{2 \times h^2} ; \quad ET_f = EP_f = 252.78 ;$$

$$h^2 = 6 \times 8190 / 2 \times 252.78 ; \quad h_{fc} = 9.86 \text{ cm}$$

Lo que nos hace reajustar el dimensionamiento original de este tramo. Por ello es importante revisar los esfuerzos flectores tanto de momentos máximos positivos como negativos. Por lo general, únicamente se revisan las piezas sobre las que actúan fuerzas transversales.

3.5.2.- Dimensionamiento de armazones hiperestáticos

Sabemos que para analizar una estructura estáticamente indeterminada es necesario partir de estimaciones de las secciones de los miembros, que luego se corrigen y ajustan a valores óptimos, comparando los esfuerzos de trabajo resultantes con los permisibles del material utilizado, en un proceso que se repite las veces que sean necesarias.



Un paso previo al dimensionamiento, es obviamente el análisis de las fuerzas y momentos que actúan en las diferentes piezas de la armazón. Este análisis fue ya realizado en el subcapítulo 3.2, donde se muestra el procedimiento de cálculo de los momentos y fuerzas internas con el método de Cross.

Retomemos el ejemplo de la Fig. 3.9. Asumamos que su armazón va a ser fabricada en madera de caoba con un 12 % de contenido de humedad.

Los esfuerzos últimos de resistencia para el grupo estructural C de latifoliadas, al que pertenece la caoba, los consultamos en la Tabla A3.7 y calculamos los esfuerzos permisibles con la Ec.3.10:

$$\begin{aligned} EP_x &= FS_x \cdot EU_x = 0.33 \times 510 = 168.30 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_y &= FS_y \cdot EU_y = 0.33 \times 46 = 15.18 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_c &= FS_c \cdot EU_c = 0.65 \times 256 = 166.40 \text{ kg/cm}^2 \\ EP_t &= FS_t \cdot EU_t = 0.33 \times 222 = 73.26 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Conocemos que el dimensionamiento de las diferentes piezas dependen principalmente de los esfuerzos de flexión que en ellos actúan, por lo tanto comenzamos verificando los valores a flexión. Vamos a utilizar la Tabla 3.2. para organizar la información.

En la primera estimación se han retomado los valores de las secciones que consideramos en el análisis visto en 3.2. Obtenidos los momentos que actúan en los extremos de cada tramo calculamos el esfuerzo de trabajo con la Ec. 3.4 y comparamos con el esfuerzo permisible de la caoba al 12 % de CH. que es 168.30 kg/cm².

Notamos que el respaldo CA está soportando un esfuerzo de trabajo mayor que el permisible, por lo tanto se le debe incrementar su sección. Los demás tramos están trabajando muy por debajo de su capacidad, por lo que sus secciones pueden ser reducidas.

TABLA 3.2.- DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS DE LA SILLA (FIG.3.17)

Estim No.	Tramo	b	h	Extremo	M. kg. cm	ET, kg/cm ²	Extremo	M. kg. cm	ET, kg/cm ²
1	AC	2.5	4.0	A	0	0	C	+1800	270.0*
	BC	2.0	5.0	B	-89	13.1	C	-882	103.4
	BD	2.5	4.0	B	+89	13.1	D	-9	1.4
	CE	2.5	4.0	C	-938	140.7	E	-252	37.8
	DE	2.0	3.0	D	+9	3.0	E	+33	11.0
	DF	2.5	4.0	D	0	0	F	0	0
	EG	2.5	4.0	E	+219	32.9	G	0	0
2	AC	2.5	5.0	A	0	0	C	+1800	172.0
	BC	2.0	4.0	B	-90	15.9	C	-884	162.0
	BD	2.0	3.5	B	+90	22.0	D	-4	1.0
	CE	2.0	3.5	C	-936	229.2*	E	-184	45.1
	DE	0.9	2.0	D	+4	4.3	E	+10	10.7
	DF	2.0	3.0	D	0	0	F	0	0
	EG	2.0	3.0	E	+174	58.0	G	0	0
3	AC	2.5	5.0	A	0	0	C	+1800	172.0
	BC	2.0	4.0	B	-47	8.8	C	-709	132.9
	BD	2.0	3.5	B	+47	11.5	D	-6	1.5
	CE	2.5	4.0	C	-1091	163.7	E	-123	18.5
	DE	0.9	2.0	D	-6	10.0	E	+13	21.7
	DF	2.0	2.5	D	0	0	F	0	0
	EG	2.0	2.5	E	+110	52.8	G	0	0

EP de caoba al 12 % de CH = 168.3 kg/cm²

En la estimación 2 consideremos una sección de 2.5 x 5.0 cm para el respaldo AC, y reduzcamos el de los tramos BD y CE a 2 x 3.5 cm, el asiento BC a 2 x 4 cm, y el travesaño DE a 0.9 x 2 cm. Con estos nuevos valores de las secciones se repite el cálculo de momentos por el método de Cross. Los valores de los momentos están dados en la columna correspondiente de la estimación 2 de la tabla. Con ellos calculamos los esfuerzos de trabajo y comparamos con el permisible de la caoba.

Como se puede apreciar, el respaldo AC está ahora trabajando a toda su capacidad y los otros miembros están soportando mayores esfuerzos que en la estimación 1, sin embargo la parte superior de la pata trasera CE soporta un esfuerzo de trabajo a flexión de 229.2 kg/cm², valor que excede al permisible de 168.3 kg/cm², por lo que incrementemos su sección a 2.5 x 4 cm. El tramo BC tiene un esfuerzo de 162.0 kg/cm² actuando en su extremo derecho, por lo que está trabajando óptimamente. El tramo EG soporta un esfuerzo de 58 kg/cm², por tanto reduzcamos ligeramente su sección de 2 x 3 cm a 2 x 2.5 cm. Todos los ajustes dimensionales con sus respectivos esfuerzos en cada tramo están tabulados en la estimación 3 de la Tabla 3.2.

Una inspección de los resultados nos muestra que los tramos claves están trabajando a niveles razonablemente eficientes. El tramo AC, del respaldo está trabajando a 172 kg/cm^2 , valor cercano a su esfuerzo permisible de 168.3 kg/cm^2 . El extremo superior de la pata trasera CE está trabajando a 164 kg/cm^2 , valor cercano a su esfuerzo permisible. El esfuerzo de trabajo del asiento (tramo BC) es de 133 kg/cm^2 , que también es satisfactorio.

Luego de este análisis dimensional, el diseñador debe tomar en consideración los criterios funcionales y formales para evaluar de manera integral el modelo propuesto, tomando en cuenta que los valores de este dimensionamiento son valores mínimos y el diseñador los puede utilizar como punto de partida y soporte para su propuesta formal definitiva.

ANALISIS ESTRUCTURAL DE ENSAMBLES

4

Casi todo mueble de madera está formado por varios componentes individuales que se unen entre sí con el fin de formar una unidad estructural estable. El término unión en ingeniería del mueble, en el sentido más amplio, se refiere a uniones entre dos componentes o materiales. En este capítulo no se intenta clasificar y describir sobre todos los tipos de uniones posibles, pero sí plantear en términos generales los fundamentos y principios que rigen su comportamiento y luego estudiar específicamente las uniones más utilizadas en la construcción de armazones.

Podemos clasificar las uniones por la dirección de los componentes que se unen, así tenemos ensambles, juntas y espalmes. Se define a un ensamble como la unión de dos o más elementos, dispuestos perpendicularmente uno con respecto del otro, es decir se une la cara o canto de una pieza con la cabeza de la otra. En el acoplamiento o junta, los maderos se unen por sus caras o cantos, de manera que el grano de una de las piezas se dispone paralelamente al grano de la otra; y el espalme, en que las piezas se unen por sus cabezas, por lo tanto el grano del uno puede ser la prolongación del otro. (Fig. 4.1).

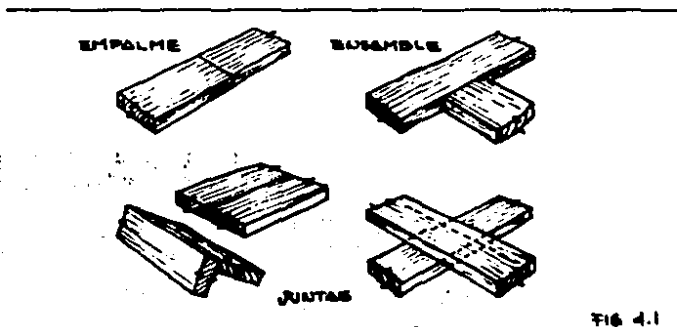


Fig. 4.1

Con el fin de producir la integración estructural en los componentes de una unión, se consideran tres tipos básicos de mecanismos con sus respectivas combinaciones: uniones con sujetadores, donde elementos metálicos como tornillos, clavos, grapas, etc, rigidizan la unión mecánicamente; uniones pegadas, donde un adhesivo forma una unión continua entre las superficies en contacto. Pero la mejor forma de unión entre las piezas de madera se logra mediante el labrado, consistente en preparar o trabajar los elementos que deben unirse de modo que se obtengan rebajos, vaciados y formas que encajan entre sí, de esta manera se obtienen unas uniones que además de actuar mecánicamente entre sí, ofrecen una mejor y más amplia aplicación de los sujetadores o adhesivos disponibles.

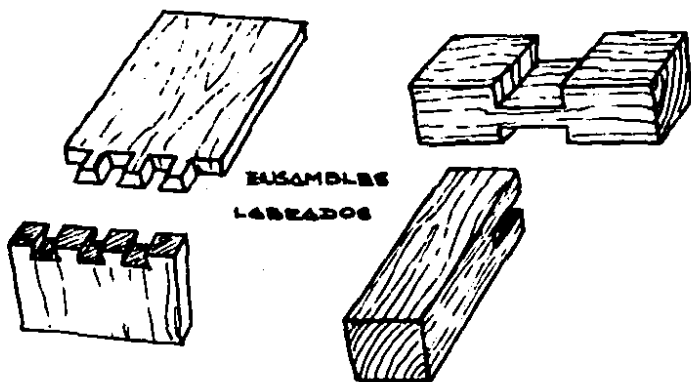


Fig. 4.2

El análisis de las uniones es posiblemente una de las partes más importantes de la ingeniería del mueble. Podemos haber dimensionado miembros capaces de resistir las fuerzas de trabajo, y sin embargo toda la armazón fallará si las uniones no son lo suficientemente resistentes. Lastimosamente no existe todavía la suficiente información sistematizada que aborde el diseño estructural de las uniones. No se han desarrollado fórmulas que generalicen el comportamiento mecánico de las uniones, y los datos obtenidos de las investigaciones realizadas son de diferente naturaleza, ya que las variables que intervienen son muy diversas. Aquí se ha hecho un intento por sintetizar la información que puede sernos útil en nuestro proceso de diseño estructural.

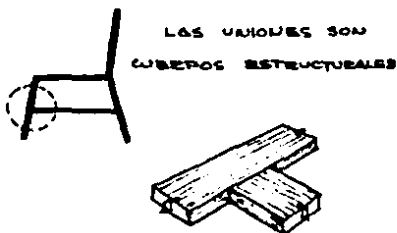


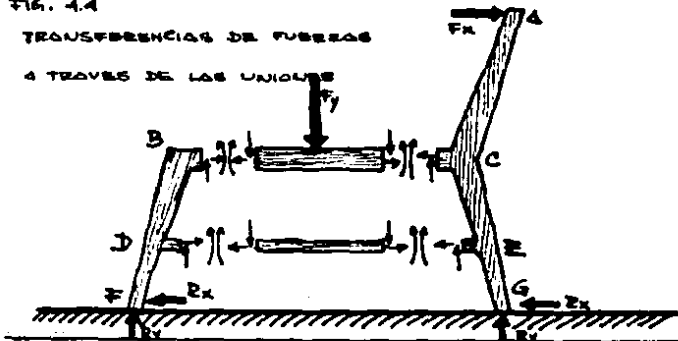
FIG. 4.3

Teóricamente, al idealizar la estructura en un diagrama de cuerpo libre la unión o nudo donde convergen dos elementos se la visualiza como un punto, sin dimensiones, aunque en la práctica tienen necesariamente dimensiones definidas. Por eso, tratándose de comprender su comportamiento estructural es adecuado pensar en una unión como un cuerpo finito, para poder visualizar de qué manera los esfuerzos son transmitidos y distribuidos de un elemento a otro.

Si tratamos a las uniones como cuerpos estructurales, igual que hacemos con los demás componentes, podemos visualizar el sistema de transferencia continua de fuerzas a través de sus elementos hasta que todas las cargas que actúan en la estructura son equilibradas.

FIG. 4.4

TRANSFERENCIAS DE FUERZAS
A TRAVÉS DE LAS UNIONES



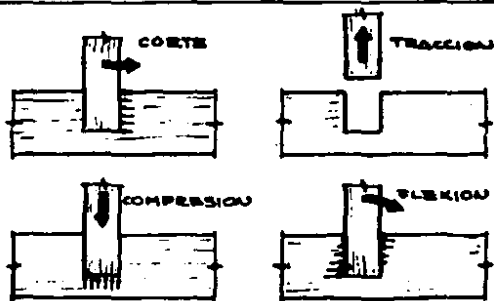
4.1.- FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE UNIONES

Existen cuatro consideraciones principales que se debe tomar en cuenta al realizar una unión y son: 1°) el sistema de fuerzas internas que actúa en la unión, 2°) la dirección del grano de las partes ensambladas, 3°) los movimientos de la madera por cambios en el contenido de humedad, y 4°) el tipo de superficie de las partes en contacto.

4.1.1.- Sistema de fuerzas internas

El sistema de fuerzas internas son las sollicitaciones de carga que debe resistir mecánicamente el ensamble, como consecuencia de ser parte de la estructura del mueble. Los ensambles pueden trabajar con esfuerzos axiales de compresión y tracción, de corte y de flexión. En la práctica todos estos esfuerzos actúan simultáneamente. Cuando una fuerza externa es aplicada a una armazón, ésta resiste por las reacciones internas de los diferentes ensambles y componentes a los esfuerzos internos axiales, cortantes y flectores, y deben ser considerados en conjunto para establecer el equilibrio de toda la estructura.

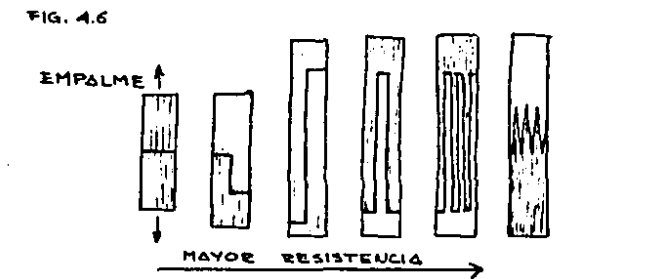
FIG 4.5



Por lo general la gran diferencia en la resistencia de las uniones depende de sus condiciones de carga. La mayor parte de los ensambles a compresión dan pocos problemas, y los esfuerzos cortantes son fácilmente asimilables. Los ensambles que trabajan a tracción y a flexión son los que más dificultades presentan. La Fig. 4.5 muestra ensambles bajo las diferentes tipos de fuerzas de trabajo. En los siguientes subcapítulos se hará incapié en el cálculo de la resistencia de algunos tipos de ensambles en condiciones reales de trabajo, pero por ahora es necesario tener una comprensión general de su comportamiento.

4.1.2.- Dirección del grano

El segundo elemento que afecta el comportamiento de las uniones es la dirección del grano de las partes a unir, esto relacionado con el sistema de fuerzas de trabajo que se comprometan. Por ejemplo, la unión más difícil de conseguir son los empalmes, es decir, unir dos piezas por sus cabezas, tal que el grano de la una sea continuación del grano de la otra (Fig 4.6). No importa si la fuerza que va actuar sea únicamente compresión, es muy común que se presenten fuerzas de flexión a las cuales este tipo de unión es muy débil. Como resultado de la necesidad de empalmes más resistentes se utilizan una serie de sistemas de labrado de las piezas a unir, cuyo principal propósito es convertir el empalme de cabeza a cabeza, en una junta, tal que las superficies en contacto tengan el grano paralelo.



A nosotros nos interesa estudiar más detenidamente los ensamblajes, es decir el tipo de uniones de cara o canto de una pieza con la cabeza de la otra, es decir aquellas uniones en que los granos de las piezas sean perpendiculares entre sí. Este es el caso más común que se presenta en la construcción de mobiliario y puede ser resuelto satisfactoriamente si se consideran todos los factores involucrados.

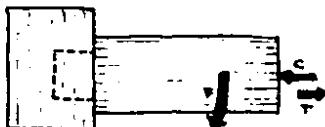
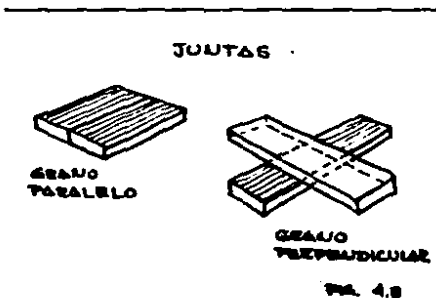


FIG. 4.7

Cuando un ensamble trabaja a compresión, está generalmente limitado a la resistencia de la pieza que recibe la compresión perpendicular al grano. Cuando el ensamble trabaja a tracción, la resistencia del ensamble está limitada al mecanismo de sujeción de la pieza que se une por su cabeza, por lo general este mecanismo es un pasador o simplemente el adhesivo. Cuando

un ensamble trabaja a flexión, su comportamiento es más difícil de determinar. Posteriormente lo estudiaremos más detenidamente.

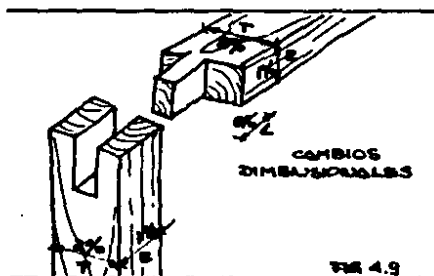
Las juntas, o sea cuando las piezas se unen por sus caras o cantos, pueden ser tan resistentes como la madera misma cuando están unidas correctamente con adhesivo, aún cuando los granos de la madera no sean paralelos. En este último caso, sin embargo hay que tomar muy en cuenta el tercer elemento a considerar: las propiedades de la madera relativas a sus cambios dimensionales en respuesta a variaciones del contenido de humedad.



4.1.3.- Variaciones dimensionales

El cambio dimensional debido a las variaciones en el contenido de humedad de la madera¹¹ no representa problemas cuando se trata de empalmes o juntas porque los cambios dimensionales de las piezas son generalmente homogéneos lo que no produce fuerzas internas considerables entre los componentes. En estas uniones, si los anillos de crecimiento no están orientados en la misma dirección, la diferencia entre los movimientos radiales y tangenciales pueden causar dificultades en la apariencia de los empalmes pero no problemas estructurales.

Las deformaciones por cambios en el contenido de humedad en sentido tangencial son de alrededor del 2 %, en sentido radial son del 1 %, y en sentido longitudinal se consideran despreciables. (Sólo con fines de ejemplificación)



En ensambles o juntas con granos perpendiculares, el conflicto entre los cambios dimensionales a lo largo del grano y a través del mismo (especialmente cuando el corte tangencial se junta con el corte longitudinal) puede convertirse en factor importante en la resistencia del ensamble. Debe preverse la posibilidad potencial de autodestruirse el ensamble por cambios dimensionales.

4.1.4.- Acabado de las superficies de unión

El último elemento a considerarse es el acabado de las superficies de unión. Esto incluye la precisión con que embonan las partes a unirse, la uniformidad de las superficies de apoyo, el ajuste de las superficies y la presencia o ausencia de daños severos en la estructura celular de las piezas, luego de trabajarlas. Superficies ásperas pueden concentrar suficientes esfuerzos que superen la resistencia de la madera o adhesivo, mientras que una unión similar puede trabajar perfectamente si sus superficies y partes coinciden apropiadamente. Partes que no ajustan bien pueden permitir movimientos no previstos que conducen a una falla de la unión. Es muy frecuente que las uniones fallen no en la superficie adherida, sino en el tejido adyacente que ha sido estropeado por herramientas mal afiladas o por malas técnicas de trabajo cuando se labra la unión.

En el estudio de ensambles, cuando consideramos las combinaciones de estos factores que afectan su comportamiento, podemos encontrar infinidad de casos particulares, pero un cuidadoso análisis de cada punto desarrollarán los criterios y minimizarán los errores.

4.2.- ENSAMBLES DE CAJA Y ESPIGA

Los ensambles de caja y espiga se han utilizado extensamente por siglos y en la actualidad, a pesar del incremento en el uso de ensambles con pernos de madera, se siguen utilizando por ofrecer ventajas para cierto tipo de armado. La caja y espiga se asocian mucho con la fabricación de armazones de mobiliario. En sillas se usa con frecuencia espigas de secciones circulares. En marcos de ventanas, puertas apaneladas y otros marcos rectangulares la espiga de sección rectangular es muy común.

Los ensambles son uniones labradas con formas interconectables que rigidizan dos piezas perpendiculares entre sí, tal que la cabeza de la una se acopla en la cara o el canto de la otra. Existen infinidad de variaciones de este ensamble pero la caja y espiga básica es aquella en que el componente que se une por la cabeza es labrado tal que forma una espiga o saliente, de sección rectangular o circular que va a embonar en una cavidad llamada caja,

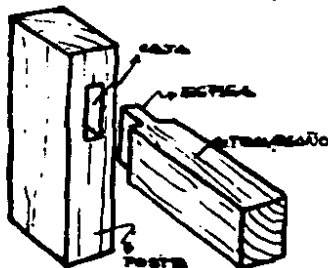


FIG. 4.10

labrada en el canto o cara del otro componente y que tiene la misma forma y tamaño que la espiga. Al elemento que tiene la espiga lo vamos a llamar travesaño y al que tiene la caja poste.

El ensamble de caja y espiga tiene una restricción mecánica en todas direcciones, excepto aquella en que la espiga trabaja a tracción, es decir que éste sale fácilmente de la caja. A pesar de que ésta es la forma más usual de que un ensamble se desbarate, sólo ocurre luego de haberse producido daños debido a esfuerzos de flexión. En un esfuerzo repetitivo de flexión la espiga pivotea en la caja hasta aflojarse.

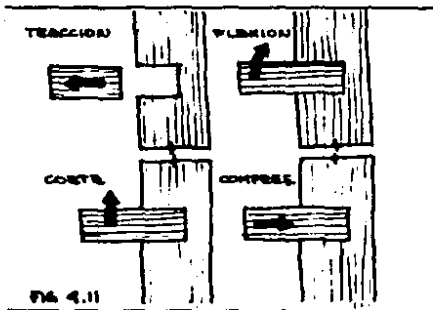


FIG. 4.11

Si existe un buen ajuste por sí solo el ensamble adquiere una buena resistencia cuando trabaja a compresión a corte o a flexión, en cuyo caso la resistencia de la madera a compresión perpendicular limita la resistencia del ensamble. Antiguamente no se utilizaban adhesivos para rigidizar el ensamble; se labraba la espiga tal que entre apretadamente en la caja y se colocaban transversalmente pernos de ajuste, pasadores para rigidizar el ensamble o cuñas.

El ensamble básico "en seco" puede ser mejorado de algunas maneras. El más obvio es utilizar adhesivos, añadiendo así resistencia en los planos longitudinales de las superficies en contacto de la caja y espiga que se oponen al efecto de rotación. Una segunda medida es dejar unos "espaldones" a la espiga (Fig. 4.12) proporcionándole una mayor superficie de apoyo que comparte el esfuerzo a la compresión, contra la parte externa de la caja.

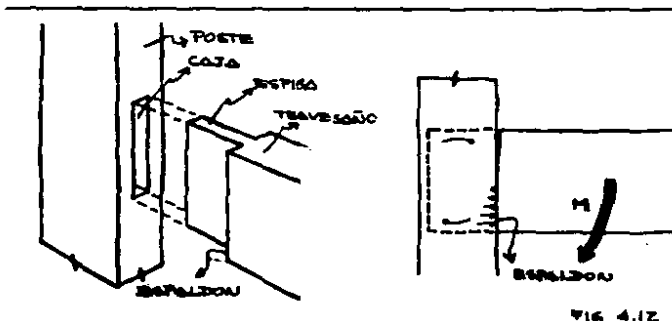


FIG. 4.12

Cuando uno se sienta en una silla y empuja con la espalda el respaldo, tal que las patas delanteras se levanten del piso, la silla se comporta de la siguiente manera: El travesaño del asiento se comporta como una viga en voladizo, empotrado en el poste del respaldo. La parte superior del ensamble trabaja a tracción y la inferior a compresión.

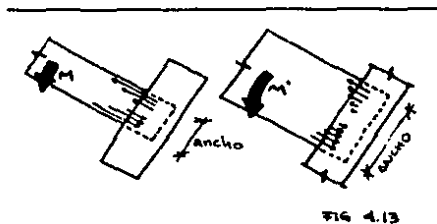


FIG. 4.13

En Fig. 4.13 notamos la importancia del ancho de la espiga ya que del ancho dependen la magnitud de los esfuerzos que actúan en el ensamble. Los esfuerzos máximos que actúan en los bordes de la espiga son inversamente proporcionales al ancho de la espiga.

Además, cuando aumenta el ancho de la espiga, también aumenta la superficie de pegado. Igual cosa sucede cuando aumentamos el largo de la espiga mejorando la resistencia mecánica del ensamble. Pero no podemos dejar de considerar que al aumentar las dimensiones de los componentes de un ensamble podemos estar aumentando el conflicto por cambios dimensionales debido a variaciones en el contenido de humedad de los componentes. Por ejemplo, sabemos que los movimientos (encogimiento e hinchazón de la madera) en sentido tangencial son de alrededor el doble de los movimientos en sentido radial. Por tanto es preferible utilizar espigas con el corte radial en su ancho, que es donde se encuentra la mayor superficie de adherencia con las caras principales de la caja. Es también preferible tener corte radial en las caras principales de la caja para reducir al mínimo los posibles movimientos.



FIG. 4.14

En la Fig. 4.14 el ensamble A trabaja mejor ya que se conjugan las direcciones radiales tanto verticalmente (de la caja) como horizontalmente (de la espiga), reduciendo los movimientos en las caras más importantes de los componentes del ensamble. El ensamble D es el que presenta más problemas ya que las caras laterales de la caja y el ancho de la espiga serán más propensos a

cambios dimensionales y la durabilidad del ensamble dependerá del control que se tenga de los cambios del contenido de humedad.

La solución más frecuente a los cambios dimensionales en ensambles grandes es dividirlo en varias secciones como lo indica la Fig 4.15. Manteniendo las dimensiones de la espiga, los cambios dimensionales pueden ser frenados mecánicamente. Así se puede ver las ventajas considerables, especialmente en ensambles muy anchos, usando uniones entrecruzadas o de espigas múltiples. En este ensamble la restricción mecánica a los cambios dimensionales depende de una correcta utilización de los adhesivos y un ajuste adecuado de las partes.

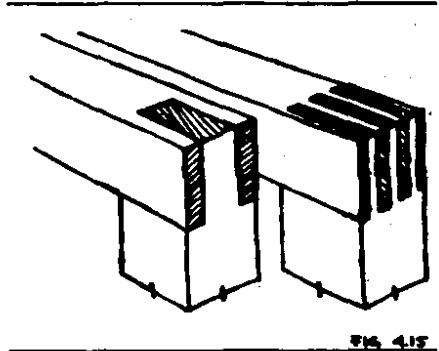


FIG. 4.15

En resumen, para obtener un máximo de resistencia en un ensamble de caja y espiga rectangular con sus superficies unidas por una película de pegamento, se tratará de lograr una combinación óptima del ancho de la espiga y la estabilidad dimensional, utilizando correctamente los tipos de corte de los componentes a unir. Por ejemplo en la Fig 4.16 el ensamble B tiene tres ventajas sobre el A. Primero, la mayor profundidad de las espigas compensa la pérdida de ancho. Segundo, la mayor altura de las espigas ofrece una mayor superficie de pegado en sentido vertical. Y tercero, el número de estas superficies de contacto se ha duplicado.

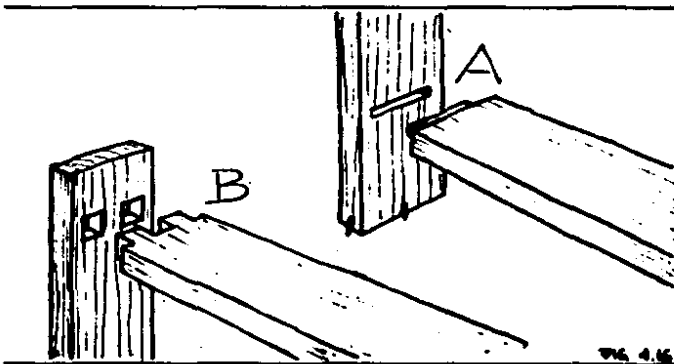


FIG. 4.16

4.2.1.- ANALISIS ESTRUCTURAL

Los ensamblajes de caja y espiga ocultos (Fig 4.17) son los ensamblajes más utilizados en mobiliario actual y se utiliza adhesivo para obtener su máxima resistencia. En la actualidad se utiliza tres tipos principales de adhesivos, los de origen animal como la cola de carpintero, cuyo uso tiende a desaparecer; los de formaldeido de urea, y los adhesivos polivinílicos, entre los cuales el más extensamente usado es el acetato de polivinilo, también conocido como pegamento blanco o resistol 850.

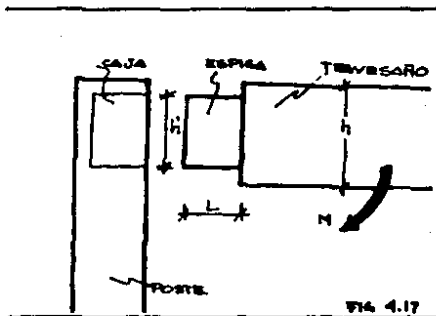


FIG. 4.17

Conocemos que las espigas que ensamblan a presión son más resistentes que aquellas en que se mantiene una pequeña holgura entre las partes. Sabemos que la resistencia se incrementa al utilizar adhesivo en las dos partes del ensamblaje, lo que permite que el adhesivo forme una película de unión entre las superficies de contacto, que trabaja a esfuerzos de corte.

Cuando se labran cajas y espigas rectangulares o redondeadas se logra igual resistencia, pero una espiga redondeada en una caja rectangular es 15 % más débil que las otras. Sabemos que cuando se aumenta el largo y ancho de la espiga también aumenta su resistencia. También sabemos que los espaldones tienen un efecto pronunciado en la resistencia a la flexión. También se concluye que un contenido de humedad constante es la condición más apropiada para fabricar ensamblajes durables y estructuralmente estables.

Eckelman ha demostrado que la resistencia a flexión en ensamblajes de caja y espiga, construidas con espigas de 0.95 cm de espesor, pueden ser calculadas a través de la Ec. 4.1

$$M = 4.51 EU, A B C D$$

Ec. 4.1

donde:

- M = Momento flector que resiste el ensamblaje (kg.cm)
- EU, = Esfuerzo último de resistencia al corte de la madera utilizada en la caja. Tabla A3.6. [kg/cm²]
- A = (0.24 h + 0.57 h²) donde: h = ancho del travesaño
h' = ancho de la espiga [cm]
- B = Factor de longitud de la espiga (Tabla 4.1)

- C = Factor de adhesivo (Tabla 4.2)
 D = Factor de ajuste de la espiga (Tabla 4.3)

Tabla 4.1.- Factor B para distintas longitudes de espigas

Longitud espiga (cm)	Factor B
1.00	0.30
1.50	0.65
2.00	0.82
2.50	0.98
3.00	1.09
3.50	1.21
4.00	1.33
4.13	1.36
4.50	1.48
5.00	1.65

Interpolar para valores intermedios

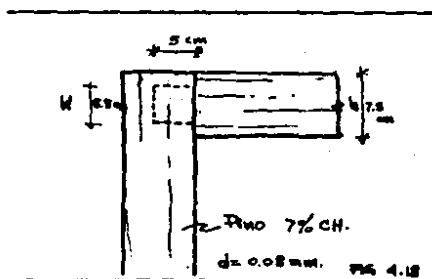
TABLA 4.2.- FACTOR C
ADHESIVOS

Adhesivo	Factor C
Fenol resorcinol	1.00
Cola animal	1.05
Formaldeido de urea	1.24
Acetato polivinilico (65 % de sólidos)	1.32

TABLA 4.3.- FACTOR D
HOLGURAS

Holgura (mm)	Factor D
0.00 a 0.05	1.00
0.06 a 0.13	0.94
0.14 a 0.20	0.89

Para ilustrar el uso de esta expresión, encontremos el momento flector que resiste un ensamble de caja y espiga que tiene un travesaño de 7.5 cm de ancho; con una espiga de 5.5, 5.00 y 0.94 cm de ancho, largo y espesor, respectivamente. Asumamos que se usará madera de pino real con un 7 % de contenido de humedad, como adhesivo se usará una resina de formaldeido de urea, y la holgura del ensamble es de .08mm



El pino real (pinus ponderosa) pertenece al grupo estructural B según la Tabla A3.4. El esfuerzo último de resistencia al corte del grupo estructural B de coníferas (Tabla A3.6) es de 84 kg/cm² cuando el contenido de humedad es de 12 %. Por tanto su resistencia al 7 % de contenido de humedad será (según Tabla A2.1):

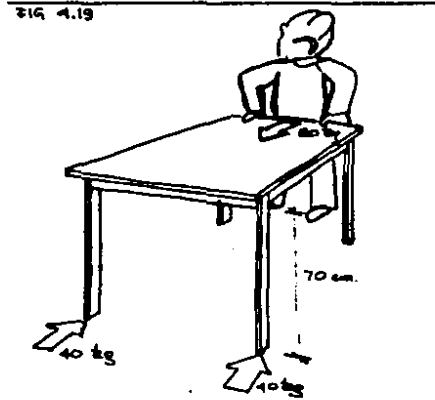
$$EU_v = 84 [1 + 0.03 (12-7)] = 96.6 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituyendo valores en la Ec 4.1 tenemos:

$$M = 4.51 (96.6) (5.06) (1.65) (1.24) (0.94) = 4239.72 \text{ kg.cm}$$

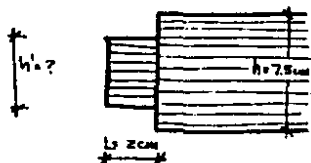
Otra aplicación de esta expresión puede ser ilustrada si consideramos el marco de la mesa de la Fig 4.19. Asumamos que se va a usar un ensamble de caja y espiga para unir las piezas del marco con las patas. También asumamos que el travesaño del marco y la pata tienen una sección de 7.5 cm de ancho por 2.5 cm de espesor. Están contruidos con madera de pino con un contenido de humedad del 7 %, se usa acetato de polivinilo como adhesivo y los elementos de la caja y espiga tienen una holgura de 0.02 mm. Cada ensamble debe resistir las fuerzas externas de trabajo indicadas en la figura, es decir cada ensamble debe resistir un momento flector de:

Fig 4.19



$$M = 70 \times 40 = 2800 \text{ kg.cm}$$

Fig. 4.20



Ahora asumamos que se usará en este ensamble una espiga de 2 cm de largo. Entonces debemos determinar el ancho necesario de espiga para que el ensamble soporte el momento de trabajo.

La resistencia última al corte (EU_v) del pino con un CH del 12 % es 84 kg/cm², y calculamos que su esfuerzo de corte al 7 % CH es 96.6 kg/cm²

Sustituyendo los valores apropiados en la Ec.4.1 tenemos:

$$M = 2800 = 4.51(96.6)(A)(0.82)(1.32)(1.00)$$

despejando (A) tenemos que: $A = 5.94$

Conocemos que: $A = 0.24 h + 0.57 h'$

$$\text{Entonces: } h' = \frac{5.94 - 0.24 h}{0.57} = 7.26 \text{ cm}$$

También pudimos haber asumido que el ancho de la espiga sea de 5 cm, con lo que:

$$M = 2800 = 4.51(96.6)(4.65)(B)(1.32)(1.00)$$

tal que:

$$B = 1.05$$

que consultando con la Tabla 4.1 corresponde a una longitud de espiga de 3.00 cm.

Se debe anotar que los cálculos precedentes están basados en la resistencia última del ensamble y no se ha incluido ningún factor de seguridad. Si por ejemplo, se considera un factor de seguridad de 1.5, entonces el factor de longitud de la espiga hubiese sido 1.57 con lo que se hubiera requerido una espiga con un largo de 5 cm para un ancho de 5 cm. Una mejor solución en este caso sería usar un ancho de espiga h' de 6 cm. Bajo estas condiciones:

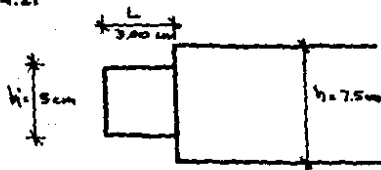
$$M = 1.5 \times 2800 = 4.51(96.6)(5.22)(B)(1.32)(1.00)$$

entonces:

$$B = 1.40$$

tal que, según la Tabla 4.1, se requiere una longitud de espiga de 3.0 cm.

Fig. 4.21



4.3.- ENSAMBLES CON PERNOS DE MADERA

Por las características de producción y por su bajo costo, los ensambles con pernos o clavijas se han vuelto uno de los preferidos en la industria del mueble contemporáneo. Son muy simples de fabricar, pues se requiere únicamente operaciones mecánicas de taladro para realizar las cavidades donde se alojarán los pernos en las piezas del ensamble.

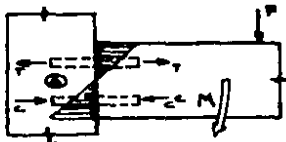


Fig. 4.22

Se puede ver en Fig 4.22 que a pesar de que la carga F produce un momento que actúa en el ensamble A , los pernos están trabajando únicamente para esfuerzos de corte y axiales (el perno superior a tracción y el inferior a compresión). En casos ideales se podría especificar el tipo de ensamble con pernos que se debe utilizar en base a las propiedades de resistencia a estos esfuerzos de corte y axiales, pero esto, ordinariamente no puede hacerse generalizable por cuanto nuestro conocimiento de los factores que afectan su comportamiento son limitados. Sin embargo se han desarrollado una serie de ecuaciones para realizar estimaciones razonablemente aproximadas, que son las que a continuación se presentan.

En el ensamble de la Fig 4.23, se presentan los dos tipos penetración del perno en una pieza de madera. El uno es cuando el perno está embebido en la cabeza del travesaño, tal que las fibras del perno están paralelas a las del travesaño, lo que le proporciona mayor resistencia que al otro extremo del perno, que está embutido en la cara del poste, donde las fibras del perno son perpendiculares a las del poste.

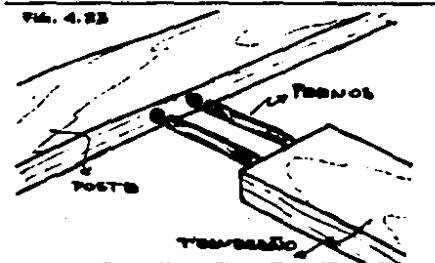
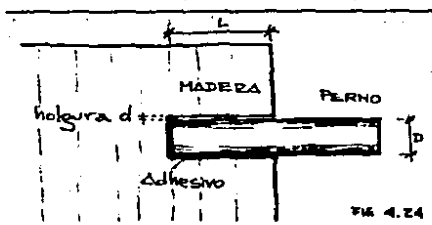


Fig. 4.23

Por tanto el ensamble llevado a condiciones límite de trabajo, fallará por su parte más débil o desfavorable, que en este caso es la unión del perno con el poste.

4.3.1.-RESISTENCIA A LA EXTRACCION DE PERNOS PERPENDICULARES AL GRANO



La Fig 4.24 representa la fuerza de extracción (F_{e1}) que resiste un perno embutido perpendicularmente al grano de una pieza de madera. Esta puede conocerse con la expresión:

$$FE1 = 2.32 \times 0.834DL^{0.85} (0.95 EU_{v1} + EU_{v2}) a b c \quad Ec 4.2$$

donde:

- F_{e1} = Fuerza de extracción perpendicular al grano (kg)
- D = Diámetro del perno en cm
- L = Profundidad de penetración del perno (cm)
- EU_{v1} = Resistencia al corte paralelo del poste
- EU_{v2} = Resistencia al corte paralelo del perno
- a = Coeficiente para adhesivos:
 - $a = 1.0$ para formaldeídos de urea
 - $a = 0.9$ para acetato de polivinilo
 - $a = 0.9$ para cola animal
- b = coeficiente para holguras:
 - $b = 1.0 - (9.1 d)$ con formaldehido de urea
 - $b = 1.0 - (17.1 d)$ con acetato de polivinilo
 - $b = 1.0 - (1.8 d)$ con cola animal
- c = coeficiente de tipo de perno:
 - $c = 1.0$ para perno liso
 - $c = 0.9$ para perno acanalado

La Ec. 4.2 indica que el valor último de resistencia a la extracción del perno es directamente proporcional a su diámetro, y sólo escasamente se relaciona a su longitud de penetración. También muestra que la resistencia a la extracción se relaciona con la resistencia al corte paralelo de las maderas usadas, al tipo de adhesivo, a la holgura entre perno y perforación. El uso de esta ecuación puede simplificarse resolviendo los valores de $0.834 DL^{0.85}$ para diferentes combinaciones de diámetros de perno y longitudes de penetración, valores tabulados en la Tabla 4.4

TABLA 4.4.- VALORES DE 0.834 DLO.89 PARA VARIAS DIMENSIONES D L

Diámetro del perno Ø pulg. cm.	Longitudes de penetración						
	1.27cm 1/2"	1.91cm 3/4"	2.54cm 1"	3.18cm 1-1/4"	3.81cm 1-1/2"	4.45cm 1-3/4"	5.08 2"
1/4 0.84	.11	.16	.21				
5/16 0.79	.14	.20	.26	.32			
3/8 0.95	.17	.24	.31	.38	.45		
7/16 1.11	.20	.28	.37	.45	.52	.60	
1/2 1.27	.23	.32	.42	.51	.60	.69	.77

Los valores de (a x b) se especifican para los diferentes tipos de adhesivos y holguras en la Tabla 4.5. Ante estas condiciones la Ec 4.2 puede simplificarse en:

$$F_{a1} = 8.45 A (0.95 EU_{v1} + EU_{v2}) B \cdot C$$

Ec 4.3

donde:

A = 0.834 D L^{0.89} (Tabla 4.4)

B = a · b (Tabla 4.5)

C = c

y la demás nomenclatura igual a la previamente definida.

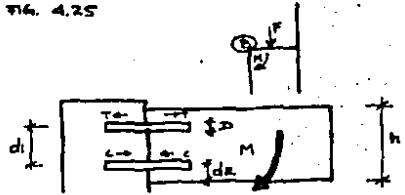
TABLA 4.5.- FACTORES B (EC. 4.3) PARA DISTINTOS ADHESIVOS Y HOLGURAS

Holguras mm	Factores B según tipos de adhesivos		
	Form./Urea	Acet./Poliv.	Cola Animal
0.00	1.0	0.90	0.85
0.05	0.98	0.87	0.85
0.10	0.96	0.84	0.84
0.15	0.95	0.81	0.84
0.20	0.93	0.78	0.84
0.25	0.81	0.75	0.83
0.30	0.89	0.72	0.83
0.36	0.87	0.68	0.83
0.41	0.85	0.65	0.83
0.48	0.84	0.62	0.82
0.51	0.82	0.59	0.82

4.3.2.- RESISTENCIA A LA FLEXION DE ENSAMBLES CON PERNOS

El ensamble con dos pernos, que trabaja a esfuerzos de flexión, es el mecanismo más utilizado en la fabricación del mueble actual. Vemos en la silla de la Fig. 4.25 como el ensamble C, bajo la acción de la carga F , resiste el momento flector M . Este momento que resiste el ensamble puede ser determinado por la expresión:

Fig. 4.25



$$M = F_e \cdot d$$

Ec. 4.4

Donde:

M = el valor último de resistencia a la flexión [kg.cm]

F_e = Resistencia a la extracción del perno perp. grano.

$d = d_1 + \frac{d_2}{2}$; brazo interno de momento

d_1 = separación de los pernos

d_2 = distancia del perno a compresión al borde

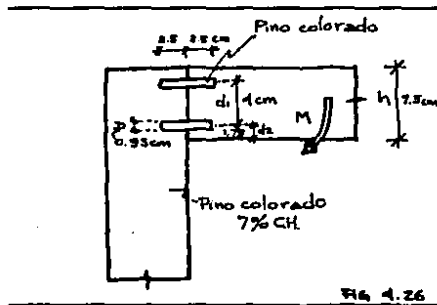


Fig. 4.26

Para mostrar el uso de la Ec. 4.4 consideremos un travesaño de madera de pino colorado, con un ancho de 7.5 cm, que se ensambla con un poste a través de dos pernos lisos de pino de 0.95 cm de diámetro (3/8"), por 5 cm de largo (2"), usando como adhesivo una resina de formaldeído de urea. Asumase que no existe holgura y la penetración del perno en cada elemento es de 2.5 cm. Si el contenido de humedad del pino es de 7 %, su resistencia al corte será según las tablas A3.9 y A3.2:

$$E_u = [1 + 0.03 (12 - 7)] 84 = 96.6 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia a la extracción del perno, según la Ec 4.3 es:

$$F_e = 6.45 \times 0.31(0.95 \times 96.6 + 96.6) 1 \times 1 = 378.40 \text{ kg}$$

Asumiendo que los pernos están colocados simétricamente calculamos d :

$$d = 4 \text{ cm} + (1.75/2) = 4.88 \text{ cm}$$

El momento flector producido por la fuerza F_2 , está dado por:

$$M = FE_1 \times d = 37.8.40 \times 4.88 = 1846.59 \text{ kg.cm}$$

Si los pernos, en lugar de estar separados 4 cm estuvieran a 6 cm de distancia, el brazo interno de momentos sería:

$$d = 6 + (10.75/2) = 6.38 \text{ cm}$$

Y el momento flector se incrementaría a:

$$M = 378.40 \times 6.38 = 2414.19 \text{ kg.cm}$$

Nótese que la resistencia del ensamble se incrementó más o menos el 30 % simplemente aumentando la separación de los pernos. Talvés no existe otro caso como este, en que la resistencia de un ensamble pueda ser incrementado con tanta facilidad.

Como un último ejemplo, la Fig 4.27 considera un ensamble construido con pino, con el travesaño de 7.5 cm de ancho y un poste de 6 cm de diámetro. Se usaron dos pernos de encino de 0.95 cm de diámetro (3/8"), por 4 cm de largo, separados 5 cm. Si asumimos un 7 % de contenido de humedad, la resistencia al corte será:

$$EU_{1, \text{ pino}} = 74 [1+0.03 (12-7)] = 85.10 \text{ kg/cm}^2$$

$$EU_{2, \text{ encino}} = 84 [1+0.03 (12-7)] = 96.6 \text{ kg/cm}^2$$

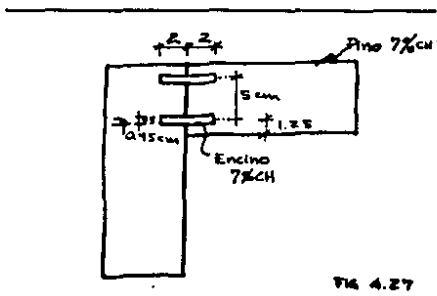
Asumiendo que la penetración es de 2 cm en cada miembro, el esfuerzo de extracción de los pernos será según la Ec. 4.4:

$$F_{21} = 0.24 (0.95 \times 85.10 + 96.6) = 274.68 \text{ kg}$$

y el brazo interno de momento sería: $d = 5 + 1.25/2 = 5.63 \text{ cm}$

tal que su resistencia a la flexión correspondiente sería:

$$M = 274.68 \times 5.63 = 1546 \text{ kg.cm}$$



4.4.- UNIONES CON SUJETADORES MECANICOS

4.4.1.- CLAVOS

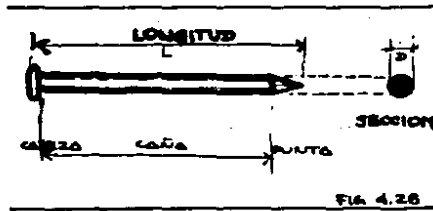


FIG. 4.26

Por la facilidad de construcción y economía, las uniones clavadas son muy usadas, aunque por lo general no se usan como uniones estructurales permanentes en Areas sujetas a altos esfuerzos de trabajo. En estos casos los clavos son más bien utilizados como sujetadores provisionales hasta que seque el pegamento de una unión.

Cuando el clavo es introducido, la punta rompe y separa una cierta cantidad de fibras, lo cual permite que el clavo ocupe un sitio dentro de la madera. Estas fibras separadas que rodean al clavo tratan de regresar a su posición original, ejerciendo una presión contra el clavo y aprisionándolo fuertemente. La resistencia a la extracción de un clavo está relacionada con su diámetro y la longitud de penetración en la madera.

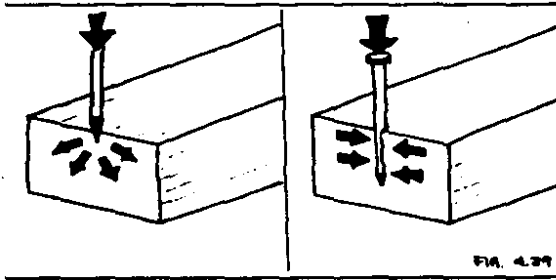


FIG. 4.29

La resistencia de la unión clavada puede reducirse con el tiempo. Esto se debe tener en cuenta al diseñar la unión para considerar márgenes de seguridad.

Las uniones clavadas son eficientes si los esfuerzos aplicados sobre el clavo son esfuerzos de corte. No es recomendable la unión clavada si las fuerzas aplicadas tienden a extraer el clavo.

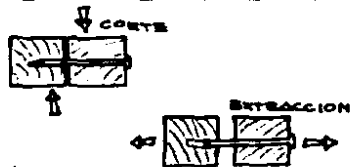
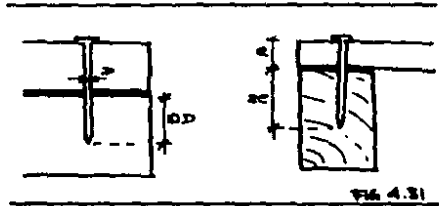
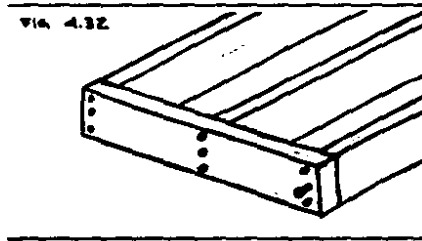


FIG. 4.30

En uniones de elementos de madera, el clavo debe atravesar completamente uno de ellos y penetrar como mínimo diez veces el diámetro del clavo en el otro. En uniones de tableros con elementos de madera, la longitud del clavo deberá ser suficiente para penetrar en la madera una longitud igual al doble del espesor del tablero.



Muchas uniones no están sometidas a fuerzas considerables. Tal es el caso de las uniones para fijar elementos no estructurales y acabados. En estos casos puede utilizarse un mínimo de clavos. Sin embargo, las uniones entre elementos estructurales que soportan cargas pesadas deben construirse con especial cuidado.

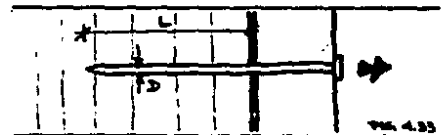


Los clavos deben estar espaciados adecuadamente y a suficiente distancia de los bordes. Esto evita que se produzca la falla de la unión por desgarramiento de las fibras. Con frecuencia un solo clavo no basta, no porque el clavo mismo es insuficiente, sino que puede generar esfuerzos excesivos en la madera que rodea al clavo. Al colocar más clavos espaciados adecuadamente, se comparte el esfuerzo de trabajo total, por lo que cada uno trabaja con un menor esfuerzo unitario.

4.4.1.1.- RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

La resistencia a la extracción de clavos comunes, embudidos perpendicularmente a las fibras de la madera, se calcula con la expresión:

$$F_{e1} = 48.61 D L G^{0.75}$$



$$\text{Ec. 4.5}$$

donde:

- F_{E1} = Resistencia a la extracción perpendicular a la fibra
 D = Diámetro del clavo (mm)
 L = Profundidad de penetración en la pieza donde está la punta del clavo (cm)
 G = Peso específico de la madera seca al horno

TABLA 4.6.- CARACTERISTICAS DE CLAVOS COMUNES

Largo pulg. cm.		Calibre	Diámetro pulg. mm.	
1"	2.5	15.0	.072	1.83
1.5"	3.8	12.5	.098	2.49
2"	5.1	11.5	.113	2.87
2.5"	6.4	10.25	.131	3.33
3"	7.6	9.0	.148	3.76
3.25"	8.3	9.0	.148	3.76

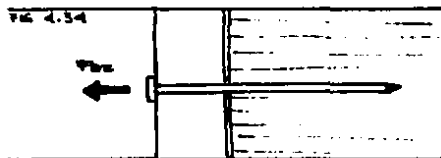
Los diámetros de los clavos más comerciales constan en la Tabla 4.6.

Para ejemplificar el uso de la Ec 4.5 calculemos la resistencia a la extracción de un clavo de 5 cm de largo clavado 2.5 cm perpendicular al grano en una pieza de pino. El peso específico del pino a 12 % de contenido de humedad es 0.55. De la Tabla 4.6 vemos el diámetro del clavo de 2". Sustituyendo estos valores en la Ec 4.5 tenemos:

$$F_{E1} = 48.61 \times 2.49 \times 2.5 \times (0.55)^{0.75} = 67.88 \text{ kg}$$

4.4.1.2.- RESISTENCIA A LA EXTRACCION PARALELA A LA FIBRA

La resistencia de un clavo paralelo a la fibra a su extracción puede estar considerada entre el 50 y 70 % del valor de su resistencia en sentido perpendicular a la fibra.



$$F_{E2} = 0.6 F_{E1}$$

Ec. 4.6

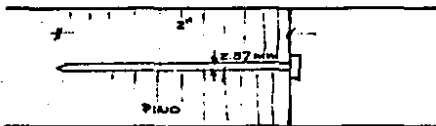
4.4.1.3.- RESISTENCIA AL CORTE DE CLAVOS PERPENDICULARES A LA FIBRA

La resistencia al corte de clavos comunes de alambre, se calcula con la expresión:

$$F_v = \frac{K (2632 G - 126) D^{3/2}}{348} \quad \text{Ec 4.7}$$

donde:

- F_v = Resistencia al corte del clavo
- G = Peso específico de la madera seca al horno
- D = Diámetro del clavo
- K = coeficiente según el tipo de madera:
 - K = 6 para maderas coníferas
 - K = 11 para maderas latifoliadas



Para ejemplificar calculemos la resistencia al corte de un clavo de 2" metido perpendicularmente a las fibras de un madero de pino.

De la Tabla 6.19 vemos que el diámetro del clavo de 2" es 2.87 mm y este valor elevado a la potencia de 3/2 es 4.86. Sustituyendo estos valores en la Ec 6.29 tenemos:

$$F = 6(2632 \times 0.55 - 126) 4.86 / 342 = 110.84 \text{ kg}$$

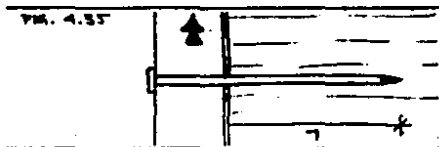
Nótese que si este clavo se mete a una madera latifoliada de la misma densidad su resistencia al corte sería:

$$F = 11(1321.6) 4.86 / 342 = 203.03 \text{ kg}$$

4.4.1.4.- RESISTENCIA AL CORTE DE CLAVOS PARALELOS A LA FIBRA

Se estiman valores de alrededor el 60 % de la resistencia al corte de clavos perpendiculares a la fibra, en maderas livianas, y valores más altos para maderas pesadas.

$$F_v = 0.60 F_v \quad \text{Ec. 4.8}$$



4.4.2.- TORNILLOS

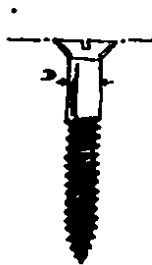


Fig. 4.36

Son elementos metálicos alargados, de espiga recta y punta cónica, con fileteado helicoidal autoroscante. Los tornillos poseen más fuerza de sujeción que los clavos, por lo que son muy utilizados para fijar elementos metálicos a la madera. Se utilizan extensamente como sujetadores de piezas de acabado a la estructura. También se los utiliza en reemplazo de ensamblajes de caja y espiga o con pernos, en cuyo caso trabajan estructuralmente. Se utiliza cada vez más a los tornillos en aquellas uniones pequeñas pero que trabajan con altos esfuerzos.

Frecuentemente algunos ensamblajes están reforzados con piezas pegadas y atornilladas al ensamblaje. También tienen mucha aplicación en la fabricación de armazones de muebles tapizados, especialmente al unir miembros muy cargados como es el caso de los travasños frontales y posteriores con las patas y respaldos de sillones grandes. Es importante, pues, que sean cuidadosamente analizada las magnitudes de carga que resisten los tornillos utilizados estructuralmente, pero se debe tener cuidado con la estabilidad y rigidez de la armazón en su conjunto ya que éstas depende de muchos factores, especialmente la calidad de fabricación.

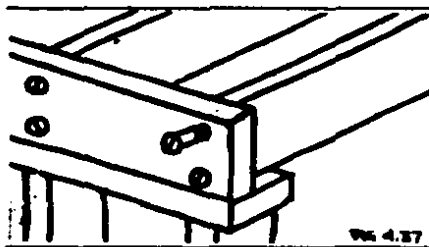


Fig. 4.37

Para la mayoría de propósitos constructivos, primeramente se debe taladrar en la madera un agujero que guíe al tornillo a su lugar, evitando de esta manera que las fibras de la madera adyacente se separen. El diámetro de la perforación en la zona correspondiente a la espiga debe ser igual al diámetro de ésta. La perforación en la zona correspondiente al núcleo del tornillo

deben taladrarse para recibirlo ajustadamente. En maderas muy densas suele ser muy difícil atornillar, por lo que se necesita especificar muy bien el diámetro de las guías y aún así algunos tornillos rechinan al atornillarse por lo que deben ser lubricados, para evitar que los canales se rasguen. Para maderas medianamente densas se recomienda taladrar guías del núcleo alrededor 70 % del diámetro del cuello tornillo. En maderas muy densas se recomienda aumentar este porcentaje para evitar rajaduras de la madera. Se presenta la Tabla 4.7 donde constan los diferentes diámetros de tornillos comerciales, los diferentes diámetros de brocas recomendadas para taladrar las guías y su porcentaje del diámetro del tornillo.

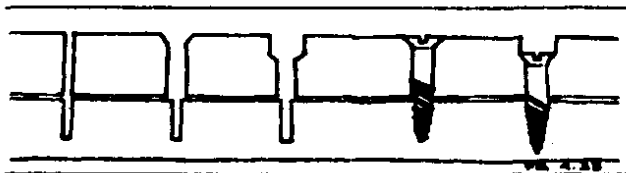


TABLA 4.7.- DIÁMETROS DE TORNILLOS Y GUIAS RECOMENDABLES

Número de tornillo	Diámetro		Diámetro de broca y porcentaje					
	pulg.	mm	pulg.	mm	%	pulg.	mm	%
0	.060	1.52	1/32	0.79	77			
1	.073	1.85	1/32	0.79	63	3/64	1.19	95
2	.086	2.18	3/64	1.19	80			
3	.099	2.51	3/64	1.19	64	1/16	1.59	85
4	.112	2.84	1/16	1.59	78	5/64	1.98	97
5	.125	3.18	5/64	1.98	84			
6	.138	3.51	5/64	1.98	79	3/32	2.38	95
7	.151	3.84	5/64	1.98	70	3/32	2.38	84
8	.164	4.17	3/32	2.38	78	7/64	2.78	82
10	.190	4.53	3/32	2.38	72	7/64	2.78	84
12	.216	5.49	7/64	2.78	69	1/8	3.18	79
14	.242	6.15	1/8	3.18	69	9/64	3.57	77
16	.268	6.81	9/64	3.57	73	5/32	3.97	81
18	.294	7.47	5/32	3.97	73	2/16	3.18	88
20	.320	8.13	5/32	3.97	68	3/16	4.76	82

Al diseñar una unión atornillada también se debe tener cuidado de usar tornillos del largo adecuado, tal que la cabeza del tornillo simplemente se frene contra la madera cuando se ha atornillado en exceso. Los tornillos tienden a aflojarse cuando están trabajando con grandes esfuerzos o cuando se hicieron guías muy grandes. Para aminorar este problema se puede utilizar en la guía acetato de polivinilo (pega blanca) como adhesivo antes de atornillar.

4.4.2.1.-RESISTENCIA A LA EXTRACCION PERPENDICULAR AL GRANO

La resistencia última a la extracción de tornillos de madera en sentido perpendicular al grano se calcula con la expresión:



$$F_{\perp} = 6.45 \times 3.204 D (L-D)^{3/4} \text{ EU.}$$

Ec. 4.9

donde:

- F_{\perp} = Resistencia a la extracción perpendicular [kg]
 D = Diámetro del tornillo en (mm)
 L = Profundidad de penetración del acanalado [cm]
 EU, = Resistencia de la madera al corte paralelo

Se han tabulado los valores de $3.24 D (L-D)^{3/4}$ para varios tamaños de tornillos y profundidades de penetración en la Tabla 4.8. De acuerdo con esta fórmula, la resistencia a la extracción varía directamente proporcional con el diámetro del tornillo, la resistencia al corte de la madera y la profundidad de penetración efectiva. Esta penetración efectiva es la corrección de la total a 3/4 de su potencia ya que se debe considerar que la ausencia de canales en la parte superior del tornillo disminuye la resistencia total de su largo si estuviera acanalado. Si no se toma esto en cuenta, la resistencia de tornillos pequeños sería sobrestimada.

TABLA 4.8.- VALORES TABULADOS PARA $3.204(L-D)^{3/4}$

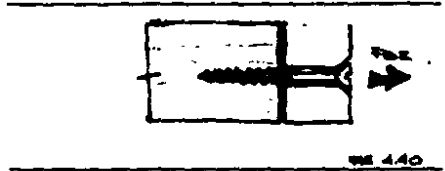
Torn #	Profundidad de penetración (en mm y pulg.)										
	0.64 1/4"	0.95 3/8"	1.27 1/2"	1.59 5/8"	1.91 3/4"	2.22 7/8"	2.54 1"	3.18 1.25"	3.81 1.5"	4.45 1.75"	5mm 2"
1	.064	.095	.124	.160	.175	.198	.221	.264	.305	.345	.383
2	.075	.109	.142	.173	.203	.231	.258	.309	.357	.404	.448
3	.077	.121	.160	.196	.230	.262	.293	.352	.408	.462	.514
4	.081	.132	.176	.218	.256	.293	.328	.396	.459	.520	.578
5	.084	.142	.192	.238	.282	.323	.362	.437	.509	.578	.642
6	.086	.150	.206	.258	.306	.352	.398	.479	.557	.633	.705
7	.085	.158	.220	.278	.329	.380	.428	.519	.606	.688	.767
8	.083	.164	.232	.294	.352	.407	.459	.559	.653	.743	.829
10	.074	.172	.253	.328	.394	.458	.520	.636	.745	.850	.950
12	.055	.174	.269	.354	.432	.506	.577	.710	.835	.954	1.07
14	.021	.171	.281	.377	.467	.550	.630	.780	.921	1.08	1.18
16	.000	.161	.287	.397	.497	.590	.680	.847	1.00	1.15	1.30
18	.000	.143	.288	.411	.523	.627	.726	.911	1.08	1.25	1.41
20	.000	.116	.283	.421	.544	.659	.768	.971	1.16	1.34	1.51

Por ejemplo, se necesita conocer la resistencia a la extracción de un tornillo # 10, con una profundidad de penetración de 2.5 cm, atornillado perpendicularmente a las fibras en un madero de pino al 7 % de contenido de humedad. Según la Tabla 4.7 vemos que el factor apropiado para este tornillo es 0.520, así mismo de la Tabla A3.8 encontramos que la resistencia al corte del pino al 12 % de contenido de humedad es de 74 kg/cm². Calculamos su resistencia para 7 % según la Tabla A3.2, lo que nos da 85.1 kg/cm². Reemplazamos estos valores en la Ec. 4.9:

$$F_{e1} = 6.45 \times 0.520 \times 85.1 = 285.43 \text{ kg}$$

4.4.2.2.- RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN PARALELA AL GRANO

Con frecuencia ocurren fallas o rajaduras de la madera cuando el tornillo embebido en la cabeza de una pieza está trabajando para esfuerzos de extracción, por ello es importante calcular su resistencia última para poder diseñar adecuadamente las uniones. La resistencia a la extracción de un tornillo embebido paralelamente a las fibras se calcula con la expresión:



ME 440

$$F_{e2} = 6.45 \times 8.752 D^{1/4} (L-D)^{3/4} \text{ EU.}$$

Ec. 4.10

donde:

- F_{e2} = Resistencia a la extracción paralela al grano [kg]
- D = Diámetro del tornillo
- L = Profundidad efectiva de penetración
- EU. = Resistencia de la madera al corte paralelo

Para cálculos frecuentes se ha tabulado algunos valores usuales de $8.752 D^{1/4} (L-D)^{3/4}$ en la Tabla 4.8. También se considera que la resistencia a la extracción paralela a las fibras es de alrededor el 75 % de la resistencia a la extracción perpendicular a las fibras. Se debe cuidar de no rajar la madera adyacente al tornillo en el momento de introducirlo, ya que esto afecta de manera importante a la resistencia a la extracción.

TABLA 4.0.- VALORES TABULADOS PARA 8.752 (L-D) (Ec. 4.10)

Torn #	Profundidad de penetración (en mm y pulg.)										
	0.64 1/4"	0.95 3/8"	1.27 1/2"	1.59 5/8"	1.91 3/4"	2.22 7/8"	2.54 1"	3.18 1.25"	3.81 1.5"	4.45 1.75"	5mm 2"
1	.024	.037	.047	.057	.067	.076	.085	.101	.117	.131	.147
2	.031	.047	.062	.075	.088	.100	.112	.134	.155	.175	.195
3	.037	.056	.077	.094	.111	.126	.141	.170	.197	.223	.248
4	.043	.070	.095	.115	.135	.155	.174	.209	.243	.275	.306
5	.048	.081	.110	.137	.162	.185	.208	.251	.292	.331	.369
6	.053	.093	.128	.159	.189	.218	.245	.296	.345	.391	.436
7	.056	.104	.145	.183	.218	.251	.283	.344	.401	.455	.506
8	.059	.115	.163	.207	.246	.286	.323	.394	.460	.523	.583
10	.059	.135	.199	.256	.310	.360	.409	.500	.586	.668	.747
12	.047	.151	.233	.306	.374	.438	.499	.614	.722	.826	.926
14	.020	.161	.265	.356	.440	.519	.594	.735	.866	.994	1.12
16	.000	.163	.292	.404	.505	.601	.691	.862	1.02	1.17	1.32
18	.000	.156	.314	.448	.570	.684	.791	.993	1.18	1.36	1.53
20	.000	.135	.329	.489	.633	.766	.892	1.13	1.35	1.56	1.76

4.4.2.3.- RESISTENCIA AL CORTE EN TRONILLOS PERPENDICULARES A LA FIBRA

Quando se utilizan tornillos de madera para unir dos elementos perpendiculares, como lo muestra la Fig 4.40, la resistencia del tornillos al corte está dada por la expresión:

FIG. 4.40


$$F_v = 737.36 DL^{.66} G^{.33} d^{.33}$$

Ec. 4.8

donde:

- F_v = Resistencia del tornillo al corte en kg.
- D = Diámetro del tornillo
- L = Profundidad de penetración en el segundo elemento
- G = Peso específico de la madera a un CH dado
- d = Holgura entre piezas.

Esta ecuación es válida para las siguientes condiciones: cuando las dos piezas son de la misma madera y cuando la profundidad de penetración mínima considerada es de 1.27 cm.

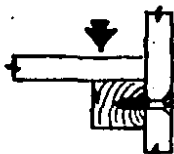


Fig 4.41

Por ejemplo, considérese la alacena de la Fig 4.41, supongamos que va a soportar el peso de partes de motor de alrededor 1 kg/cm o sea 120 kg por entrepaño. Los entrepaños están apoyados en soportes de madera atornillados a los lados de la alacena. Determinemos qué tamaño de tornillo necesito si uso tres en cada soporte.

Estimemos tornillos # 8 de 3.8 cm de largo. El diámetro del tornillo es 4.17 mm (0.164") y ya que los lados de la alacena tienen 1.9 cm de espesor, la profundidad de penetración en el soporte será de 1.9 cm. Asumimos que el mueble está construido con madera de pino con un contenido de humedad del 12 %. El peso específico a ese contenido de humedad es de 0.35. La holgura entre piezas es de 0.78 mm. Sustituimos los valores en la Ec. 4.11:

$$F_v = 737.38 \times 0.417 (1.9)^{0.2} (0.35)^{0.7} (0.78)^{0.333} = 31.23 \text{ kg}$$

Ya que la carga de trabajo es de 120 kg/6 tornillos, o sea 20 kg por tornillo, este diseño provee un factor de seguridad de 31.23/20, o sea 1.56.

4.4.3.- GRAPAS

Se usan ampliamente en la fabricación de armazones y para el tapizado de muebles. Las grapas utilizadas en la tapicería son relativamente pequeñas y ya que hemos enfatizado en el sistema estructural de armazones, vamos a analizar las grapas grandes utilizadas en su fabricación, aunque en México se usan poco en aplicaciones estructurales. Por lo general se las utiliza para mantener piezas juntas, mientras seca el pegamento de la unión. También para engrapar escuadras de refuerzo a ensambles, o para fijar tableros contrachapados a sus bastidores. Las engrapadoras neumáticas son rápidas y fáciles de utilizar, desgraciadamente se puede equivocar su correcto uso, por ello veamos más detenidamente los factores que inciden en su resistencia.

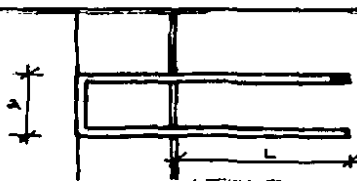
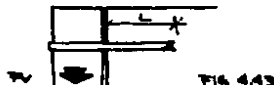


Fig 4.42

Las grapas usadas en armazones son generalmente de 2.5 a 5 cm de largo y alrededor de 1 cm de lomo. Se utilizan varios tipos de recubrimiento en las patas de la grapa para mejorar su agarre, así se usa cemento, nylon, resinas epóxicas o se las sumerge en ácido. También las puntas son variadas, por lo general son biseladas en direcciones divergentes. Sin embargo, para el presente estudio, se han considerado grapas simplemente galvanizadas.

4.4.3.1. RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte de grapas se calcula con la expresión:



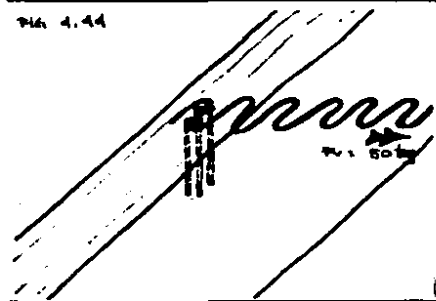
$$F_v = (30 + 70.87 L) \text{ EU.} / 175.19$$

Ec. 4.9

donde:

- F_v = resistencia al corte de grapas en kg
- L = Profundidad de penetración en la pieza principal [cm]
- EU. = Resistencia de la madera a corte paralelo

Fig. 4.44



Para ilustrar el uso de la Ec. 4.12 consideremos el siguiente problema: al diseñar el armazón de un sillón largo, se encuentra que cada uno de los resortes ondulados puede ejercer una fuerza cortante de 50 kg a las grapas que lo sostienen al armazón. Si el resorte está sostenido al bastidor con dos grapas # 16, cada una de las cuales penetra al bastidor 2.2 cm. Si el bastidor es de pino con un contenido de humedad de 12 %, qué factor de seguridad tienen en promedio,

El esfuerzo de corte del pino al 12 % es 74 kg/cm² tal que su resistencia al corte sería según la Ec. 4.12:

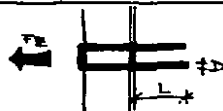
$$F_v = 2 (30 + 70.87 \times 2.2) 74 / 175.19 = 157 \text{ kg}$$

El factor de seguridad para esta unión sería 157/50 es decir 3.14.

4.4.3.2.- RESISTENCIA A LA EXTRACCION

La resistencia a la extracción de 16 grapas se calcula con la expresión:

FIG. 4.45



$$F_e = D (-36 + 77 L) EUv/272$$

Ec. 4.10

donde:

F_e = resistencia a la extracción de 16 grapas
 L = profundidad de penetración en la segunda pieza
 D = Diámetro de las patas de la grapa en mm
 EUv = Resistencia de la madera al corte //

TABLA 4.10 DIAMETRO DE ALAMBRE SEGUN SU CALIBRE

Calibre #	Diámetro	
	pulg.	mm.
10	0.1350	3.43
11	0.1250	3.18
12	0.1055	2.68
13	0.0915	2.32
14	0.0800	2.03
15	0.0720	1.83
16	0.0625	1.59
17	0.0540	1.37
18	0.0475	1.21
19	0.0410	1.04
20	0.0348	0.88

Para ilustrar su uso, asumamos que queremos conocer la resistencia a la extracción, de un refuerzo sujetado con 16 grapas #16 endidas a un madero de pino al 12 % de CH. La resistencia al corte del pino al 12 % es 74 kg/cm². Si el diámetro de la grapa #16 es de 1.59mm según la Tabla 4.10, la resistencia a la extracción será:

$$F_{e1} = (1.59)(-36 + 77 \times 2.5) 74/272 = 67.7 \text{ kg}$$

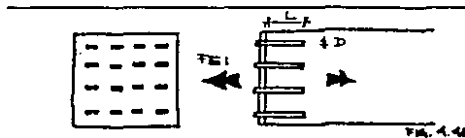


FIG. 4.46

ANALISIS ESTRUCTURAL DE TABLEROS Y MUEBLES APANELADOS

5

La madera es uno de los materiales más versátiles y probablemente el único con el que se puede construir una diversidad tan amplia de objetos: estructuras de barcos, puentes, viviendas, revestimientos, muros, puertas y ventanas, accesorios, mobiliario y una infinidad de enseres y utensilios. Esta posibilidad se ve enriquecida por los innumerables tableros o paneles contruidos a base de madera, que en la actualidad se producen con tecnologías que han permitido mejorarlos y aprovechar adecuadamente la materia prima.

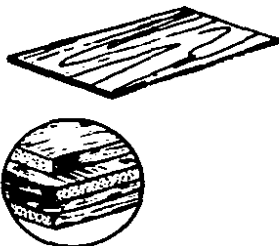
Por tablero o panel se entiende un elemento obtenido a partir de madera por medio de un proceso industrial, a veces bastante complejo. Se fabrican en dimensiones mayores que las obtenidas en piezas de madera aserrada por lo que con ellos es posible cubrir con facilidad superficies grandes.

Para muchas aplicaciones los paneles presentan ventajas considerables respecto a la madera aserrada. Entre estas ventajas pueden citarse las siguientes: uniformidad de calidad, estabilidad dimensional, facilidad con que se puede trabajar con técnicas y herramientas sencillas, facilidad con que pueden aplicarse acabados diversos, la sencillez con que se instalan, durabilidad, aislamiento acústico y térmico, y algunos ofrecen resistencia a agentes biológicos, al fuego y otros. Además, en muchos casos, sus propiedades mecánicas son superiores a las de la madera aserrada.

Estas son algunas de las razones que han hecho de los tableros uno de los materiales más utilizados por los fabricantes de mobiliario actual. Por ello es necesario conocer los principales aspectos que deben considerarse para su correcta utilización. En ingeniería del mueble nos interesa estudiar las posibilidades que brinda cada tipo de tablero, pero un tratamiento adecuado de la gama de tipos posibles queda fuera del alcance de un trabajo como el presente.¹¹⁾

Los principales tipos de tablero son: los contrachapados, que están constituidos por láminas o chapas encoladas de madera; los tableros aglomerados que están hechos a base de partículas de madera adheridas con resinas sintéticas; y los tableros de fibra de madera con resinas.

5.1.- TABLEROS CONTRACHAPADOS



En la actualidad los tableros más comunes son los de madera contrachapada o triplay. Son tableros que están constituidos por tres o más hojas de chapa unidas por una sustancia adhesiva y dispuestas de tal forma que las fibras de cada capa quedan perpendiculares respecto a la de las capas contiguas. Las chapas exteriores se denominan caras. A la capa o capas centrales se les llama corazón, centro o alma. El alma puede ser de chapa o de listones de madera. En este último caso se denominan tableros enlistonados.

Para evitar alabeos por falta de simetría el número de chapas, es siempre impar (generalmente tres o cinco), aunque pueden variar en número, espesor y calidad. Se colocan pares de hojas a los lados de una hoja central, de tal manera que para cada chapa exista una opuesta similar y paralela.

Las chapas para fabricar el triplay se obtienen ya sea desenrollándolas de trozas que se hacen girar sobre su eje, o mediante el rebanado paralelo.

11) PARA MAYOR INFORMACION SOBRE LOS PRODUCTOS FABRICADOS EN MEXICO PUEDE CONSULTARSE A LA ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE TABLEROS, A.C. (ANAFATA)

La madera contrachapada puede fabricarse con muchas modalidades, variando el número y el espesor de la chapa, la especie y la calidad de la madera de las diversas capas, el acabado superficial y el tipo de adhesivo. Los tipos producidos en México son semejantes a los de Estados Unidos y Canadá. El triplay finlandés, muy apreciado en Europa, difiere bastante del estadounidense, ya que se fabrica con láminas muy delgadas de madera de abedul, de manera que el número de capas para un espesor dado es bastante mayor.

Comparados con la madera sólida, algunas ventajas de los tableros contrachapados son:

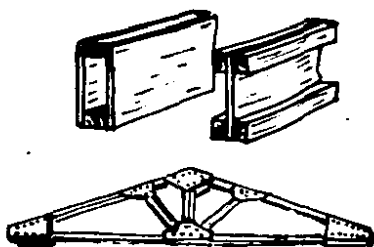
- Alta resistencia mecánica
- Similitud de resistencia en el sentido transversal y longitudinal, lo cual se hace más evidente conforme mayor es el número de chapas para un espesor dado.
- Mayor estabilidad dimensional en los sentidos principales del tablero.
- Pueden cubrir áreas considerables.
- Versatilidad de usos.
- Fácil trabajabilidad y manipuleo.
- Otra ventaja asociada al producto es que posibilita la utilización de ciertas especies blandas y marginadas, y de especies de rápido crecimiento.

La calidad de la madera y de las colas empleadas en la fabricación del tablero contrachapado determinan si éste puede ser utilizado como material estructural.

Los tableros contrachapados estructurales se utilizan en la construcción de pisos y muros portantes. Con ellos pueden diseñarse vigas compuestas y encoladas o clavadas en forma de vigas cajón, vigas de I o de doble T. Los tableros contrachapados estructurales se usan también para fabricar las cartelas que unen los elementos de madera componentes de la armadura.

Los tableros contrachapados no estructurales actualmente se usan para el recubrimiento de paredes y techos, así como para la fabricación de muebles, embalajes y puertas.

En cuanto a la resistencia a la humedad, la madera contrachapada se clasifica en tres tipos: a) triplay para uso interior, se fabrican con adhesivos a base de formaldeído de área,



cuya resistencia al agua es relativamente baja, por lo que pueden sufrir deslaminización al ser expuestos a la interperie por un tiempo prolongado; b) triplay para uso exterior, resistente al agua y a moderada exposición a la interperie, fabricado con resinas fenólicas; c) triplay marino, a prueba de agua y con gran resistencia a la interperie. Para conseguir triplay marino suele ser necesario hacer pedidos especial.

En los documentos: "NOM G-14-1978, Madera contrachapada de pino (triplay)", de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial de México; y "Normas de Proyecto-Tomo III, Componentes y Acabados, Sección 18, Carpintería", de la Dirección General de Obras Públicas, del Departamento del Distrito Federal, México 1975, se dan las normas que rigen la calidad del triplay en México. Para especificar la calidad se considera la calidad de las caras exteriores, que dependen de los defectos de la superficie. Las calidades de las chapas se designan por la letras N, A, B, C, D, en orden descendente de calidad. Es decir que, según estas instituciones, la calidad de un tablero contrachapado se designa especificando las calidades de las caras, dejando de lado las características de resistencia de ese tablero.

TABLA 4.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA CONTRACHAPADA FABRICADA EN MÉXICO*

Material	Espesores en mm.							Anchos en m.			
	3	4.5	6	9	12	16	19	21	.76	.91	1.22
Pino	X	X	X						1.52	1.52	1.52
	X	X	X						1.83	1.83	1.83
	X	X	X						2.14	2.14	2.14
	X	X	X						2.44	2.44	2.44
Marino (pino)				X	X	X	X	X			2.44
Caoba			X						1.52	1.52	1.52
			X						1.83	1.83	1.83
			X						2.14	2.14	2.14
			X						2.44	2.44	2.44
			X	X			X				2.44
Cedro		X			X				1.52	1.52	1.52
	X		X						1.83	1.83	1.83
	X		X						2.14	2.14	2.14
	X		X					2.44	2.44	2.44	
Trip. decor.			X								2.14
de mad. trop.			X						2.14	2.14	2.14

* Los valores de la tabla son las longitudes de las hojas

En la Tabla 4.1 se resumen las características de la madera contrachapada ofrecida comercialmente en México. Como en el caso de la madera aserrada las medidas son traducción al sistema métrico de medidas inglesas. Esto se debe a la procedencia del equipo utilizado en la fabricación del triplay.

Como puede apreciarse en la Tabla 4.1, se ofrece una variedad relativamente amplia de madera contrachapada de especies latifoliadas, muy apreciadas en la construcción de muebles por el atractivo de los acabados superficiales.

El triplay utilizado en México para fines estructurales en la construcción suele ser de madera de pino, su aplicación más común es en cimbras, por la calidad de los acabados que se logran con él, la sencillez constructiva de los sistemas de cimbrado que se emplea, la facilidad con que permite formar superficies curvas y su durabilidad. Contrariamente a la importancia que tanto en Europa como en los países del norte del continente tiene la madera contrachapada para formar elementos estructurales en la construcción y en mobiliario, en México su uso como estructuras permanentes y de mobiliario es todavía raro. Las dimensiones más comunes de las placas de triplay para cimbra son 1.22 por 2.40 m, con espesores de 9, 12, 16 y 21 mm.

Como lo demuestra la experiencia de otros países, la madera contrachapada ofrece un sinnúmero de posibilidades y ventajas para la construcción. Una de las razones por la que su uso en México está restringido a aplicaciones no estructurales o estructuras de diseño empírico, es la falta de información adecuada sobre las propiedades mecánicas de triplay disponible.

Influye también la escasa experiencia de los diseñadores en la utilización de elementos estructurales de madera contrachapada. El uso racional y económico de los tableros de triplay, de manera que su empleo sea el más apropiado, según su función estructural y las condiciones de humedad a la que vayan a estar expuestos, requiere de un conocimiento adecuado de las propiedades mecánicas y de la resistencia a la humedad, de los adhesivos empleados, así como en el desarrollo de métodos de diseño prácticos.

A continuación se presenta información sobre propiedades y aplicaciones de la madera contrachapada y se reseñan brevemente las características mecánicas y los principales aspectos del diseño de elementos estructurales de este material.

5.1.1.- Usos estructurales de la madera contrachapada

Gracias a la disposición perpendicular del grano de las chapas, se modera uno de los principales inconvenientes de la madera maciza: su anisotropía, así se logra que las resistencias de las láminas de triplay en sus dos direcciones principales sean semejantes. Otras ventajas que se derivan de la estructura

peculiar de la madera contrachapada son su alta resistencia al empuje lateral de los clavos, pernos y tornillos, su estabilidad dimensional, y su alta resistencia a las fuerzas cortantes en su plano, lo que es ventajoso en el diseño de ciertos elementos estructurales. Por otra parte la ligereza de los tableros y los componentes estructurales de triplay, así como la facilidad con que se ensamblan, permiten una notable rapidez en los procesos de construcción, sin necesidad de utilizar maquinaria ni herramientas especializadas. De especial interés es la posibilidad de recurrir a sistemas de prefabricación para producir componentes estandarizados para puertas, muebles de cocina, muros, techos, etc. Estos componentes, pueden fabricarse en instalaciones sencillas que no requieren grandes inversiones.

Las evidentes ventajas de la madera contrachapada que se han reseñado brevemente hacen pensar que su uso se irá haciendo más general, como ha sucedido en otros países donde se ha convertido en uno de los materiales preferidos para la construcción de mobiliario. Sin embargo para que esto acontezca es necesario contar con información confiable sobre las propiedades de la madera contrachapada fabricada en el país y desarrollar una intensa labor de divulgación y capacitación entre los diseñadores y técnicos.

En el inciso siguiente se describen las propiedades de la madera contrachapada que deben considerarse en el dimensionamiento y se proporcionan datos sobre esfuerzos permisibles y módulos de elasticidad. Dada la escasa información sobre usos del triplay en el país los datos proporcionados se basan esencialmente en las experiencias de Estados Unidos y Canadá. La principal referencia consultada fue la Norma para madera contrachapada de la American Plywood Association.

5.1.2.- Propiedades de la madera contrachapada

Como se indicó anteriormente, la madera contrachapada está formada por capas de chapa de madera, unidas con algún pegamento y colocadas de manera que las fibras de las chapas de cada capa son perpendiculares a las capas contiguas. Esto hace que en general la resistencia y rigidez de una pieza de triplay sean menores que las de una pieza de madera macisa de iguales dimensiones. La menor resistencia y rigidez del triplay respecto a la madera ordinaria se deben a que las capas de triplay cuyas fibras son perpendiculares a la dirección del esfuerzo contribuyen poco a la resistencia.

Al calcular los esfuerzos de trabajo (ET) producidos por las cargas aplicadas para compararlos con los esfuerzos permisibles (EP) debe tenerse en cuenta la estructura particular del triplay. Esto significa que los cálculos de esfuerzos no pueden hacerse a partir de las propiedades de sección deducidas de las dimensiones de la misma, como es el caso de las secciones de madera macisa

usada en armazones. Para simplificar la determinación de esfuerzos en triplay los manuales dan propiedades "efectivas" de sección para distintos tipos y medidas de triplay que tienen en cuenta la estructura peculiar del triplay, de tal manera que el proyectista puede proceder como si se tratara de una placa homogénea ortotrópica, es decir, una placa de propiedades distintas en dos direcciones perpendiculares. Así los manuales dan valores distintos de áreas y módulos de sección según la dirección considerada. Para el cálculo de deformaciones también se da un momento de inercia distinto para cada dirección.

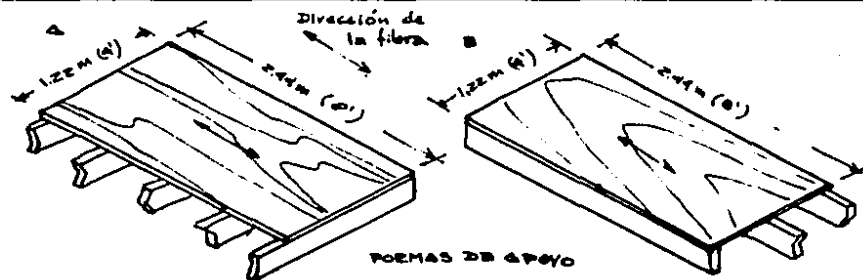
En la Tabla 4.2, basada en "Plywood Design Specification" de la American Plywood Association, Tacoma, Washington, 1978, se dan las propiedades correspondientes a triplay para usos estructurales, con las caras sin pulir. La Tabla 4.2 no indica el número de capas de los distintos espesores puesto que su influencia está involucrada en las propiedades dadas, de manera que este dato no se requiere para el cálculo. Los valores dados corresponden a un ancho de 100 cm. y toman en cuenta la naturaleza ortotrópica de la madera y las características mecánicas de las especies utilizadas en las distintas capas.

TABLA 4.2.- PROPIEDADES EFECTIVAS DE TRIPLAY SIN PULIR PARA USOS ESTRUCTURALES

(Los valores de las columnas 4 a 11 se refieren a un ancho de 100 cm.)

1 Espesor nominal (pulg)	2 Peso aproximado (kg/m ²)	3 Espesor efectivo (cm)	4 5 6 7 Propiedades efectivas para cálculo de esfuerzos paralelos a las fibras de las capas extremas				8 9 10 11 Propiedades efectivas para cálculo de esfuerzos perpendiculares a las fibras de las capas extremas			
			4 Área de la sección (A) (cm ²)	5 Momento de inercia (I) (cm ⁴)	6 Módulo de sección (S) (cm ³)	7 Constante para esfuerzo rodante (lb/Q) (cm ²)	8 Área de la sección (A) (cm ²)	9 Momento de inercia (I) (cm ⁴)	10 Módulo de sección (S) (cm ³)	11 Constante para esfuerzo rodante (lb/Q) (cm ²)
5/16	4.9	0.90	50.3	3.4	7.7	54.3	25.1	0.3	1.6	—
3/8	5.4	0.94	47.1	5.6	10.5	65.8	30.4	0.4	2.3	—
1/2	7.3	1.38	61.5	12.4	17.1	95.2	49.2	2.3	7.8	64.5
5/8	8.8	1.82	73.3	21.4	23.5	128.9	61.9	7.1	14.4	68.5
3/4	10.7	1.90	83.3	33.7	30.8	149.1	62.2	11.6	19.6	78.3
7/8	12.7	1.97	92.9	47.2	37.1	147.1	74.3	26.2	31.4	107.7
1	14.6	2.76	110.1	72.2	49.6	160.2	137.6	50.0	52.0	147.9
1-1/8	16.1	2.84	140.8	102.6	62.6	191.8	117.3	68.7	60.8	183.6

Cuando el esfuerzo se aplica en dirección paralela a la de las fibras de las capas exteriores deben usarse las propiedades en la Tabla 4.2 para cálculo de esfuerzos "paralelos". Este es el caso de la mayoría de situaciones prácticas, en que los tableros se colocan de manera que las fibras de las capas exteriores queden orientadas en dirección perpendicular a los apoyos con el fin de aprovechar la mayor efectividad del triplay en esta dirección. Fig. 5.3 a. Sin embargo puede suceder que los esfuerzos se apliquen en dirección perpendicular a la de las fibras de las capas extremas (Fig. 5.3 b). En tal caso deben usarse las propiedades para cálculo de esfuerzos "perpendiculares".



La única propiedad efectiva que es independiente de la dirección considerada es el espesor dado en la columna tres de la Tabla 4.2, que se utiliza para calcular esfuerzos cortantes perpendiculares. En la columnas 4 y 8 de la Tabla 4.2 se dan la áreas efectivas que deben utilizarse en cálculos de esfuerzos de tracción y compresión.

Los momento de inercia efectivos aparecen en las columnas 5 y 9 de la Tabla 4.2. Son aplicables a cálculos de deflexiones en combinación con los valores de el módulo de elasticidad correspondiente al tipo de triplay empleado. En la Tabla 4.3 se proporcionan valores típicos de módulos de elasticidad. Para determinar los esfuerzos debidos a flexión deben utilizarse los módulos de sección efectivos listados en las columnas 6 y 10 de la Tabla 4.2.

La información sobre esfuerzos permisibles y módulos de elasticidad y rigidez para triplay que se fabrica en México es escasa. En caso de usar madera contrachapada para fines estructurales se deberán hacer ensayos, con el fin de establecer esfuerzos permisibles apropiados.

11) MAYOR INFORMACIÓN SOBRE CONTRACHAPADOS ESTRUCTURALES APLICADOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN "ESTRUCTURAS DE MADERA", ROLLES Y SCHENIBUE, ED. LINDBA, 1963.

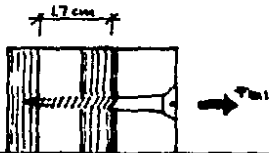
TABLA 4.3.- VALORES PERMISIBLES TÍPICOS PARA TRIPLAY

Tipo de esfuerzo	valor permisible (kg/cm ²)
Flexión (fibras de cara exterior paral. o perp. al claro)	
Tracción	55-140
Compresión en el plano de las capas en dirección perp o paral. a la fibras de las capas exteriores	40-115
Aplastamiento (compresión perp. a capas exteriores)	7-24
Esfuerzo cortante en planos perp. a las capas, en dirección perp o paral. a las fibras de caras ext.	10-18
Módulo de elasticidad en flexión (fibras de capas ext. paralelas o perp. al claro)	63000-126000
Módulo de rigidez (para fuerza cortante en planos perp a las capas)	3150-6300

Valores aplicables para cargas de duración normal (10 años) para un contenido de humedad de equilibrio de 16 %

Además, a continuación se presentan unas expresiones para calcular las fuerzas de extracción que resisten los tornillos cuando están enbebidos en madera contrachapada, ya sea en la cara o en el canto, y se describen algunas aplicaciones y se ejemplifica su uso.

5.1.3.- Resistencia a la extracción de tornillos de la cara



Existe muy poca información relativa a este tipo de análisis en tableros contrachapados. A continuación se presenta la expresión obtenida en pruebas con tableros contrachapados de maderas coníferas cuando se tiene 1.7 cm de penetración del tornillo:

$$F_e = 175.97 D^{0.8} p^{1.2}$$

Ec. 5.1

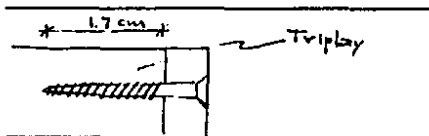
donde:

- F_{t1} = Resistencia a la extracción de tornillos en la cara de un tablero contrachapado (kg).
 D = Diámetro del tronillo en mm (Tabla 4.7)
 p = Peso específico de la madera del tablero a su contenido de humedad.

Las pruebas fueron hechas con una longitud de penetración de 1.7 cm y utilizando tableros contrachapados de maderas coníferas. El uso de esta ecuación para maderas latifoliadas necesita ser verificado.

5.1.4.- Resistencia a la extracción de tornillos en el canto

La fuerza de extracción requerida para sacar un tornillo embebido 1.69 cm en el canto de un tablero contrachapado de madera conifera, se calcula con la expresión:

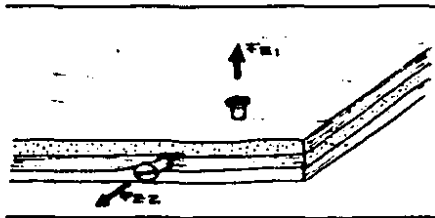


$$F_{t2} = 68.33 D p^{3/2}$$

Ec. 5.2

donde:

- F_{t2} = Resistencia a la extracción de tornillos en el canto (kg)
 D = Diámetro del tronillo en mm (Tabla 4.7)
 p = Peso específico de la madera del tablero a su contenido de humedad.



Para ilustrar el uso de las ecuaciones 5.1 y 5.2 calculemos el valor de la resistencia a la extracción de un tornillo #10 de la cara y el canto de un tablero contrachapado que tiene un peso específico de 0.44 a un 12 % de contenido de humedad. Se asume una profundidad de penetración de 1.70 cm.

El peso específico del tablero elevada a la potencia 3/2 es igual a 0.29. El diámetro del tornillo #10 es 4.83 mm, tal que su raíz cuadrada es 2.20. Sustituyendo estos valores en la Ec. 5.1 tenemos:

$$F_{c1} = 175.97 \times 2.20 \times 0.29 = 112.27 \text{ kg}$$

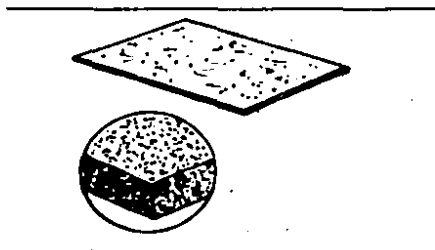
Así mismo, sustituimos los valores en la Ec. 5.2:

$$F_{c2} = 66.33 \times 4.83 \times 0.29 = 95.71 \text{ kg}$$

De acuerdo con estos resultados, la resistencia óptima a la extracción de un tornillo de un tablero contrachapado es 17 % mayor en la cara que en el canto.

5.2.- TABLEROS AGLOMERADOS

Los tableros de partículas o aglomerados, como también se denominan, se fabrican con fragmentos pequeños de madera natural (astillas, madera rolliza, residuos de aserrado, hojuelas, virutas, etc.) de cualquier especie u otros materiales lignocelulósicos, unidos por medio de algún adhesivo, bajo determinadas condiciones de temperatura y presión.



El material, primero es convertido en astillas y seguidamente en partículas; éstas se secan hasta alcanzar un contenido de humedad de 3 a 5 %. Las partículas se clasifican en gruesas y finas. Aquellas no son de tamaño apropiado se las reprocesa hasta alcanzar la dimensión requerida. Se mezclan con los adhesivos. Se llevan a la máquina formadora donde el material es moldeado en dos capas exteriores de material fino y una interior de material grueso. Los tableros son comprimidos en una prensa caliente, luego lijados y cortados a las dimensiones requeridas. Finalmente se acondicionan para lograr la distribución uniforme del contenido de humedad y evitar posibles alabos.

Las diferencias principales de los tableros de partículas respecto a las de fibra son el estado físico en que se encuentra la madera utilizada y el hecho de que en las partículas siempre es necesario recurrir al empleo de adhesivos.

El adhesivo más frecuentemente usado es el de urea formaldehído, que es un pegamento resistente al agua, pero no a prueba de ella. Cuando se requiere mayor resistencia a la humedad se utilizan adhesivos a base de melamina-urea-formaldehído. Cuando se desea contar con especial resistencia a la interperie y al fuego se recurre a resinas fenólicas. También se pueden agregar aditivos que mejoran las características del tablero. Las resinas

utilizadas como aglomerantes representan entre el 5 y el 10 % del material de madera seco. En algunos tableros de partículas se utiliza cemento portland como aglomerante.

La mayor parte de los paneles de partícula o aglomerados que se fabrican actualmente tienen una densidad entre 0.4 y 0.6 g/cm³. Este tipo de paneles se emplean en mueblería y en construcción. Los tableros con densidades menores a 0.40 g/cm³, se los utiliza como paneles aislantes o como centros de piezas ligeras.

Generalmente los tableros de partícula son apropiados para uso interior, ya que pueden descomponerse en contacto prolongado con la humedad. No son adecuados para uso estructural como armazones, pues tienden a desintegrarse al trabajar con altos esfuerzos y cargas de larga duración. Por ello es conveniente trabajarlos como elemento de recubrimiento o como parte de un mueble apanelado.

En la actualidad los tableros de triplay son los de uso más común, sin embargo la producción de tableros de partículas parece estar aumentando a un ritmo mayor que el de triplay y el de tableros de fibra. Una de las razones de esto, como ya se señaló, es que permiten el aprovechamiento de los desperdicios de otras industrias forestales.

En México se producen tableros de peso volumétrico promedio de 400 a 800 kg/m³. Algunos tienen tres capas, las dos extremas más comprimidas y de partículas más pequeñas que la central. Las medidas comerciales de los tableros fabricados con resinas son las siguientes:

Espesores: 2, 3, 4, 5, 5.5, 6, 7.5, 9, 10, 10.5, 12, 14, 16, 17.5, 19, 21, 25, 30 y 38 mm.

Anchos: 0.91, 1.22 y 1.83 m.

Largos: 1.83, 2.44, 3.05, 3.66, 4.27 y 4.88 m.

A continuación se presentan unas expresiones para calcular las fuerzas de extracción que resisten los tornillos cuando están embebidos en tableros aglomerados, ya sea en la cara o en el canto, y se describen algunas aplicaciones y ejemplos de su uso.

5.2.1.- RESISTENCIA A EXTRACCION DE TORNILLOS DE LA CARA



La resistencia última promedio para la extracción de tornillos de la cara de un tablero aglomerado, se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{e1} = 2655 D^{0.9} (L - D/3)^{0.4} p^2 / 2.2$$

Ec. 5.3

donde:

F_{e1} = Resistencia última a la extracción de tornillos de la cara del tablero aglomerado. (kg)

p = Peso específico

L = Profundidad de penetración (cm)

D = Diámetro del tornillo (mm)

TABLA 5.1.- VALORES DE 2655 D^{0.9} (L-D/3) PARA DIFERENTES VALORES

Torn #	Profundidad de penetración									
	0.64 1/4"	0.95 3/8"	1.27 1/2"	1.59 5/8"	1.91 3/4"	2.22 7/8"	2.54 1"	3.18 1.25"	3.81 1.5"	5.1cm 2.0"
1	112	194	283	379	480	588	695	925	1167	1419
2	118	207	304	408	518	623	751	1000	1262	1535
3	124	219	323	334	552	674	801	1068	1349	1642
4	128	229	339	457	582	712	847	1131	1429	1741
5	132	238	354	479	610	747	890	1189	1504	1833
6	135	246	368	498	636	780	930	1244	1575	1920
7	138	253	380	516	660	811	967	1295	1641	2002
8	140	259	391	533	683	839	1002	1344	1704	2080
10	142	270	411	563	723	892	1067	1433	1820	2225
12	143	277	427	588	759	938	1124	1514	1926	2357
14	142	283	441	611	791	979	1175	1588	2023	2478
16	140	287	452	630	819	1017	1223	1656	2113	2591
18	137	289	461	646	843	1050	1266	1718	2196	2696
20	133	290	468	661	865	1080	1304	1776	2274	2795

Para facilidad se han tabulado valores de 2655 (L-D/3)^{0.9} en la Tabla 5.1. De acuerdo a esta expresión, la resistencia a la extracción es proporcional a la raíz cuadrada del diámetro del tornillo, que contrasta con el comportamiento de la madera sólida (Apartado 4.5.2), en que la resistencia a la extracción de tornillos es directamente proporcional a su diámetro. Se debe notar que se utiliza el peso específico del tablero con su contenido de humedad y no su densidad, por lo que para calcular este peso específico utilizamos la siguiente expresión:

$$p = d (1 - CH/100)$$

Ec. 5.4

donde:

p = Peso específico del tablero a un CH dado
 d = densidad del tablero (g/cm³)
 CH = porcentaje de contenido de humedad

Digamos que queremos calcular la resistencia óptima a la extracción de un tornillo #10, embebido 1.91 cm en la cara de un tablero aglomerado que tiene una densidad d de 0.8 g/cm³ a un 10 % de contenido de humedad.

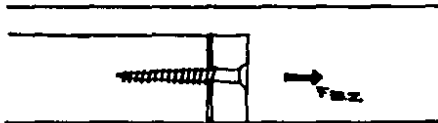
Sustituyendo los valores en la Ec. 5.4 tenemos:

$$p = 0.8 (1 - 10/100) = 0.72$$

De acuerdo a la Tabla 4.1 vemos que el factor para la profundidad y diámetro de un tornillo #10, embebido 1.91 cm es de 723. El valor de p^2 es (0.72)² esto es 0.518. Sustituyendo los valores en la Ec. 5.3 tenemos:

$$F_{s1} = 723 \times 0.518/2.2 = 170.23 \text{ kg}$$

5.2.2.- RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DE TORNILLOS DEL CANTO



La resistencia a la extracción de tornillos embebidos en el canto de un tablero aglomerado, se calcula con la expresión:

$$F_{s2} = 2055 D^{0.8} (1 - D/3)^{0.4} p/2.2 \quad \text{Ec. 5.5}$$

donde:

F_{s2} = Resistencia a la extracción de tornillos del canto del tablero aglomerado.
 y el resto de la nomenclatura igual a la de Ec. 5.2.1

Debido a que las relaciones de esta expresión son semejantes a aquellas de la resistencia a la extracción de tornillos de la cara del tablero, pueden expresarse en función de ella:

$$F_{s2} = 0.75 F_{s1} \quad \text{Ec. 5.6}$$

Por ejemplo, queremos calcular la resistencia a la extracción de un tornillo #8, embecido 2.22 cm en el canto de un tablero aglomerado que tiene una densidad de 0.64 g/cm³, al 10 % de contenido de humedad.

De la Ec. 5.4 vemos que el peso específico del tablero es:

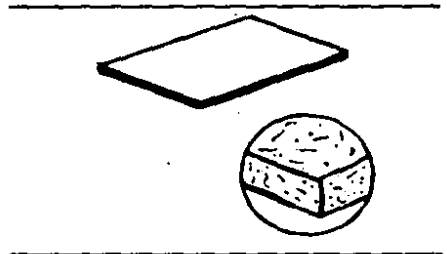
$$p = 0.64 (1 - 10/100) = 0.58; \quad p^2 = 0.336$$

Ya que: $F_2 = 0.75 F_{2.1}$; podemos calcular la profundidad necesaria encontrando el factor apropiado de extracción de la cara en la Tabla 5.1, y multiplicarlo por 0.75. Realizando las operaciones y sustituciones del caso en la Ec. 5.3, tenemos:

$$F_{2.1} = 0.75 (839 \times 0.336/2.2) = 96.10 \text{ kg}$$

5.3.- TABLEROS DE FIBRA

Los tableros de fibra están hechos a base de fibras obtenidas de pulpa o pasta de madera u otros materiales lignocelulósicos. Se adhieren por entrecruzamiento de las fibras, de modo que formen un fieltro, el cual es compactado al pasar entre rodillos o en una prensa caliente. Las materias primas que se utilizan pueden ser trozos de madera o residuos sólidos de árboles y de madera aserrada.



En la fabricación de tableros de fibra mediante el proceso húmedo, la madera es convertida en astillas, las cuales al pasar a través de una desfibradora, se reducen a fibras por acción mecánica y vapor de agua. La pulpa producida se trata con sustancias químicas que homogenizan su calidad e imparten cierta resistencia a la absorción del agua en el producto terminado. Luego la pulpa se vacía en la máquina formadora, donde se constituye una lámina continua que alimenta la prensa caliente. Una vez prensados los tableros son acondicionados y cortados en la dimensión requerida.

Pueden agregársele sustancias para aumentar su resistencia al fuego, a la humedad o al ataque de hongos e insectos.

Las densidades de los tableros de fibra son muy variables,

según el tratamiento de presión utilizado. En México se fabrican tres tipos de tableros de fibra: los de baja densidad, también llamados aislantes o blandos, con densidades de 0.23 a 0.4 g/cm³, y los media densidad o duros, con densidad de 0.8 g/cm³, y los de alta densidad o extraduros, con densidad de 1.2 g/cm³.

Los tableros blandos pueden o no requerir de prensado. El material debe tener integridad y cohesión física, de manera que no se necesite aplicar grandes presiones en el proceso de fabricación. Por su naturaleza son de menor resistencia mecánica que los aglomerados. Los tableros blandos se emplean en la construcción, como aislantes termoacústicos en entrepisos, techos y divisiones, así como en el acabado de algunos interiores.

Los tableros semiduros y duros, fabricados por medio de prensado caliente, pueden tener una o dos caras lisas. En el primer caso, la contracara tiene un entramado característico producido por la malla utilizada para facilitar el escape de vapor durante el prensado. Los tableros con dos caras lisas, las fibras se han secado antes del prensado en caliente y por tanto no se requiere el uso de la malla. Una gran parte de los tableros duros se usan en la construcción, donde se destinan a revestimientos exteriores, recubrimiento de paredes, revestimiento de puertas y cimbras.

También se utilizan en la fabricación de muebles por presentar una consistencia homogénea, dando uniformidad a la textura tanto de las caras como de los cantos, aún ya cortados. Por esto son utilizados con buenos resultados en torneados, molduras y ensambles de todo tipo. Puede ser utilizado como tablero o como sustituto de la madera macisa. Se lo trabaja con las herramientas convencionales y maquinaria para procesar la madera: con el taladro se obtienen perforaciones tersas de paredes duras y compactas; para lograr cualquier espesor se las puede juntar por capas y trabajarlas en la forma habitual. Los acabados con pistola de aire o con brocha son adecuados. Pueden hacerse cortes con sierra de disco, de cinta o con el serrate manual. Utilizando el reuter o el trompo se logran molduras, ranurados y cordones muy sólidos y sin deterioro de las aristas hasta los 90° y en igual forma los torneados. Estas propiedades lo hacen superior frente a los tableros aglomerados.

Las medidas comerciales de los tableros de fibra aislantes son las siguientes:

- Espesores:** 9, 12 y 19 mm.
Anchos: 1.22 m.
Largos: 1.83, 2.44 y 3.05 m.

Los tableros duros y extraduros se consiguen con las siguientes medidas:

Espesores: 3, 5, 6 y 6.5 mm

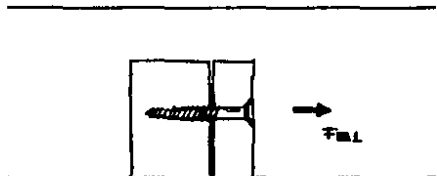
Anchos: 0.61, 0.91 y 1.22 m.

Largos: 1.22, 1.83, 2.44, 2.75, 3.06, 3.66 y 5.49 m.

A continuación se presenta una expresión para calcular las fuerzas de extracción que resisten los tornillos cuando están embebidos en tableros de fibra.

5.3.1.- RESISTENCIA A LA EXTRACCION DE TORNILLOS DE LA CARA

La resistencia a la extracción de tornillos embebidos en la cara de un tablero de fibra es mayor que la resistencia a estos esfuerzos en los tableros aglomerados. Esta resistencia última se calcula con la siguiente expresión:



$$F_{eL} = 3700 D^{0.8} (L-D/3)^{0.1} p^2 / 2.2$$

Ec. 5.7

donde:

F_{eL} = resistencia última a la extracción de tornillos de la cara del tablero [kg]

p = peso específico

L = profundidad de penetración [cm]

D = diámetro del tornillo [mm]

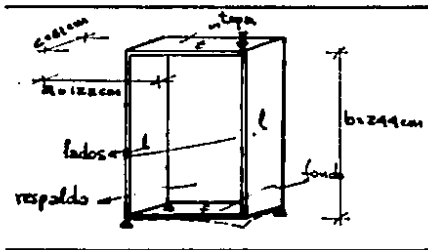
Si comparamos las Ec. 5.7 y 5.3 vemos que la resistencia última a la extracción de tornillos de la cara de un tablero de fibra es 40 % mayor que la resistencia en un tablero de aglomerado de la misma densidad:

$$F_{eL} = 1.4 F_{eA}$$

Ec. 5.8

5.4.- DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS APANELADAS

En algunos casos se encuentran compuestos totalmente de paneles y en otros existe una estructura de armazón rigidizando el mueble. Este último caso implica una interacción estructural hiperestática bastante compleja de analizar, sobre todo debido a la escasa información disponible sobre el comportamiento elástico de los componentes. Sin embargo los muebles que están contruidos únicamente con tableros y cuya rigidez depende de la rigidez individual de dichos tableros, pueden ser analizados de manera sencilla. En el capítulo 1 revisamos ya el comportamiento estructural de este tipo de mobiliario cuando se le aplican cargas y la manera de rigidizarlo, ahora analicemos su comportamiento cuantitativamente.



Consideremos una caja de cinco lados simplemente apoyada en tres esquinas, como se indica en la figura. Asumimos que la caja está construida con tableros prefabricados ya sean de aglomerados, contrachapados o de fibra, que están pegados en sus aristas, no existen refuerzos estructurales de armazón o si están presentes su incidencia en la resistencia del mueble no es significativa.

Bajo la acción de la fuerza F , la deformación Y de la esquina sin apoyo puede ser calcula con la expresión:

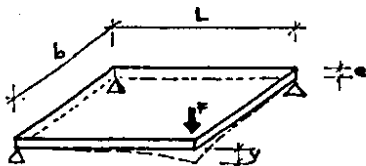
$$Y = \frac{F}{\frac{Ff}{yf} + \frac{Ft}{yt} + \frac{2b^2}{a^2} \times \frac{Fl}{yl} + \frac{b^2}{c^2} \times \frac{Fr}{yr}} \quad \text{Ec. 5.9}$$

donde:

Y = deformación de la esquina sin apoyo bajo la acción de la carga F

a, b, c = ancho, alto y profundidad de la caja

$\frac{Ff}{yf}$; $\frac{Ft}{yt}$; $\frac{Fl}{yl}$; $\frac{Fr}{yr}$ = Rigidez a la torsión del asiento, tapa, lados y respaldo de la caja respectivamente.



Los valores $[F/y]$ de cada panel pueden ser determinados experimentalmente como sigue: el panel es apoyado en tres esquinas y una carga vertical F es aplicada en la esquina libre. La flecha de deformación y en esta esquina es así determinada y el valor $[F/y]$ puede ser calculado.

También se lo puede hacer analíticamente a través de la expresión:

$$\frac{F}{y} = \frac{e^3 G}{3 L b}$$

Ec. 5.10

donde:

- F = carga vertical aplicada en la esquina libre
- y = flecha de deformación de la esquina libre en cm
- G = módulo de rigidez del material (Ver Anexo A1)
- e = espesor del tablero en cm
- L = largo del tablero en cm
- b = ancho del tablero en cm

Por ejemplo, si asumimos que la caja que consideramos está construida de un tablero aglomerado de 19 mm de espesor (1.9 cm), que tiene un módulo de rigidez de 13386 kg/cm², entonces los paneles tienen la siguiente rigidez:

$$\frac{Ff}{yf} = \frac{Ft}{yt} = \frac{(1.9)^3 \times 13386}{3 \times 122 \times 61} = 4.11 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{Fl}{yl} = \frac{(1.9)^3 \times 13386}{3 \times 61 \times 244} = 2.06 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{Fr}{yr} = \frac{(1.9)^3 \times 13386}{3 \times 122 \times 244} = 1.03 \text{ kg/cm}$$

Sustituyendo estos valores en la Ec 5.9 calculamos la rigidez de

la caja:

$$Y = \frac{F}{4.11 + 4.11 + \frac{2(244)^2}{(122)^2} \times 2.06 + \frac{(244)^2}{(61)^2} \times 1.03} = \frac{F}{41.18 \text{ kg/cm}}$$

Lo que significa que se requieren 41.18 kg de carga para deformar un centimetro la esquina de la caja.

Si la caja estuviera construida de tableros contrachapados, que tienen un módulo de rigidez de 6341 kg/cm², la caja sólo tendría 47 % de la rigidez, o sea, se requerirían 19.35 kg para deformar un centimetro la esquina libre.

La eficiencia de una estructura de paneles con respecto al espesor de ellos puede ser calculado a partir de las mismas ecuaciones. Supongamos, por ejemplo, que con el propósito de rigidizar la caja, se la construye con paneles de 2.5 cm de espesor, en lugar de 1.9 cm. Resolviendo el cálculo tenemos:

$$Y = \frac{F}{9.37 + 9.37 + 2(244/122)^2 \times 4.68 + (244/61)^2 \times 2.34} = \frac{F}{93.6 \text{ kg/cm}}$$

Incrementando el espesor de todos los paneles en un 33 % su rigidez aumentó 227 %, pero si todo el material añadido hubiese sido puesto únicamente en uno de los paneles, por ejemplo en el asiento, la rigidez conseguida hubiese sido mayor, veamos por qué: toda la superficie exterior de la caja es de 74420 cm², si le incrementamos 6 mm de espesor a los paneles añadimos 44652 cm³ a su volumen; si todo este volumen de material adicional le añadimos al panel del fondo que mide 61 x 122 cm o sea 7442 cm², le estaremos añadiendo un espesor adicional de 6 cm al de 1.9 cm que tenía en principio, así ahora tendremos 7.9 cm de espesor, entonces:

$$Y = \frac{F}{295.6 + 4.1 + 2(244/122)^2 \times 2.06 + (244/61)^2 \times 1.03} = \frac{F}{332.68 \text{ kg/cm}}$$

Es decir que aumentando todo el material a un solo panel, en vez de distribuirlo uniformemente en todos los paneles, la rigidez aumentó en 808 %. Este análisis demuestra claramente que un incremento en el espesor de un solo panel eleva sustancialmente la rigidez de toda la estructura, debido a que la rigidez de un panel es proporcional al cubo de su espesor, y como los paneles están interconectados este incremento de rigidez se distribuye a toda la estructura.

5.5.- DIMENSIONAMIENTO DE ANAQUELES

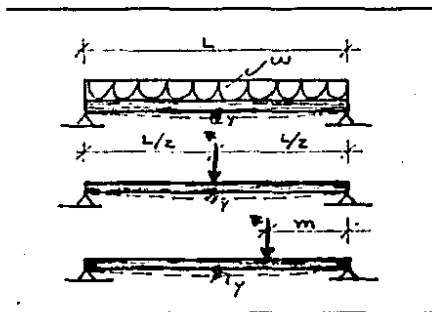
En el diseño estructural de anaqueles, la consideración más importante que se debe tomar en cuenta es la deformación máxima que se produce en el centro de la pieza cuando el entrepaño o anaquel recibe la carga de trabajo. El requisito fundamental es que esta flecha máxima no exceda los valores que se consideran permisibles, para que la deformación sea imperceptible a simple vista. Establecer estos valores permisibles es una cuestión discutible, existen normativas que permiten flechas cuyos valores no excedan de 1/200 a 1/500 de la luz o claro que salva el entrepaño, luego de unos días de estar cargado. Eckelman propone que flechas de deformación de 1/180 de la luz son imperceptibles visualmente.

Existen tres casos de carga que nos interesa considerar en deformaciones de anaqueles: a) la flecha producida por una carga uniformemente repartida; b) la flecha producida por una carga concentrada aplicada a la mitad de la luz; y c) la flecha producida por una carga concentrada aplicada a cualquier distancia de los extremos.

La flecha máxima que se produce a la mitad de la luz, para el primer caso de carga se calcula con la expresión:

$$Y = \frac{5 w L^4}{384 E I}$$

Ec. 5.11



$$I = \frac{b h^3}{12}$$

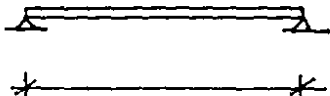
Ec. 5.12



donde:

- Y = flecha o desviación en el punto medio de la luz (cm)
- w = valor de la carga uniformemente repartida en kg/cm
- L = luz o claro que salva el entrepaño (cm)
- E = módulo de elasticidad del material del entrepaño
- I = momento de inercia del entrepaño
- b = ancho del entrepaño
- h = espesor del entrepaño

Para ejemplificar consideremos el siguiente caso: el entrepaño de un librero está construido de pino, que tiene un módulo de elasticidad de 140909 kg cm², con un contenido de



humedad del 7 % y sus medidas con 1.8 cm de espesor, por 27 cm de ancho y por 87 cm de largo. Está cargado de revistas que tienen un peso de 0.54 kg/cm. ¿Cuál es la flecha del entrepaño a la mitad de la luz? Sustituyendo los valores en las Ec. 5.11 y 5.12 tenemos:

$$Y = \frac{5 \times 0.54 \times (87)^4 \times 12}{384 \times 140809 \times 27 \times (1.8)^3} = 0.22 \text{ cm}$$

Este valor de flecha no es significativo, pero debemos considerar que el entrepaño permanecerá cargado, lo que incrementará la flecha hasta un valor cercano al doble de la flecha inicial. La flecha inicial fue de 0.22 cm en una luz de 87 cm o sea 1/395 de la luz; sin embargo la flecha final esperada será de 0.44/87 o sea 1/197 de la luz, lo que se considera dentro de los límites admisibles.

En el segundo caso de carga, cuando una carga concentrada es aplicada a la mitad de la luz, la desviación del entrepaño se calcula con la expresión:



$$Y = \frac{F L^3}{48 EI}$$

Ec. 5.13

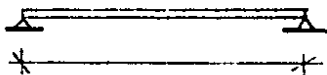


donde:

F = carga concentrada aplicada a la mitad de la luz.
y el resto de la nomenclatura igual al caso anterior

Si en el ejemplo anterior, hubiésemos aplicado una carga de 23 kg. al entrepaño, como puede ser una máquina de escribir, la flecha inicial sería:

$$Y = \frac{23 (87)^3 \times 12}{48 \times 140809 \times 27 \times (1.8)^3} = 0.17 \text{ cm}$$



En el tercer caso de carga, cuando la carga concentrada se aplica a cualquier distancia de los apoyos, la flecha a la mitad del entrepaño se calcula con la expresión:

$$Y = \frac{F x (3L^2 - 4b^2)}{48 EI} \quad \text{Ec. 5.14}$$

donde:

x = es la distancia de aplicación al extremo derecho del entrepaño
y el resto de la nomenclatura es igual a los anteriores

Si en el ejemplo anterior hubiésemos aplicado la carga a 35 cm del borde derecho, la flecha en la mitad del entrepaño sería:

$$Y = \frac{23 \times 35 (3 \times 87^2 - 4 \times 35^2 \times 12)}{48 \times 140909 \times 27 \times 1.8^3} = 0.16 \text{ cm}$$

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Con el propósito de realizar una serie de consideraciones en torno a la ingeniería del mueble, veo la necesidad de plantear una visión general que permita identificar cuál es el papel que desempeña esta disciplina dentro del proceso de diseño que se lleva a cabo al desarrollar un sistema de productos, en este caso, mobiliario de vivienda.

Si consideramos al mobiliario básico de vivienda como objetos de diseño, para comprenderlos en términos muy generales, los podemos analizar a través dos categorías: su contenido y su forma.

El contenido del objeto está dado por las determinaciones sociales que se sitúan en un marco de caracterización económica de la realidad y que contemplan el modo de reproducir las relaciones sociales a través de ellos. Cuando se habla de contenido, se habla de procesos¹¹; el primer momento del proceso está constituido por la necesidad de consumo de un determinado objeto, el segundo momento por los procesos dados como necesidad de producción, y un tercer elemento de los articula y condiciona, los procesos de cambio y circulación. Estos son los aspectos contradictorios, a nivel muy general, que explican el contenido estructural del objeto. Entonces, al diseñar y configurar la forma de un objeto se atiende a su contenido, es decir, se atiende a los sistemas de necesidades específicas en el consumo, en la producción y en el intercambio y distribución.

Estos contenidos tienen su manifestación en la forma, que para entenderla mejor la podemos explicar en dos niveles: la forma interna y la forma externa.

En la forma interna están comprendidas las relaciones entre sujetos y objetos, y pueden ser abstraídas a partir del concepto de función. La función se entiende en tres aspectos: práctico-utilitarios, simbólicos y estéticos"; es decir este nivel tiene que ver tanto con aspectos ergonómicos, así como aspectos perceptivos, valorativos, culturales e ideológicos, que se evidencian cuando el usuario se relaciona con el objeto.

La forma externa es la expresión material, física, de los otros niveles. Comprende los aspectos tecnológicos, constructivos, formales, etc. que forman parte del objeto mismo. Así, a este nivel podemos analizar aspectos que determinarán la composición física y formal del objeto. En nuestro caso de mobiliario, el determinar el tipo de material con que será fabricado, el sistema constructivo y estructural, el tamaño de las partes y ensambles, su expresión formal: escala, proporción, color, textura, etc., son cuestiones que van a permitir que los aspectos considerados en el contenido y en la forma interna se concreten.

Este trabajo sobre la ingeniería del mueble, enfoca al diseño en lo concerniente a la forma externa, y más específicamente, en relación al proceso del desarrollo del producto atendiendo a las características estructurales y de resistencia de los materiales utilizados; sin que esto signifique que los otros niveles sean menos importantes. Es más, si bien los aspectos del contenido y de la forma interna no son tratados en el presente trabajo, cabe mencionar que la ingeniería del mueble debe aplicarse en función de lo que plantee el diseñador en estos otros niveles.

Por ejemplo, tomando en cuenta algunos aspectos del contenido, es evidente la necesidad de consumo de este tipo de mobiliario; cuando se habla de las necesidades sociales de vivienda, por lo general se refieren a proporcionar el espacio físico habitable a grandes sectores de la población, pero comprendiendo únicamente soluciones arquitectónicas. Hasta el momento, es común que las instituciones del estado encargadas de proporcionar vivienda no hayan considerado en sus programas la necesidad del mobiliario básico que permita cumplir satisfactoriamente las necesidades de habitación dentro de estas viviendas, dejando que cada familia resuelva individualmente este problema.

Si esto no es posible en los actuales momentos por no disponerse de recursos suficientes, se debería al menos, reglamentar una serie de normas mínimas y recomendaciones de fabricación. Tratándose de mobiliario básico de vivienda dirigido a los sectores populares, no se debe escatimar esfuerzos para abaratar costos, sin que ello signifique una reducción de su eficiencia y calidad. Es en este sentido que la ingeniería del mueble brinda una de las herramientas que deberán utilizarse

hundo se aborja integralmente el problema.

Ahora, tomando en cuenta las necesidades en la producción, la ingeniería del mueble debe considerar el estado de la industria del mueble en nuestros países: la urgencia de desarrollo tecnológico no necesariamente implica la incorporación de nuevo equipamiento, sino más bien elevar la productividad con un mejor aprovechamiento de la materia prima y de la abundante mano de obra existente, aplicándola a procesos productivos sencillos, que no requieran mano de obra altamente calificada ni maquinaria sofisticada, y que permitan lograr niveles aceptables de calidad y costos. La industria mueblera necesita de la aplicación de técnicas baratas (como la ingeniería del mueble) para abaratar costos. El alto nivel de especialización alcanzado por las ramas industriales, debe ser corroborado por una aplicación más eficiente de los conocimientos y fundamentos de la ingeniería.

Esta tesis ha tratado de sintetizar la información que puede sernos útil en el proceso de diseño estructural, partiendo de la información de que se dispone en nuestro medio. Quedan muchas cosas por resolver, los primeros pasos se han dado y depende de futuras investigaciones el que la ingeniería del mueble abarque un mayor campo de aplicación. Dentro del nivel pedagógico este trabajo pretende ser un práctica sobre lo que constituye la aplicación de diversas ciencias (en este caso las matemáticas y la física), en las facetas de configuración de la forma externa de un objeto de diseño industrial. El diseñador industrial debe hacer suya la herramienta de la ingeniería y otras ciencias para fundamentar cada vez más su obra en procedimientos científicos.

El objetivo general que se persigue es el proceso de racionalización del diseño y fabricación de mobiliario. La racionalización implica optimizar las relaciones entre los niveles de forma y contenido del mueble. De esta manera es como podemos visualizar la presencia de aspectos sociales, económicos, culturales, ideológicos, etc., de los sujetos que intervienen en el proceso: empresario-diseñador-usuarios. En este sentido, la práctica de la ingeniería del mueble promueve un diseño responsable y en favor de ello corresponderá trabajar para hacernos dignos de lo que nuestra sociedad espera de los diseñadores.

BIBLIOGRAFIA

Caridad-Kuri-Cohen. MANUAL DE SISTEMAS DE UNION Y ENSAMBLE DE MATERIALES.

Editorial Trillas, 1986

Camba-Chacón -Pérez. APUNTES DE ANALISIS ESTRUCTURAL I
Facultad de Ingeniería Civil. UNAH 1982

CARTILLA DE CONSTRUCCION CON MADERA
Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980

Dávalos, R. DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA
INIREB-LACITEMA, 1984

Echenique Manrique, Ramón. ALGUNAS CARACTERISTICAS FISIOMECAICAS DE LA MADERA DE TRES ESPECIES TROPICALES DE LA CORDILLERA NEOVOLCANICA
INIF, 1981

Echenique-Díaz Gómez. ALGUNAS CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE LA MADERA DE ONCE ESPECIES MEXICANAS
INIF.

Eckelman, Carl. STRENGTH DESIGN OF FURNITURE
Tim Tech, Inc. 1978

-
- Flores, Luis. ANATOMIA DE LA MADERA DE TRES ESPECIES TROPICALES MEXICANAS. INIF, 1981
- Grigoriev, M.A. ESTUDIO DE MATERIALES PARA EBANISTAS Y CARPINTEROS Editorial Mir, 1985
- Hoadley, Bruce. UNDERSTANDING WOOD Bell & Hyman, 1980
- Huerta Crespo, Juana. ANATOMIA MACROSCOPICA Y ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE DIECISIETE MADERAS TROPICALES MEXICANAS INIF, 1981
- Hurtado, Diego. TECNOLOGIA DE LA MADERA Tesis de Grado Unidad Posgrado en D.I. UNAM, 1986
- Johnson, Hugh. LA MADERA Editorial Blume, 1978
- Joyce, Ernest. THE TECHNIQUE OF FURNITURE MAKING B.T. BATSFORD LTD, 1970
- Krick, Edward. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA Editorial Limusa, 1979
- Martensson, Alf. THE WOODWORKER'S BIBLE Pitman House, 1980
- Mc.Cormac, Jack. ANALISIS ESTRUCTURAL Ediciones Harla, 1983
- Mc. Cormick, Ernest. ERGONOMIA Editorial Gustavo Gili, 1980
- MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984
- MOISTURE CONTENT-STRENGTH ADJUSTMENTS FOR WOOD University of Wisconsin, 1941
- Murrieta-Bacelis-Mora. APLICACIONES DE LA ESTADISTICA Editorial Limusa, 1982
- Panero-Zelnik. LAS DIMENSIONES HUMANAS EN LOS ESPACIOS INTERIORES Editorial Gustavo Gili, 1983
- Perez-Carmona-Rogel. ESTUDIO ANATOMICO DE LA MADERA DE 43 ESPECIES TROPICALES. INIF, 1980
- Peschard, Eugenio. RESISTENCIA DE MATERIALES UNAM, 1979

-
- Ferrit, Tomm. WOODWORK MADE SIMPLE
W. H. ALLEN, 1977
- Frak-Myers. FURNITURE MANUFACTURING PROCESSES
North Carolina State University, 1981
- Robles - Echenique. ESTRUCTURAS DE MADERA
Editorial Limusa, 1983
- Robles, Francisco. USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA EN MEXICO
INIREB-LACITEMA, 1984
- Romero-Pérez-Corral. CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y FISIOMECAICAS
DE OCHO ESPECIES DE CONIFERAS DE BAJA
CALIFORNIA NORTE
INIF 1982
- Salinas, J.J. CONEXIONES CON CLAVOS, PERNOS Y PIJAS
INIREB-LACITEMA, 1983
- Salinas, J.J. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA EN FLEXION
INIREB-LACITEMA, 1982
- Spannagel, Fritz. TRATADO DE EBANISTERIA
Editorial Gustavo Gili, 1975
- TECNOLOGIA DE LA MADERA
Editorial Don Bosco,
- U.S. Forest Products Laboratory. WOOD ENGINEERING HANDBOOK
Prentice-Hall, Inc. 1974
- Willard, Rudolph. FURNITURE CONSTRUCTION,
North Carolina State University, 1982
- Wills-Baroni-Chiarelli. EL MUEBLE, HISTORIA DISEÑO TIPOS Y
ESTILOS
Editorial Grijalbo, 1985

APENDICE

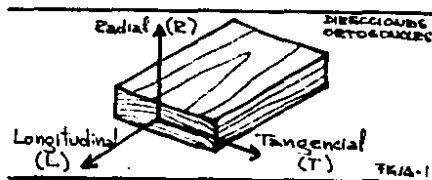
PROPIEDADES MECANICAS Y ELASTICAS DE LA MADERA

A1

No es objetivo de este anexo estudiar todas las características y propiedades de la madera, únicamente interesa conocer las características de la madera como material constructivo y las cualidades estructurales, que son utilizadas en el análisis y dimensionamiento de mobiliario. Por ello, se supone que los conocimientos fundamentales sobre la madera y resistencia de materiales ya han sido abordados previamente, así pues, estos anexos se limitarán a desarrollar las partes directamente concernientes al tema central del trabajo.

La madera es un material anisotrópico, es decir presenta propiedades mecánicas diferentes en diferentes direcciones. Sin embargo, para los fines que perseguimos, puede ser tratada como un material ortotrópico, ya que se pueden reconocer tres direcciones principales, ortogonales entre sí. Estas direcciones son la longitudinal, la tangencial y la radial.

Por lo tanto, sería necesario considerar tres juegos de propiedades mecánicas, uno por cada eje. Sin embargo, las propiedades en los sentidos tangencial y radial no difieren significativamente, de manera que en la práctica se consideran dos direcciones: la dirección



longitudinal o paralela al grano y la dirección transversal o perpendicular al grano.

Las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la flexión, tracción, compresión y corte paralelo al grano.

El módulo de elasticidad y el módulo de corte representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad y tres módulos de corte, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo lo que permite considerar solo tres.

Los esfuerzos básicos para cada una de estas propiedades son obtenidos de probetas pequeñas libres de defectos y ensayadas según las normas ASTM D-143 y COPANT. Las relaciones esfuerzo-deformación de la madera son muy variables según la especie, el tipo de acción, la forma en que se hace el ensayo o prueba, las características de crecimiento y otros factores. En general, cualquiera que sea el tipo de esfuerzo, la forma de la gráfica esfuerzo-deformación correspondiente es semejante a las que se muestran en la Fig. A1.4. La primera parte de la gráfica es prácticamente recta, de manera que puede suponerse proporcionalidad lineal entre esfuerzos y deformaciones, como en un material elástico ideal. Apartir del límite de proporcionalidad, que suele corresponder a un esfuerzo relativamente alto, las relaciones esfuerzo-deformación dejan de ser lineales.

A1.1.- RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA AL GRANO.

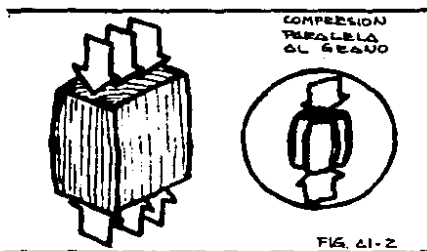


FIG. A1-2

La madera presenta una gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas en dirección al eje longitudinal, y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras.

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como patas de mesa o columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud/anchura) menor que 10 desarrollan toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos, que

son los más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad a resistir al pandeo lateral, que depende mayormente de la geometría de la pieza más que de la capacidad resistente de la madera que la constituye.

La resistencia a la compresión paralela al las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción. En la Fig. A1.4 se aprecia una curva esfuerzo-deformación típica de madera sometida a compresión paralela al grano. Se observa que el comportamiento en compresión longitudinal es fundamentalmente elástico, como en el caso de la tracción, y que el módulo de elasticidad es casi idéntico para los dos tipos de esfuerzos (aunque el módulo a compresión tiende a ser ligeramente menor que el módulo a tensión, para efectos prácticos suele suponerse que son iguales). Sin embargo, puede comprobarse que el comportamiento en compresión es algo más dúctil que en tracción, siendo mayor la diferencia entre las deformaciones unitarias correspondientes al límite de proporcionalidad y las correspondientes al esfuerzo máximo. Además el límite de proporcionalidad para compresión está más claramente definido que para tracción. Suele considerarse que las resistencias obtenidas de probetas sometidas a compresión paralela a las fibras, constituyen el mejor índice del comportamiento mecánico de la madera.

Valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 100 y 900 kg/cm² para maderas tropicales, y entre 100 y 1600 kg/cm² para las coníferas con un 10 % de contenido de humedad. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.6 de densidad básica). Las especies de pino que existen en México tienen valores del orden de 450 kg/cm² para un contenido de humedad del 12 %. El esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75 % del esfuerzo máximo y la deformación es del orden del 60 % de la máxima.

A1.2.- RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR AL GRANO.

COMPRESION PERPENDICULAR

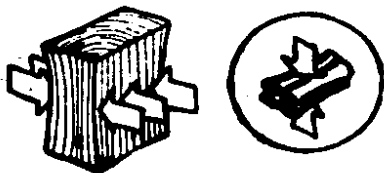


FIG. A1-3

Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su

capacidad para resistir mayor carga (Fig. A1.4).

Entre las maderas mexicanas suelen encontrarse especies con valores del esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras, al límite de proporcionalidad, de 22 a 225 kg/cm² a un contenido de humedad próximo a 12 %. Las maderas de pino tienen valores del orden de 60 kg/cm².

A1.3.- RESISTENCIA A LA TRACCION.

Existe poca información sobre el comportamiento de la madera sometida a tracción paralela al grano. Esto se debe a que no ha sido posible idear un tipo de ensayo sencillo de laboratorio que de resultados confiables. Como medida de resistencia a este tipo de acción suele tomarse el módulo de rotura, o sea, el esfuerzo al fallar la fibra extrema de probetas sometidas a flexión. Este criterio es conservador, puesto que los valores obtenidos de pruebas de flexión son menores que los que resultan de pruebas de tracción axial. Esto es conveniente dado que la resistencia a tensión de la madera es muy sensible a las irregularidades en la orientación de las fibras y a la influencia de otros defectos característicos de la madera que hacen que la resistencia de elementos de escala real pueda ser tan baja como un 15 % del esfuerzo de rotura en tracción en probetas.

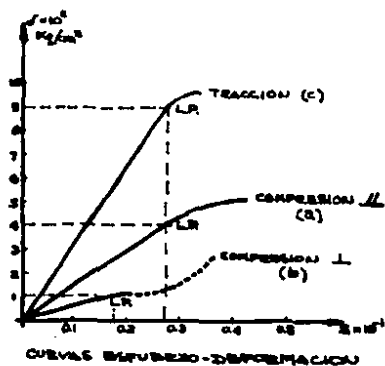


FIG. A1-4

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. En la Fig. A1.4 se puede observar el comportamiento lineal y elástico de la curva esfuerzo-deformación, se observa también la naturaleza explosiva y violenta con que se produce la falla. El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 300 y 3000 kg/cm² para maderas con 12 % de contenido de humedad, variaciones que dependen de la densidad de cada especie. En general, la resistencia a la tracción de las coníferas es mayor que la de las latifoliadas. La de pinos mexicanos es del orden de 800 kg/cm².

La resistencia a tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano. Por ejemplo para

una inclinación de 1 en 8 (7°) el esfuerzo de rotura es el 75 % del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para una inclinación de 4 en 1 (14°) el esfuerzo de rotura es solo el 45 %. El esfuerzo de rotura perpendicular al grano (90°) es del 2 al 5 % del esfuerzo de rotura paralelo al grano. Para efectos prácticos, la resistencia a la tracción perpendicular es nula, debido a la naturaleza tubular de las células, que las hace muy deformables en la dirección transversal, y a la facilidad con que se despegan los elementos anatómicos de la madera cuando se someten a esfuerzos transversales.

A1.4.- RESISTENCIA AL CORTE.

Pueden distinguirse varios tipos de esfuerzo cortante en la madera, el más importante para el dimensionamiento de elementos estructurales es el esfuerzo cortante paralelo al grano. En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto paralela como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del "cementante" de las fibras -la lignina- a resistir este esfuerzo.

CORTE PARALELO AL GRANO

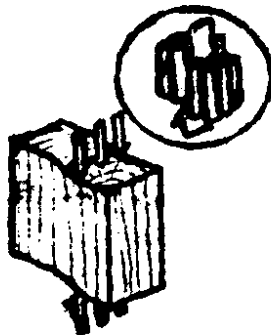


FIG. A1-5

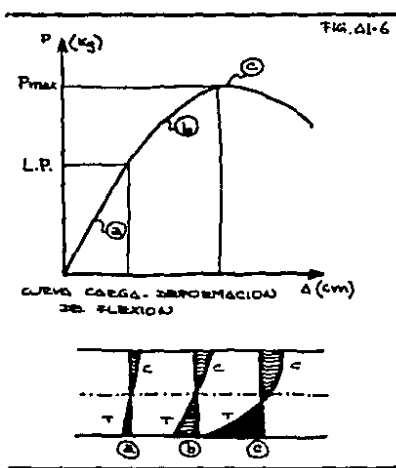
De una manera aproximada puede estimarse que la resistencia a esfuerzo cortante paralela al grano es de 10 a 15 % de la resistencia a la tracción paralela al grano. Para especies mexicanas el esfuerzo de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 20 y 225 kg/cm² para un contenido de humedad de 12 %. Las especies de pino del país tienen valores de alrededor de 49 kg/cm². Estos valores aumentan con la densidad, aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión. Es difícil determinar la verdadera resistencia de la madera a este tipo de esfuerzo ya que los resultados que se obtienen en los diversos tipos de pruebas utilizadas, están influenciados por los esfuerzos

de tensión perpendicular a las fibras que se generan simultáneamente.

La resistencia de la madera a esfuerzo cortante perpendicular al grano es de tres a cuatro veces mayor que su resistencia a esfuerzo cortante paralelo. La rotura en planos transversales no llega a presentarse porque antes de que esto pueda suceder el elemento sujeto a la acción cortante falla por esfuerzo cortante paralelo al grano, o por aplastamiento en compresión de las fibras.

En elementos a escala natural hay una disminución de la resistencia a estos esfuerzos debido a la presencia de defectos, así como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros.

AI.5.- RESISTENCIA A LA FLEXION PARALELA AL GRANO.



En la Fig. AI.6 se presenta una curva típica carga-deformación de una muestra de madera sometida a una carga transversal, en ella se puede apreciar que la carga en el límite proporcional (L.P) es aproximadamente el 60 % de la carga máxima. Después de que la carga alcanza un valor máximo la muestra sigue deformándose paulatinamente a medida que la carga va disminuyendo. Así, en flexión estática la fractura de la madera no es repentina. Para valores de la carga transversal inferiores a la correspondiente al límite de proporcionalidad, y en elementos de sección simétrica, la distribución de esfuerzos es lineal y el eje neutro se encuentra a la mitad del peralte (Fig. 1.6 a.). Esto indica que para niveles bajos de carga la madera se comporta en flexión, como un material elástico.

A medida que la carga se aproxima a su valor máximo, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal debido a la diferencia entre la resistencias a tracción y a compresión paralela, resultando en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones

totales; finalmente la pieza se rompe por tracción (Fig. 1.6 b y c). Sin embargo, en vigas secas y en algunas maderas duras de especies latifoliadas, no se presenta primeramente una falla visible de la zona comprimida sino que ocurre directamente la falla por tracción.

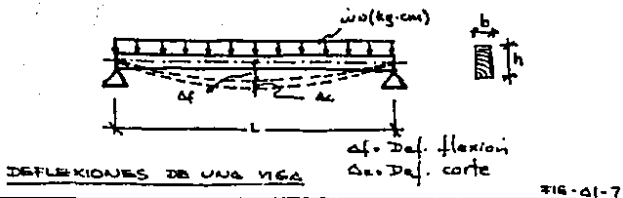
En ensayos de probetas pequeñas libres de defectos sometidas a flexión estática se obtienen diversos índices de comportamiento de la madera, de importancia para el dimensionamiento de elementos estructurales. Los valores promedio de la resistencia a la flexión varían entre 200 y 2100 kg/cm² dependiendo de la densidad de la especie y del contenido de humedad. Las especies de pino del país tienen valores del orden de 850 kg/cm².

El trabajo hasta el límite de proporcionalidad indica la energía que la madera absorbe bajo flexión estática sin sufrir deformaciones permanentes. De mayor interés son el trabajo requerido para alcanzar el esfuerzo máximo y el trabajo total, es decir, el trabajo necesario para producir la falla. Estos valores son una medida de la tenacidad de la madera, es decir la capacidad para absorber energía. La tenacidad es una propiedad de interés en elementos estructurales sometidos a cargas que presentan gran incertidumbre como sucede en las piezas para estibar las galerías de minas. Un elemento estructural con un alto grado de tenacidad exhibe deformaciones significativas antes de la falla, que avisan de la existencia de una condición de carga peligrosa, dando tiempo a que se tomen las medidas de seguridad oportunas.

El comportamiento descrito en los párrafos anteriores se deduce de pruebas de flexión estática. También se realizan pruebas en las que las cargas se aplican con impacto. Se comprueba en estos ensayos que las resistencias obtenidas son superiores en un 50 a un 60 % a las que resultan de pruebas estáticas bajo cargas transversales de igual magnitud. La información obtenida de pruebas de impacto es de interés para la estimación de resistencia de elementos estructurales bajo cargas aplicadas repentinamente, como sucede comunmente en mobiliario.

A1.6.- MODULO DE ELASTICIDAD (E)

El módulo de elasticidad de mayor interés para efectos de diseño es el correspondiente a la dirección longitudinal. Puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo-deformación a partir de un ensayo de compresión paralela. Puede ser hallado también, por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Según los resultados obtenidos en maderas latifoliadas el E en compresión paralela es mayor que el E en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento.



La deflexión en la viga de la Fig. A1.7, es la suma de dos deflexiones: la debida a flexión y la debida a corte. Cuando se obtiene el módulo de elasticidad se calcula considerando solamente la contribución de la flexión, encontrándose un módulo de elasticidad (E) aparente, menor que el real que tiene el material. El valor del E así obtenido es corregido para tener el E real. Pueden obtenerse directamente valores no afectados por la fuerza cortante, a partir de ensayos de flexión bajo dos cargas concentradas simétricas, considerando el tramo entre las dos cargas en el cual la fuerza cortante es nula.

Para un contenido de humedad de 12 % el E varía de 40 000 a 300 000 kg/cm². El valor correspondiente a las especies de pino del país es del orden de 100 000 kg/cm². Existe considerable variabilidad de acuerdo con la especie, el contenido de humedad y el peso específico.

A1.7.- MÓDULO DE CORTE O RIGIDEZ (G)

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. La rigidez se refiere a la deformación unitaria por cortante en los planos longitudinal, tangencial y radial de la madera, por tanto, existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal.

FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

A2

A2.1.- DEFECTOS DE CRECIMIENTO

Existen algunas características en la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento, y por afectar el comportamiento o aspecto de la madera se les llama defectos de crecimiento. Los principales son: nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y médula excéntrica.

Los nudos son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producidas por el nacimiento y posterior desarrollo de las ramas. La influencia de los nudos en el comportamiento de elementos estructurales depende de la ubicación que éstos tengan con respecto a la distribución de los esfuerzos. En zonas de tracción su influencia es muy importante, no así en zonas de compresión, los nudos producen variaciones en la inclinación del grano, por lo que son zonas débiles de la madera. Existen tolerancias en las dimensiones de los nudos, que dan criterios de rechazo o aceptación de los elementos estructurales y que serán detallados en las normas de clasificación visual del anexo A3.4.

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia en el comportamiento de elementos estructurales. La inclinación del grano puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la dirección

longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrío presentan grano inclinado. La resistencia que presenta una pieza con grano inclinado puede estimarse según la fórmula de Hankinson, la cual es función de la resistencia paralela, la resistencia perpendicular y función de ángulo de inclinación¹¹¹.

Las fallas de compresión son zonas de la madera en que las fibras de la madera están interrumpidas. Esto significa que al momento de cargar las piezas no será posible transmitir esfuerzos a través de dichas secciones. Se deben tomar precauciones especiales para evitar clasificar piezas que incluyan este defecto ya que la resistencia en esta zona es nula.

Las perforaciones son discontinuidades que aparecen en las piezas de madera que por lo general han sido atacadas antes de su aserrado. La magnitud y número de las mismas está limitada por las normas de clasificación del anexo A3.4

La médula excéntrica es consecuencia del crecimiento del árbol en condiciones adversas, tales como la excesiva pendiente del terreno, la presencia de vientos dominantes en un solo sentido, la luz intensa en solo lado, etc. La médula excéntrica permiten que se formen anillos angostos en un lado y anillos anchos en el lado opuesto del troco, esto produce tensiones internas y una configuración oval de la sección transversal del tronco. Las tensiones así "almacenadas" se hacen presentes durante el secado, agrietando y deformando las trozas. Una buena técnica de aserrado elimina en parte las tensiones y puede mejorar la calidad de la madera.

A2.2. - INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre (la que se encuentra llenando las cavidades celulares), más el agua higroscópica (contenida en las paredes celulares), con respecto al peso de la madera anhidra (cuando ha perdido la totalidad del agua libre e higroscópica). Para una muestra de madera el CH será:

$$CH \% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

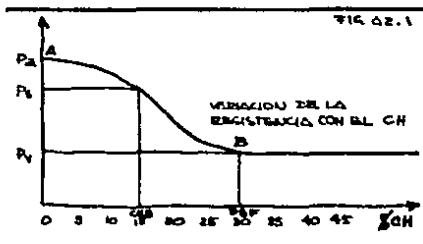
Ec. A2.1

Existen dos valores de CH que son particularmente importantes, al primero se lo llama Punto de Saturación de las

¹¹¹ PARA MAYOR INFORMACION VEASE "MANUAL DE BIEBAD PARA MADERAS" JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA

Fibras (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y comienza a perder el agua higroscópica. Al segundo CH se lo llama Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) cuando la madera expuesta al aire, pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire.

En la Fig A2.1 se presenta una curva típica, que representa la variación de la resistencia con el contenido de humedad para probetas pequeñas libres de defectos. En ella se puede observar cómo la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad; se puede observar también, que la resistencia permanece constante cuando el contenido de humedad varía por encima del PSF.



Algunos autores prefieren considerar una variación lineal entre los valores extremos A y B de la Fig. A2.1. En la bibliografía consultada se han encontrado diversos valores resumidos en la Tabla A2.1, que indican el porcentaje de variación de cada propiedad cuando varía 1 % el contenido de humedad.

TABLA A2.1.- VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS PARA UNA VARIACION UNITARIA EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Propiedad	% de variación
Compresión paralela	4-6
Compresión perpendicular	5.5
Tracción paralela	3
Corte	3
Flexión estática	4-5
Módulo de elasticidad	2
Módulo de ruptura	4

Por ejemplo, conozco que el esfuerzo último de resistencia al corte (EU_c) de la madera de pino ponderosa al 12 % de CH, es 74 kg/cm². Necesito saber su resistencia última cuando la madera tiene un CH de 7 %; según la Tabla A2.1 el porcentaje de variación unitaria para el corte es 3 %, o sea

$$EU_{(7\%CH)} = 74 [1 + 0.03 (12 - 7)] = 85.1 \text{ kg/cm}^2$$

A2.3.- INFLUENCIA DE LA DENSIDAD

La relación que existe entre masa y volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre, cuando se utiliza el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. La densidad de la madera es la medida de la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de ésta. En probetas pequeñas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad corresponde una mayor resistencia. Los ensayos de laboratorio con estas probetas indican que existe un buen nivel de correlación entre todas y cada una de las propiedades mecánicas y la densidad del material.

El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir, en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera: la densidad verde, es la relación que existe entre el peso verde y el volumen verde; la densidad seca al aire, es la relación que existe entre el peso seco al aire y el volumen seco al aire; la densidad anhidra, es la relación entre el peso seco al horno y el volumen seco al horno; y la densidad básica que es la que se usa con ventaja, ya que las condiciones en que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada.

En la Tabla A2.2, se presentan algunas correlaciones de tipo exponencial y lineal, entre las diversas propiedades mecánicas y la densidad básica, para los contenidos de humedad indicados. Tablas como ésta permiten hacer estimaciones razonables de las propiedades mecánicas de una madera conociendo únicamente su densidad, aún cuando se ignore su especie. Pueden establecerse tablas semejantes para especies particulares, que proporcionen información más precisa, pero para los fines que perseguimos dentro de la ingeniería del mueble, nos satisface la que a continuación presentamos:

TABLA A2.2.- RELACIONES ENTRE PROPIEDADES MECANICAS Y DENSIDAD BASICA.

Propiedad Mecánica	Relación	
	Med. verde	CH = 12 %
Flexión estática al LP	717 $d^{1.22}$	1174 $d^{1.22}$
Módulo de rotura	1237 $d^{1.22}$	1806 $d^{1.22}$
Módulo de elasticidad	185920 d	198865 d
Compresión paralela al LP	369 d	615 d
Compresión perpendicular	211 $d^{2.22}$	326 $d^{2.22}$

d es la densidad. Las expresiones dan esfuerzos en kg/cm^2 .

El peso específico o gravedad específica es la relación entre el peso de la madera a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene una densidad igual a uno puede decirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico. En el sistema métrico la densidad y el peso específico tienen el mismo valor, con la diferencia que este último no tiene unidades.

A2.4.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

La influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de la madera puede ser considerable, dependiendo su importancia del contenido de humedad y del tiempo de exposición a temperaturas extremas. En general la madera sufre una reducción de resistencia a temperaturas superiores a las ambientales y un incremento a temperaturas inferiores. Cuando tiene un alto contenido de humedad o se expone a una atmósfera muy húmeda a temperaturas elevadas, la pérdida de resistencia es mayor que si la atmósfera y la madera tienen poca humedad.

Los efectos de la temperatura sobre la madera pueden ser inmediatos o permanentes. Los efectos inmediatos son tales que el incremento o reducción asociado a un cambio de temperatura desaparece una vez que la pieza sometida al cambio regresa a la temperatura original. Los efectos permanentes se presentan cuando una pieza es sometida a una temperatura alta durante largo tiempo. Por ello, para evitar estos efectos permanentes los procesos de secado en estufa deben controlarse de manera que la madera no quede sometida a temperaturas altas durante demasiado tiempo.

Afortunadamente las temperaturas a las que las estructuras de madera pueden quedar expuestas en las condiciones climatológicas de México no son lo suficientemente extremas como para influir significativamente sobre la resistencia de la madera. Sólo en condiciones particulares en que la humedad relativa excede del 80% y la temperatura sea superior a 60°C es necesario tomar en cuenta posibles reducciones de resistencia, como puede suceder al diseñar el mobiliario de baños sauna, por ejemplo.

A2.5.- DURACION DE LA CARGA

Cuando un elemento de madera se carga por primera vez se deforma elásticamente. Si la carga se mantiene, se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo. Este fenómeno se denomina flujo plástico ("creep"). Para algunas especies latifoliadas se ha encontrado que este incremento de deformación puede llegar a ser, en promedio, de dos a tres veces la deformación elástica inicial. Descargando el elemento la deformación inicial elástica se recupera totalmente y solo una

fracción de la deformación plástica se recupera, tardando un tiempo en hacerlo.

Si en vez de controlar la carga se aplica una deformación constante y mantenida, el esfuerzo inicial decrece a un 60 % de su valor inicial luego de unos meses. Esta reducción de esfuerzos se denomina relajación.

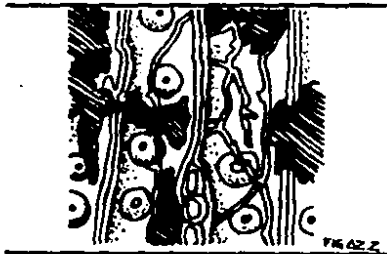
Además del flujo plástico y la relajación se presenta un efecto en la resistencia de la madera dependiente del tiempo. Investigaciones llevadas a cabo en probetas pequeñas libres de defectos indicaban que la carga requerida para producir la falla después de un periodo de diez años es aproximadamente el 60 % de la carga que hubiera requerido en un ensayo de 5 minutos de duración.

Sin embargo, las condiciones de trabajo de mobiliario por lo general no contemplan cargas estáticas prolongadas sino más bien cargas dinámicas momentáneas que son las que por lo general producen las fallas en el mueble. Para ciertos tipos de muebles como libreros, alacenas, etc. si es necesario tomar en cuenta la duración de las cargas. Debe recordarse que los elementos reales se diseñan con esfuerzos permisibles que se basan en la resistencia última y están afectados por coeficientes de seguridad que consideran la duración de las cargas.

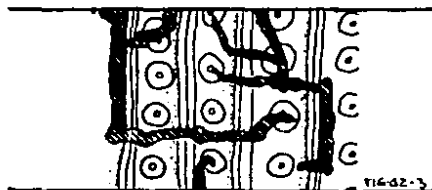
A2.6. - DEGRADACION

La madera, por ser un material orgánico y natural, constituido principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno, puede ser degradada. La degradación de la madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos, que a dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que la componen, afectando sus propiedades físicas y químicas y reduciendo severamente su resistencia estructural.

El ataque de hongos xilófagos provoca lo que se conoce como pudrición de la madera y ésta, según el tipo de hongo, puede ser: "Pudrición suave o blanda" cuando se destruye la celulosa y se caracteriza por ser superficial, degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa de color oscuro. "Pudrición blanca" cuando se destruyen todos los componentes de la madera (ligninas y carbohidratos), el material

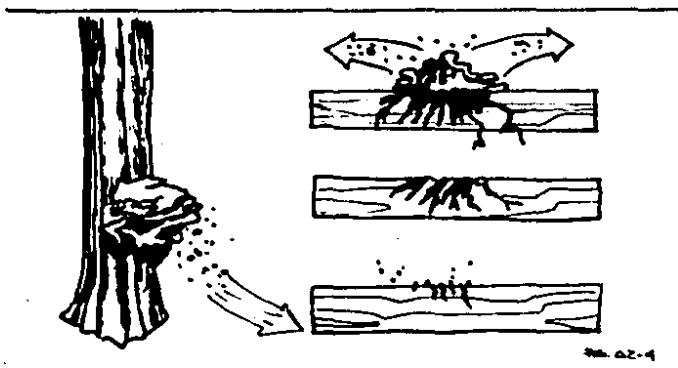


residual semeja un esqueleto de madera, sin coloración oscura. "Putridión parda" cuando se descompone la celulosa y sus pentosas asociadas, afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae agrietándose perpendicularmente a las fibras, tomando conformaciones cúbicas.



Otro tipo de ataque es el ocasionado por mohos y hongos cromógenos. Estos organismos no destruyen las células, sino se alimenta de las sustancias que contienen en su interior. Atacan a la madera con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (27 al 32 % de CH).

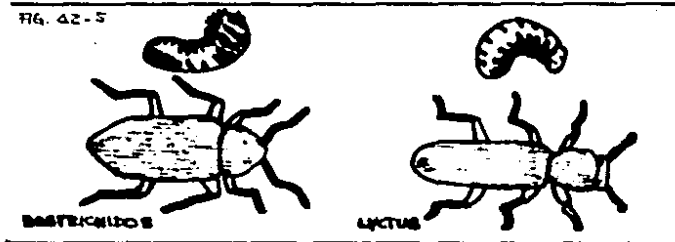
Los mohos requieren abundante humedad, constituyendo formaciones algodonosas en la superficie. En la madera seca se eliminan fácilmente mediante el cepillado. Los hongos cromógenos penetran en las maderas oscureciéndola por zonas, como el ataque conocido como mancha azul.



La durabilidad natural de la madera depende especialmente de la especie y de la parte del tronco de donde ha sido extraída. Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas que rechazan a los agentes biológicos que quieren invadirla. Para evitar el ataque de organismos biológicos degradantes, la madera sin durabilidad natural, puede ser tratada mediante la impregnación de sustancias preservantes.

A2.7.- ATAQUE DE INSECTOS

Por lo general se consideran dos tipos de insectos que atacan la madera: los que atacan la madera antes de su puesta en servicio, y los más importantes, los que la atacan después de su puesta en servicio. Dentro de estos figuran las termitas subterráneas, los de madera seca -que son los más dañinos- y los de nido aéreo; los escarabajos tipo *lyctus* o bostrichidos y las hormigas carpinteras o comejenes. Las termitas se alimentan de la madera y la utilizan como vivienda, perforando túneles dentro de ella que la debilitan seriamente. Los escarabajos depositan sus huevos en los poros de la madera, de donde nace la larva que perfora túneles en el interior. Los comejenes, aunque no se alimentan de la madera, la perforan con el objeto de fabricar galerías para vivir.



La madera atacada por estos insectos es fácilmente destruida, por lo que es necesario protegerla adecuadamente con métodos químicos y de diseño.

2.8.- ATAQUES QUIMICOS

El efecto de las sustancias químicas en la madera es altamente dependiente del tipo específico de compuesto. Líquidos que no producen hinchamiento de la madera, como aceites de petróleo o creosota, no tienen efectos apreciables, mientras líquidos que hinchan la madera, como el agua o el alcohol, pueden tener algún efecto aún cuando no produzcan degradación química. Esta pérdida en las propiedades dependen del hinchamiento y éste es un proceso reversible. Por otro lado, soluciones químicas que descomponen las sustancias constitutivas de la madera, tienen un efecto permanente. Se pueden hacer las siguientes generalizaciones:

- Algunas especies son bastante resistentes al ataque de minerales diluidos y ácidos orgánicos.
- Ácidos oxidantes degradan la madera más que los ácidos no-oxidantes.

Soluciones alcalinas son más destructivas que las soluciones ácidas.

La protección a la madera contra el ataque de insectos o contra el fuego se logra mediante tratamientos con preservantes o con sales retardantes del fuego. Las propiedades mecánicas prácticamente no cambian con los preservantes, pero son afectadas algo por la combinación de los métodos de tratamiento químico retardante al fuego, métodos de impregnación y el secado al horno. Comúnmente la resistencia a la flexión se reduce en alrededor del 10 % sin embargo la rigidez no es afectada apreciablemente.

LA MADERA DE USO ESTRUCTURAL

A3

La madera es el recurso natural más antiguo de que dispone el hombre. Desde siempre le ha proporcionado combustible, alimento, materia prima para sus herramientas, enseres y hasta para su morada. Sin embargo las propiedades de la madera -considerando únicamente las que se refieren a sus características en relación a su futura utilización- aún se conservan hoy en día en terrenos desconocidos, apenas se están dando los primeros pasos de aproximación para conocer todos los secretos que este fascinante material nos tiene guardados. En este capítulo se hace una breve recopilación sobre información de la madera como materia prima para la construcción de diferentes tipos de enseres, entre ellos de mobiliario, por supuesto.

Dentro de esta aplicación de la madera como material constructivo, se deben distinguir dos categorías. En la primera se encuentra toda aquella empleada con fines resistentes, utilizada especialmente en armazones estructurales del mobiliario. En la otra categoría se encuentra aquella madera utilizada en revestimientos, respaldos, y todos aquellos componentes que no están destinados a resistir cargas importantes.

Este anexo estudia la madera de uso estructural. Se denomina así a aquella madera que constituye la armazón estructural de un mueble o inmueble, es decir, forma la parte resistente de los componentes. La característica común a todos estos elementos es su función básicamente resistente.

A3.1.- Requisitos generales

Las condiciones que debe satisfacer este material son las siguientes:

- Debe ser material clasificado como de calidad estructural, para lo cual debe cumplir con las normas de clasificación visual por defectos, que se presenta en la sección A3.4.
- Debe ser madera proveniente de las especies forestales consideradas como adecuadas para este uso y que se presentan agrupadas en grupos estructurales en las tablas de este anexo.
- Deben ser piezas de maderas dimensionadas de acuerdo a las secciones que se encuentran en el mercado, tomando en cuenta las dimensiones nominales o comerciales y aquellas que finalmente obtenemos, luego de cortes, cepillado canteado.

A3.1.1.- Contenido de humedad

Es conveniente utilizar la madera en estado seco o al contenido de humedad de equilibrio. De esta forma se garantiza la estabilidad dimensional de las piezas, y se disminuye el riesgo de ataque de hongos e insectos. Sin embargo, las especies de mayor densidad, ofrecen dificultades al clavado, al corte y labrado cuando están secas, por lo que comúnmente se trabajan en estado verde. En este caso deben adoptarse las siguientes precauciones para garantizar que:

- Las piezas al secarse mantengan su forma inicial.
- Los elementos de unión estén protegidos contra el ataque de agentes degradantes de la madera húmeda.
- Permitir a la madera contraerse libremente a medida que se seca, mediante detalles constructivos adecuados.

A3.1.2.- Durabilidad y preservación

La madera para uso estructural debe tener buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Adicionalmente deben aplicarse en el diseño aquellos detalles constructivos destinados a proteger la estructura contra agentes dañinos. Factores externos, como la humedad por ejemplo, mal controlados pueden deteriorar el material, o propiciar el crecimiento de insectos que atacan la madera. Un buen mecanismo de protección es el recubrimiento con lacas o barnices que aíslan a la madera de los cambios en las condiciones del ambiente.

A3.2.- CLASIFICACION VISUAL POR DEFECTOS PARA MADERA ESTRUCTURAL

Cualquier irregularidad o imperfección que afecta las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera puede considerarse como un defecto. La finalidad de la clasificación por defectos es limitar la presencia, tipo, forma, tamaño y ubicación de los mismos con la finalidad de obtener piezas de madera con características mínimas garantizadas. Variando las tolerancias pueden definirse un sinnúmero de clases, sin embargo a continuación se propone una sola norma o regla para la clasificación de madera para uso estructural.

La clasificación mencionada es de tipo "visual" lo que implica una selección o verificación de las tolerancias por personal humano entrenado siguiendo una comprobación visual. La aplicación de la norma se limita a madera aserrada, cepillada y cantada.

Para facilitar la aplicación de la norma se presenta conjuntamente con las tolerancias algunas recomendaciones para el reconocimiento de defectos. Se dispone también de diversos manuales de clasificación visual para madera estructural editados por LACITEMA-INIREB de México y por el PADT-REFORT para los países andinos.

Se espera que de la producción de un aserradero que funcione con criterios mínimos de eficiencia, del 40 al 45 % de la producción se clasificará como madera estructural, es decir, como piezas que satisfagan los límites de defectos establecidos en las normas que aquí se presentan.

La calidad de la madera es afectada por diversos agentes o factores. A continuación se presentan definiciones para los diferentes tipos de defectos agrupados según su origen. En Fig. A3.1 se ilustran algunos de los términos más usados en esta sección.

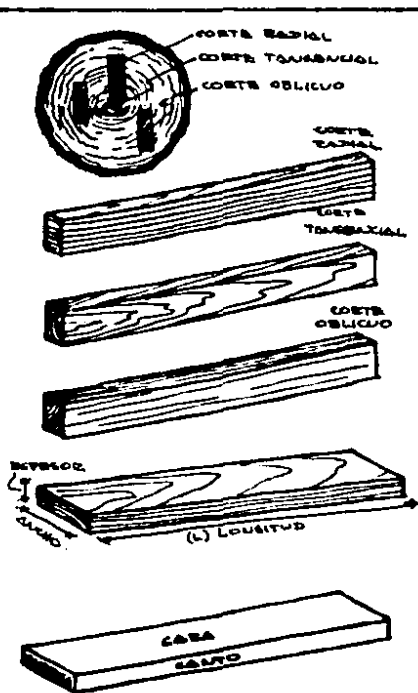


FIG. A3.1

A3.2.1.- Defectos relativos a la constitución anatómica

Albura.- Es la parte del leño que sigue a la corteza que en el árbol en pie contiene células vivas y materiales de reserva. Generalmente es de color claro y es más susceptible al ataque de hongos e insectos que el duramen.

En general, sus propiedades mecánicas no son diferentes a las del duramen. Se considera como defecto cuando ha sido atacada y presenta pudrición. Por lo general la albura en casi todas las especies es atacable.

Bolsa.- Es la presencia de una cavidad bien delimitada que contiene resina, goma o tanino.

Duramen quebradizo o madera de reacción.- Es la madera anormal formada típicamente en algunas zonas limitadas de ramas, caracterizada por su color, consistencia y propiedades distintas al resto del leño, es esencialmente de la zona central del tronco.

Grano inclinado.- Es la desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal del canto de una pieza.

Madera de compresión.- Es la madera de reacción que se forma típicamente en las coníferas. Generalmente es más dura y oscura que la madera normal.

Madera de tensión.- Es la madera de reacción que se forma típicamente en las latifoliadas, generalmente es más clara que la madera normal.

Médula.- Es la parte central del duramen, constituida esencialmente por células de parénquima o células muertas. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.

Nudo.- Es el área de tejido leñoso resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y demás propiedades son diferentes a las de la madera circundante.

Parénquima en bandas anchas.- Son células de paredes delgadas que presentan mayor cavidad, las que almacenan sustancias de reserva. Dichas células, agrupadas en bandas de 6 o más series, forman zonas débiles del leño.

A3.2.2.- Defectos relativos al ataque de agentes biológicos

Acñonado.- Es el orificio aproximadamente cilíndrico en el interior de una troza como consecuencia del atabacado.

Atabacado.- Es el proceso de pudrición castaña de la madera, que se caracteriza, en la etapa avanzada, por la desintegración del leño en un polvo de color parduzco.

Mancha.- Es el cambio del color de la madera producido por hongos que destruyen la estructura leñosa.

Perforaciones grandes.- Son agujeros con diámetros mayores a 3mm producidos por insectos o larvas perforadoras (Bostrychidae).

Perforaciones pequeñas.- Con agujeros con diámetros mayores a 3mm producidos por insectos o larvas perforadoras (Lyctus).

Pudrición avanzada.- Es la etapa de descomposición en que la madera presenta cambios evidentes en su apariencia, peso específico, composición, dureza y otras características mecánicas.

Pudrición castaña.- Es aquella que se caracteriza por una coloración castaña de la madera como consecuencia de la descomposición de la celulosa.

Pudrición clara.- Es aquella que se caracteriza por la coloración clara de la madera como consecuencia de la descomposición preponderante de la lignina además de las holocelulosas.

Pudrición incipiente.- Es la etapa inicial de la descomposición en la cual la madera pierde parte de sus propiedades mecánicas y puede sufrir cambios de color debido al ataque de hongos.

A3.2.3.- Defectos originados durante el apeo y transporte

Desgarramiento.- Es el rompimiento que se produce en la base del tronco al ser cortado o talado el árbol.

Fractura o falla de compresión.- Es la deformación o rompimiento de las fibras de la madera como resultado de la compresión o flexión excesivas en árboles en pie, por la acción del viento, nieve o proceso de crecimiento, y en árboles apeados como resultado de esfuerzos durante las operaciones de explotación.

Rajadura.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje de la pieza, afectando totalmente el espesor de la misma.

A3.2.4.- Defectos originados durante el secado

Alabeo.- Es la deformación que experimenta una pieza de madera por curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos.

Abarquillado.- Es el alabeo de las caras en la dirección transversal.

Arquedura o combado.- Es el alabeo de las caras en la dirección longitudinal.

Colapso.- Es la reducción de las dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un apiastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.

Encorvadura.- Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal.

Endurecimiento superficial.- Es el estado de tensiones en una pieza caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como el resultado de inadecuadas condiciones de secado.

Grieta.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada.

Rajadura.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma.

Torcedura.- Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal.

A3.2.5.- Defectos originados en el aserrio

Arista faltante.- Es la falta de madera en una o más aristas de una pieza.

Mal cuadrado.- Se denomina así a la sección transversal de una pieza de madera que está mal labrada a escuadra.

Picado.- Es la depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal.

A3.3.- Control de defectos

Constitución anatómica.- Los defectos relativos a la constitución anatómica de una pieza de madera no son controlables debido a que son características propias de la especie. Propiamente no constituyen defectos sino características de crecimiento que al habilitar las piezas de madera aserrada quedan incorporadas en éstas, alterando su comportamiento estructural. Solamente se evitarían seleccionando y analizando las características generales de la especie antes de cortar el árbol o aserrar la pieza de madera, seleccionando especies que presenten el tipo de grano, parénquima, volumen de albura, etc. que se encuentren dentro del rango de tolerancia de la clasificación; o aserrando teniendo en mente la producción de madera para uso estructural, orientando debidamente los planos de corte.

Ataque biológico.- Los defectos relativos al ataque de los agentes biológicos son controlables a su debido tiempo como cualquier tipo de infección. En la actualidad se cuenta con la ayuda de los preservantes hidrosolubles y oleosolubles en el mercado, para controlar los ataques. Si se considera conveniente no usar preservantes, es recomendable elegir una especie que presente buena o alta durabilidad natural.

Apeo, transporte y aserrio.- Los defectos originados durante el apeo, transporte, almacenamiento y aserrio, son ocasionados por lo general por deficiencias manuales o mecánicas durante dichas operaciones. Se controlan fácilmente teniendo en cuenta la mano de obra calificada y el buen mantenimiento de la maquinaria y equipo utilizado, durante las operaciones de extracción, transporte, aserrio y apilado.

Secado de la madera.- Los defectos originados durante el secado, son ocasionados por las deficiencias en el sistema de apilado y almacenamiento de las piezas al sacarse, o por un mal programa de secado al horno. Se controlan tomando en cuenta la constitución anatómica de la madera y considerando especialmente el plano del corte durante el aserrio de determinadas especies. Para ello es necesario contar con mano de obra calificada conocedora de los conceptos propios del secado de la madera.

A3.4.- Normas de clasificación visual

Las normas de clasificación visual por defectos que se presentan a continuación, están destinadas a la clasificación de madera aserrada para uso estructural. Todas las piezas que satisfagan la mencionada regla clasifican como madera estructural y todas las propiedades resistentes y elásticas asignadas a las especies agrupadas en los grupos estructurales de la sección A3.5 son aplicables.

ALABEO

Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos. Se consideran los siguientes tipos de alabeos: a) abarquillado; b) arqueadura; c) encorvadura; y, d) torcedura.

a) Abarquillado

Es el alabeo de las piezas cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central.

Reconocimiento.- Al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyará la parte central de la cara, quedando levantados los bordes laterales, presentando un aspecto cóncavo o de barquillo.

Tolerancia.- Se permite en forma leve, no mayor de 1 % del ancho de la pieza.



b) Arqueadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza.

Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará una luz o separación entre la cara de la pieza de madera y la superficies se apoyo.

Tolerancia.- Se permite 1 cm por cada 300 cm de longitud, o su equivalencia: $H/L < 0.33\%$

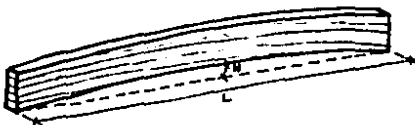


c) Encorvadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo del canto de la pieza.

Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre el canto, en una superficie plana se observará una luz o separación entre el canto de la pieza de madera y la superficie de apoyo. Se ubicará el lugar de mayor

distanciamiento para ser medido. **Tolerancia.**- Se permite 1 cm por cada 300 cm de longitud o su equivalencia: $H/L < 0.33 \%$

**d) Torcedura**

Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en el mismo plano.

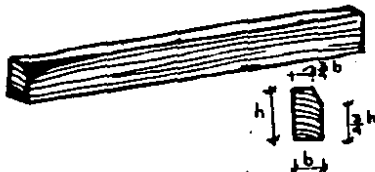
Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará el levantamiento de una o más de sus esquinas.

Tolerancia.- Se permite solamente cuando este defecto se presenta en forma leve y en una sola esquina. Se permite 1 cm de alabeo para una pieza de 300 cm de longitud.

**ARISTA FALTANTE**

Reconocimiento.- Es la falta de madera en una o más aristas de la pieza.

Tolerancia.- Se permite en una sola arista. Las dimensiones de la cara y el canto donde falta la arista deberán ser por lo menos los tres cuartos de las respectivas dimensiones de la sección completa.

**DURAMEN QUEBRADIZO**

Es la parte más interior del leño, generalmente de color más oscuro y de mayor durabilidad que la albura.

aunque no está siempre nitidamente diferenciado de ella. Constituye normalmente la mayor proporción de centro del tronco.

Reconocimiento.- porción de madera en una zona de aproximadamente 10 cm de diámetro adyacente a la médula, caracterizada por una fragilidad anormal. Se presenta en forma de grietas de media luna. Es frecuente en árboles viejos y puede presentar deterioro.

Tolerancia.- Ninguna, no se permite.



ESCAMADURA O ACEBOLLADURA

Es la separación del leño entre dos anillos de crecimiento consecutivos.

Reconocimiento.- Se observan como escamas superficiales en las caras tangenciales de una pieza de madera.

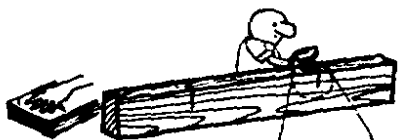
Tolerancia.- No se permite en las aristas. Se permite en las caras si es paralela al eje de la pieza, de una profundidad menor de un décimo del espesor y una longitud no mayor de un cuarto de la longitud total.



FALLAS DE COMPRESION

Es la deformación y rotura de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesiva en árboles en pie causados por su propio peso, o por acción del viento. Pueden producirse además durante las operaciones de corte y apeo de los árboles o por un mal apilado de la madera aserrada.

Reconocimiento.- Se observa en las superficies bien cepilladas de una pieza como arrugas finas perpendiculares al grano. Estas fallas originan zonas con muy poca o ninguna capacidad mecánica, por lo que su correcta identificación es fundamental para la seguridad de



la estructura. Se presenta en Arboles que tienen el tallo y fuste muy ahusado o cónico.

Tolerancia.- Ninguna, no se permite.

GRANO INCLINADO

Es la desviación angular que presentan las fibras de la madera con respecto al eje longitudinal de la pieza.

Reconocimiento.- Es necesario hacer uso repetido del detector del grano sobre las caras y cantos de la pieza.

Tolerancia.- Se permiten en cara o en canto hasta un máximo de $1/8$ de inclinación.

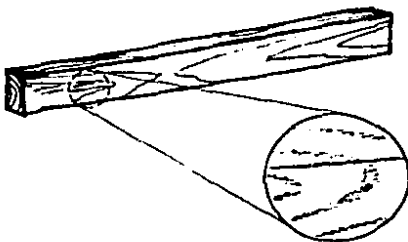


GRIETA

Es la separación de los elementos de la madera en dirección radial y longitudinal que no alcanza a afectar dos caras de una pieza, o dos puntos opuestos de la superficie de una madera rolliza.

Reconocimiento.- Se observan como separaciones discontinuas y superficiales, de aproximadamente un milímetro de separación y de 2 a 3 mm de profundidad. Este defecto se produce durante el proceso de secado.

Tolerancia.- Se permite moderadamente. La suma de sus profundidades, medidas desde ambos lados, no debe exceder $1/4$ del espesor de la pieza.



MEDULA

Es la parte central del duramen constituida esencialmente por parénquima, tejido generalmente blando o células muertas.

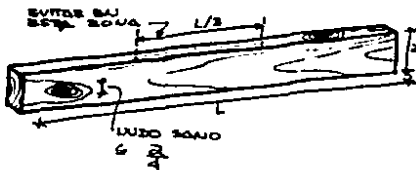
Reconocimiento.- Es la pequeña zona



de tejido esponjoso situada en el centro del duramen. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.
Tolerancia.- No se permite.

NUDO

Es el area de tejido lañoso, resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características anatómicas y propiedades mecánicas son diferentes a la madera circundante. Se consideran: a) nudo sano; b) nudo hueco; y, c) nudos arracimados.



a) Nudo sano

Reconocimiento.- Es la porción de rama entrecruzada con el resto de la madera y que no se soltará o aflojará durante el proceso de secado y uso. No presenta deterioro ni pudrición.
Tolerancia.- Se permiten hasta un diámetro de $1/4$ del ancho de la cara, con un máximo de 4 cm y con un distanciamiento entre nudos mayor de 100 cm.

b) Nudo hueco

Reconocimiento.- Son los espacios huecos dejados por los nudos al desprenderse de la madera. A los nudos sueltos o con deterioro se los debe considerar como nudos huecos.
Tolerancia.- Se permiten hasta un diámetro de $1/8$ del ancho de la cara y hasta un máximo de 2 cm. Se debe evitarlos en cantos sometidos a tracción.



c) Nudos arracimados

Reconocimiento.- Se observan con el agrupamiento de dos o más nudos, desviando notoriamente la

dirección de las fibras que lo rodean.

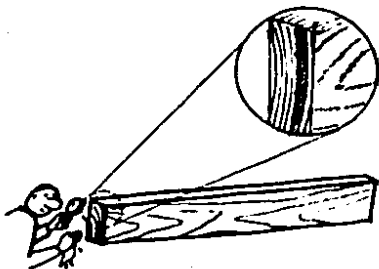
Tolerancia.- No se permiten para uso estructural.

PARENQUIMA

Son células típicamente en forma de paralelepípedo, presentan paredes delgadas. Sirven para almacenar sustancias de reserva. Son susceptibles al ataque de hongos e insectos.

Reconocimiento.- Son células correspondientes al tejido blando, por lo general de color más claro que la parte fibrosa del leño. Se distribuyen en bandas concéntricas y son visibles a simple vista en la sección transversal de la pieza de madera previamente humedecida.

Tolerancia.- No se permiten en piezas que van a estar sometidas a esfuerzos de compresión paralela al grano. Para otros usos sí se permite. Las bandas parenquimatosas no deben ser mayores de 2 mm de espesor.



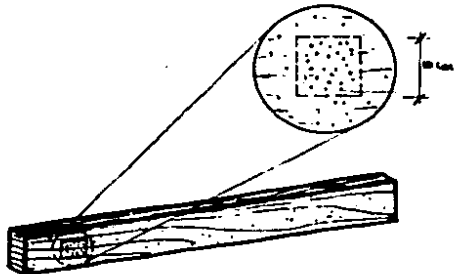
PERFORACIONES

Son agujeros o galerías causadas por el ataque de insectos o larvas. Se consideran perforaciones pequeñas y grandes

a) Perforaciones pequeñas

Reconocimiento.- Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm producidos por insectos de tipo Ambrosia. Los causados por insectos del tipo Lyctus no se aceptan.

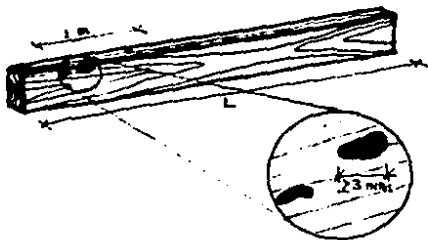
Tolerancia.- Se permiten cuando su distribución es moderada y comprende una zona menor que un cuarto de la longitud total de la pieza. Máximo 10 agujeros en 100 cm². No alineados ni pasantes.



b) Perforaciones grandes

Reconocimiento.- Son agujeros con diámetros mayores a 3mm producidos por insectos o larvas perforadoras tipo Bostrychidae.

Tolerancia.- Se permiten cuando su distribución es moderada y superficial. Máximo 3 agujeros por metro lineal. No alineados ni pasantes.

**RAJADURAS**

Son separaciones naturales entre los elementos de la madera que se extienden en dirección del eje de la pieza y afectan totalmente su espesor.

Reconocimiento.- Se observan como separaciones del tejido leñoso en la dirección del grano.

Tolerancia.- Se permite sólo en uno de los extremos de la pieza y de una longitud no mayor al ancho o cara de la pieza.

**A3.5.- AGRUPACION DE MADERAS SELECCIONADAS EN GRUPOS ESTRUCTURALES Y ESPECIFICACIONES DE RESISTENCIA**

El número de especies de madera que pueden ser adecuadas para uso estructural es muy grande, mucho mayor que el número de especies que actualmente se conocen y destinan a esta aplicación. Para evitar la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas, cuando existen otras de características similares, se ha considerado apropiado agrupar a las especies ensayadas en grupos estructurales. Esto debe permitir mayor flexibilidad en el uso de las maderas, tanto latifoliadas como coníferas, evitando preferencias injustificadas que incrementan los precios del material. Los grupos incluyen a las especies y variedades más conocidas en México y Ecuador, que han sido estudiadas y ensayadas en pruebas de laboratorio, cuya información está disponible en diversas publicaciones.

Los criterios que se han tomado en cuenta para la clasificación en los grupos estructurales son: identificación botánica, selección de calidad estructural mediante la aplicación de las normas de clasificación visual, y el agrupamiento por

resistencia propiamente dicho. Para esto último, nos podemos ayudar de la correlación que existe entre la densidad básica y las propiedades mecánicas de la madera, usándola como un indicador del posible grupo al que pertenece la especie, para luego comparar sus características mecánicas con las del resto del grupo.

Cuando el diseñador especifica una determinada madera para la fabricación de un mueble, el fabricante o supervisor del taller deben asegurarse que se utilice esa madera, o una madera del mismo grupo estructural. Evidentemente, las características supuestas para una especie no tienen validez para otra que no pertenezca al mismo grupo estructural, por lo que un error en la identificación puede acarrear riesgos en el uso estructural de la madera.

La identificación inicial de los árboles de determinada especie se lleva a cabo en el momento de su extracción del bosque. Sin embargo, la identificación de la madera debe llevarse a cabo luego del aserrado. Para ello es posible comparar las características macroscópicas que presenta el material con las señaladas en bibliografía especializada. A este nivel de observación, sin embargo, existen ciertas limitaciones para una fácil y correcta identificación, por lo que puede ser necesario, cuando la importancia del proyecto lo requiera, realizar análisis microscópicos del material por identificar.

Las especies que se presentan en los grupos estructurales son aquellas para las que se han efectuado ensayos de laboratorio. Estos grupos no consideran muchas especies no estudiadas todavía, pero que también son aptas para estos usos. La utilización de maderas no agrupadas aún es posible, si previamente se aplican los criterios de clasificación que se indicaron previamente para la agrupación. Una vez identificado el grupo al que se la pueda asignar, todas las propiedades del grupo son aplicables a esta nueva especie.

Es necesario que todas las piezas de madera que se usen para la estructura de un mueble, satisfagan los requisitos mencionados en este anexo. De lo contrario, no es posible usar en el diseño, las propiedades que se han asignado al grupo estructural al que pertenece la especie. Eventualmente, cuando los países latinoamericanos hayan incorporado a su normalización los grupos estructurales con sus respectivas especies y las normas de clasificación visual, los usuarios (diseñadores y productores) podrán contar con piezas de madera de especies identificadas, agrupadas y clasificadas, garantizando con ello la información necesaria para su correcta aplicación.

A continuación se presentan las Tablas A3.1 y A3.2 en las que constan las maderas coníferas y latifoliadas mexicanas consideradas en esta clasificación con su nombre científico y su densidad. A continuación, en las Tablas A3.3 y A3.4 constan las maderas ecuatorianas consideradas.

TABLA A3.1. LISTA DE CONIFERAS MEXICANAS CONSIDERADAS

Nombre científico	Nombre común	Densidad básica
<i>Abies concolor</i>	Abeto	0.36
<i>Abies religiosa</i>	Oyamel	0.38
<i>Libocedrus decurrens</i>	Cedro blanco	0.35
<i>Pinus ayacahuite</i>	Ayacahuite	0.45
<i>Pinus coulteri</i>	Pino de pino	0.42
<i>Pinus contorta</i>	Pino	0.36
<i>Pinus quadrifolia</i>	Pino piñonero	0.41
<i>Pinus douglasiana</i>	Pino douglas	0.43
<i>Pinus durangensis</i>	Pino de Durango	0.44
<i>Pinus engelmann</i>	Pino chihuahua	0.46
<i>Pinus jeffreyi</i>	Pino ponderosa	0.38
<i>Pinus lambertiana</i>	Pino	0.35
<i>Pinus latophylla</i>	Ócote blanco	0.51
<i>Pinus laevis</i>	Pino michoacán	0.51
<i>Pinus peatae</i>	Pino colorado	0.53
<i>Pinus ponderosa</i>	Pino real	0.47
<i>Quercus barbinervis</i>	Encino	0.72

TABLA A3.2. - LISTADO DE LATIFOLIADAS MEXICANAS CONSIDERADAS

Nombre científico	Nombre común	Densidad básica
<i>Astronium Graveolens</i>	Jobillo	0.80
<i>Blepharidium mexicanum</i>	Popiste	0.50
<i>Brosimum alicastrum</i>	Djite	0.69
<i>Bucida buceras</i>	Pucté	0.75
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Barí	0.50
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro rojo	0.48
<i>Ceiba petandra</i>	Ceiba	0.43
<i>Diphollis salicifolia</i>	Zapote raisán	0.84
<i>Gutteria anomala</i>	Pope	0.34
<i>Licaria campechana</i>	Pimiento tabasco	0.84
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Machiche	0.72
<i>Lytiloma bahamensis</i>	T'alam	0.60
<i>Manihara zapota</i>	Chicozapote	0.88
<i>Piscidia communis</i>	Jabín	0.59
<i>Platymiscium yucatanum</i>	Grandillo	0.80
<i>Pouteria campechiana</i>	Kanisté	0.76
<i>Pseudobombax ellipticus</i>	Amapola cedreada	0.34
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	Mamba	0.70
<i>Sweetia panamensis</i>	Guayacán	0.72
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	0.43
<i>Talisia olivaeformis</i>	Guaya	0.84
<i>Vitex gaumeri</i>	Nichté/Ya'axnic	0.50

TABLA A3.3.- LISTA DE LATIFOLIADAS ECUATORIANAS CONSIDERADAS

Nombre científico	Nombre común	Densidad básica
<i>Brosium utile</i>	Sande	0.40
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Seique	0.37
<i>Despedezia apathulata</i>	Pacora	0.54
<i>Chorophora tinctoria</i>	Moral fino	0.71
<i>Chrysophyllum calnito</i>	Caimitillo	0.74
<i>Clarisia racemosa</i>	Pituca	0.51
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	0.55
<i>Guarea sp.</i>	Piaste	0.43
<i>Hieronyma chocoensis</i>	Mascarey	0.59
<i>Humiriastrum procerum</i>	Chanul	0.66
<i>Minquartia guianensis</i>	Guayacán pechiche	0.76
<i>Parkia sp.</i>	Tangama	0.33
<i>Pinthecallobium latifolium</i>	Jibaro	0.36
<i>Podocarpus rospigliosii</i>	Romerillo fino	0.57
<i>Podocarpus oleifolius</i>	Romerillo azuceno	0.44
<i>Pseudomeimedia laevigata</i>	Chimi	0.62
<i>Terminalia amazonia</i>	Yumbigüe	0.61
<i>Triplaris guayaquilensis</i>	Fernansánchez	0.53
<i>Vochysia macrophyla</i>	Laguno	0.38

En los cuadros siguientes se muestra la clasificación de las maderas coníferas y latifoliadas en los grupos estructurales correspondientes.

TABLA A3.4.- GRUPOS ESTRUCTURALES DE CONIFERAS

Grupo	Nombre científico	Nombre común
A	<i>Pinus letophila</i>	Pino chino
	<i>Pinus laevis</i>	Pino Michoacán
	<i>Pinus patula</i>	Pino colorado
	<i>Pinus rudis</i>	Qcote blanco
	<i>Quercus barbinervis</i>	Encino
B	<i>Pinus ayacahuite</i>	Ayacahuite
	<i>Pinus coulteri</i>	Pino de pifa
	<i>Pinus quadrifolia</i>	Pino piñonero
	<i>Pinus douglasiana</i>	Pino douglas
	<i>Pinus durangensis</i>	Pino Durango
	<i>Pinus engelmann</i>	Pino Chihuahua
	<i>Pinus ponderosa</i>	Pino real
C	<i>Abies concolor</i>	Abeto
	<i>Abies religiosa</i>	Oyamel
	<i>Lobocedrus decurrens</i>	Cedro blanco
	<i>Pinus contorta</i>	Pino
	<i>Pinus jeffreyi</i>	Pino ponderosa

TABLA A3.5. - GRUPOS ESTRUCTURALES DE LATIFOLIADAS

Grupo	Nombre científico	Nombre común
A	<i>Astronium graveolens</i>	Jobillo
	<i>Eucida buceras</i>	Pucté
	<i>Chrysophyllum cainito</i> (Ec.)	Caimitillo
	<i>Dipholis salicifolia</i>	Zapote faisán
	<i>Licaria campechana</i>	Pimiento tabas.
	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Machiche
	<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote
	<i>Minquartia guianensis</i> (Ec.)	Guayacán pech.
	<i>Platymiscium yucatanum</i>	Gr anadillo
	<i>Pouteria campechiana</i>	Kanisté
	<i>Pseudolmedia oxyphillaria</i>	Mamba
	<i>Swartzia cubensis</i>	K'atalox
	<i>Sweetia panamensis</i>	Guayacán
B	<i>Blephridium mexicanum</i>	Popiste
	<i>Brosium alicastre</i>	Djite
	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Bari
	<i>Chlorophora tinctoria</i> (Ec.)	Moral fino
	<i>Clarisa racemosa</i> (Ec.)	Pituca
	<i>Humiriastrum procerum</i> (Ec.)	Chanu.
	<i>Lysiloma bahamensis</i>	T'zalam
	<i>Piscidia communis</i>	Jabin
<i>Vitex guameri</i>	Ya'axnic/Nichté	
C	<i>Brosimum utile</i> (Ec.)	Sande
	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro rojo
	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba
	<i>Hieronyma chocoensis</i> (Ec.)	Mascare.
	<i>Guatteria anomala</i>	Zopo
	<i>Pseudobombax ellipticus</i>	Anapoia cedrea.
	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caca
<i>Triplaris guayaquilensis</i> (Ec.)	Fernansánchez	

A continuación se presentan los valores de resistencia última para cada tipo de esfuerzo, para coníferas y latifoliadas, con un contenido de humedad del 12 %

TABLA A3.6. - ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA DE CONIFERAS
(kg/cm²)

Grupo	Flexión EU _f	Corte EU _c	Compresión EU _c	Tracción EU _t
A	890	84	496	600
B	736	74	388	500
C	575	61	280	300

Valores válidos para maderas con 12 % de CH.

TABLA A3.7. - ESFUERZOS ULTIMOS DE RESISTENCIA DE LATIFOLIADAS
(kg/cm²)

Grupo	Flexión EU _f	Corte EU _c	Compresión EU _c	Tracción EU _t
A	1073	87	464	429
B	766	70	352	311
C	510	46	256	222

Valores válidos para maderas con 12 % de CH.

TABLA A3.8. - MODULO DE ELASTICIDAD (E)
(kg/cm²)

Grupo	E CONIFERAS	E LATIFOLIADAS
A	121 100	130 000
B	97 400	100 000
C	69 300	900 000

METODOS COMPUTARIZADOS DE ANALISIS ESTRUCTURAL

A4

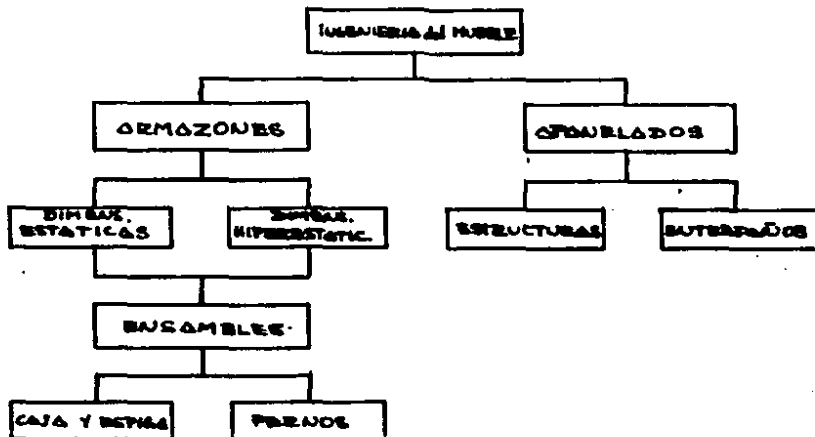
En este anexo se señalan ciertas aplicaciones de la computadora en ciertas partes del análisis estructural, donde resultan particularmente útiles. El empleo de las computadoras electrónicas en la resolución de problemas estructurales no es nada nuevo. Desde mediados de la década de 1960 se vienen utilizando en los problemas estructurales de carácter cotidiano, y actualmente se ha incrementado mucho su uso de modo que la mayoría de las grandes empresas las usan sistemáticamente para muy diversos problemas. Puesto que diversas prácticas, entre ellas el diseño y la ingeniería han presenciado las ventajas que brinda esta tecnología para el desarrollo de sus actividades, es necesario desarrollar programas específicos que satisfagan nuestros requerimientos.

Dentro de la práctica de la ingeniería del mueble es enorme la cantidad de problemas de análisis y diseño que una computadora puede manejar con increíble eficiencia. Actualmente se puede analizar y diseñar por medio de computadoras, casi cualquier tipo y tamaño de armaduras, torres, edificios, puentes, etc., pero no contamos con programas que aborden el diseño estructural de mobiliario. El diseño estructural de mobiliario por computadora permitirá simplificar la aplicación del análisis estructural, pues resuelve con gran rapidez y precisión toda la secuencia de análisis y cálculos, que si bien no son difíciles, si llegan a ser tediosos.

A4.1.- ALCANCES DEL PROGRAMA DESARROLLADO

Para complementar el presente trabajo de tesis se desarrolló un programa en lenguaje de programación AMIGA BASIC para las microcomputadoras personales Amiga. Se presenta el listado del programa, para que pueda ser ingresado a una máquina similar, o sea traducido a cualquier versión de BASIC para cualquier tipo de máquina. Adicionalmente, una copia del programa estará disponible en el Centro de Cómputo de la Unidad de Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

El programa contempla un menú principal en el cual se puede escoger el sistema estructural del mueble a analizar y posteriormente las posibilidades que se presentan:



Esta primera tentativa de programación del análisis estructural de muebles abarca aplicaciones similares a las que se han visto en el desarrollo del tema, y por lo tanto, a este nivel su alcance es limitado. Es de esperarse que en lo futuro se podrá analizar cualquier tipo de mueble para ser construido con diferentes materiales, que consideren miembros de formas y secciones variable, etc., conforme se siga incorporando al programa información sobre nuevos esquemas estructurales, consideraciones de carga, resistencia de materiales, dimensionamiento de ensambles, etc.

Para análisis de armazones se parte de dos esquemas básicos: una silla y una mesa. En el esquema de la mesa se sintetizan muchas otras posibilidades como camas, bancos, etc. Se toma como caso crítico el esfuerzo de flexión producido por la fuerza horizontal aplicada a la mesa cuando se levanta un lado de la mesa. Se consideran secciones transversales constantes y rectangulares en todos los elementos.

El programa, conforme a las opciones escogidas, pide una serie de datos que tienen que ser ingresados a la computadora via teclado, ayudado de los esquemas donde se ilustran los nombres de las variables solicitadas y sus unidades, o consultando diversas tablas que se presentaban en esta tesis.

Este programa de ingeniería del mueble incluye una gran parte de los análisis estructurales y de dimensionamiento vistos en este documento. Se excluye en este primer programa la utilización de sugeradores mecánicos en el diseño de uniones, pero se ha hecho énfasis en el dimensionamiento de ensambles de caja y espiga y de pernos de madera.