

LA MADERA EN LA PREFABRICACION

TERCERA PARTE

Arquitecto **FRANCISCO AEDO C.**

Director del Instituto de Edificación Experimental
Universidad de Chile.

primera parte.—Técnica y Creación nº 6.—problemática de la edificación en madera. definición de la madera como material de construcción. crítica al procedimiento clásico de proyecto y montaje de estructuras de madera.

segunda parte.—Técnica y Creación nº 7.—mecánica de la madera natural. productos industrializados. uniones por adhesivos.

8.—PROBLEMAS DE DISEÑO EN LA PREFABRICACION CON MADERA

A. MUROS O PANELES

1-1 *Definiciones*

La construcción de casas prefabricadas de madera, en su acepción clásica, presupone tres etapas diferenciadas del trabajo:

Construcción de las fundaciones.

Ejecución de los muros (completos o modulares)

Ejecución de las techumbres.

En esta enumeración se ha prescindido de instalaciones y otros pormenores que serán distintos según las soluciones adoptadas pero siempre complementarios de la idea fundamental de estructura industrializada.

Las fundaciones —universalmente— son hechas de hormigón, y su técnica cae fuera del presente trabajo. La conveniencia de no usar madera en las fundaciones es obvia. Si por alguna razón el técnico decide usarla, la duración del edificio debe reducirse según la zona, a no más de 10 años o afrontar la renovación completa de aquéllas.

No se descarta aquí la posibilidad de refundir en una sola las etapas segunda y tercera, aun cuando los elementos modulares resultantes de construir en forma simultánea muros y techumbre serían voluminosos y difíciles de transportar. La idea ha sido ya puesta en práctica siguiendo los esquemas b, c y d de la figura 1 en los cuales es fácil ver qué muros

y techumbres son un sólo elemento.

La necesidad de transportar los elementos prefabricados desde las zonas en que están ubicadas las industrias forestales hasta los centros de consumo, inclina las soluciones hacia el caso a) figura 1, con elementos planos fáciles de acomodar y hasta de empaquetar.

Se trata entonces de diseñar y fabricar dos tipos diferentes de elementos constructivos, los verticales y los horizontales. Diferentes por razones estructurales y por el rigor de las solicitaciones a que están sometidos.

En efecto, aun cuando los elementos de techumbre cargan sobre los muros, los que a su vez los soportan, los primeros sostienen su peso propio y las sobrecargas en régimen de flexión; reciben 60% más agua que los verticales durante las lluvias y la escurren con velocidad 10 veces menor. Reciben el sol casi perpendicularmente durante gran parte del año; sobre ellos se acumula la nieve, el polvo y las hojas; son difícilmente accesibles y no se protegen ni pintan con regularidad. Por esta razón obedecen a diseño y especificaciones distintas y serán tratados en capítulo aparte.

1-2 *Diseño del panel.*

En lo que sigue nos ocuparemos de paneles o muros completos prefabricados con un esqueleto de madera natural y revestimientos de diversos

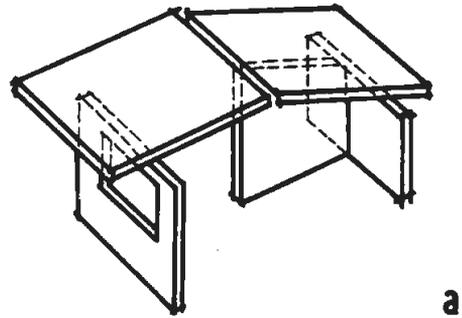
materiales. La extensión alcanzada en Chile por la palabra "tabique" como denominativo casi genérico de las paredes estructuradas con madera justifica suficientemente el seguir usándolo, aun cuando la palabra tabique designa en el léxico a una pared delgada con prescindencia de mencionar su material.

Al tabique formado por un esqueleto y un revestimiento no estructural lo denominaremos "tabique revestido"; al mismo, pero dotado de un revestimiento tal que por su naturaleza y disposición resulte indeformable, le llamaremos "tabique rígido". Al tabique constituido por tablas gruesas machiembradas que por su espesor no requieren revestimiento, sin esqueleto o con él, pero constituido por barras muy distanciadas, lo denominaremos "tabique macizo" y será tratado en capítulo aparte. (Figura 2).

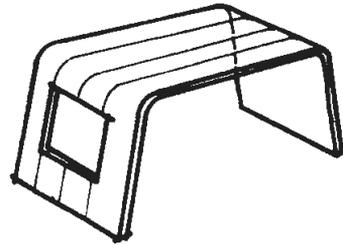
En los tabiques revestidos, el revestimiento de la cara exterior está formado con tablas de madera natural traslapadas; otras veces las tablas son substituidas por láminas delgadas de madera prensada, de asbesto-cemento, de metal. Por el interior se utilizan materiales similares u otros de menor jerarquía. En todo caso, el revestimiento está sobrepuesto al esqueleto, clavado o encolado y sin intención de hacer de ambos un conjunto estructural.

1-2 a) *Tabique revestido*. = El esqueleto, formado por piederechos, soleras y diagonales se define como una estructura reticulada, triangulada, plana e indeformable en dirección longitudinal. Es capaz de soportar cargas verticales y horizontales y de transferirlas al terreno de fundación mediante un cimiento. En dirección perpendicular a su plano, las cargas horizontales (acción del viento o sismo) serán equilibradas por flexión de los piederechos y solera superior. Aquí cabe señalar que el revestimiento, que definimos como inerte, en el caso de la acción del viento deja de serlo, ya que es el órgano que transmite a los piederechos esa acción.

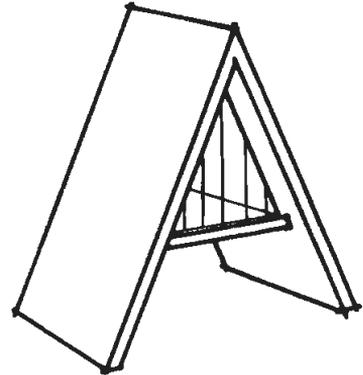
Debido a las cargas en dirección perpendicular al plano del tabique este no puede tener longitud indefini-



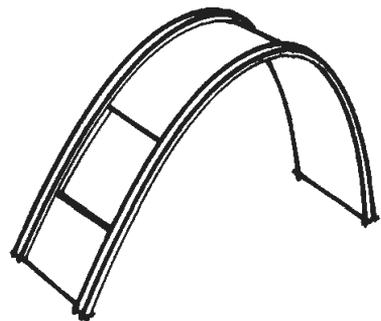
a



b



c



d

FIGURA 1 MODULOS DE PREFABRICACION.

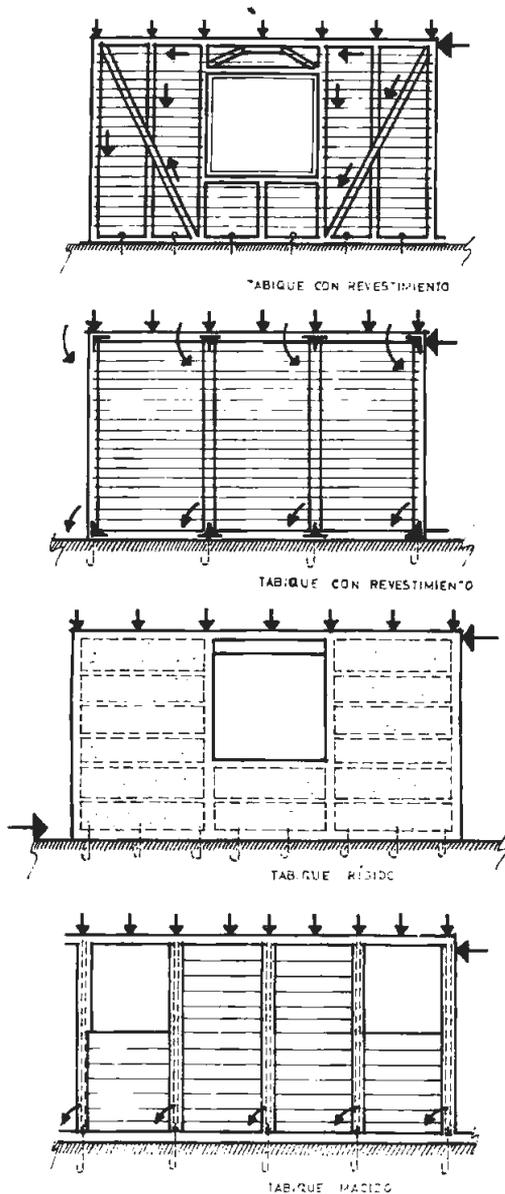


FIGURA 2

da y su tendencia al volcamiento, originada por esas cargas, debe ser equilibrada por tabiques perpendiculares o por arriostramiento de la solera superior (Figura 3). Es prudente no llegar a más de 4,50 m. de longitud libre para tabiques revestidos.

La sección de los piederechos está regida por su altura y por la distancia que guardan entre sí. Esta es, a su vez, función del módulo elegido y

del que regula al material de revestimiento. (Para tabiques hasta de 2,70 m. de altura, revestidos en madera, es aconsejable una sección rectangular de 32 x 70 mm. o 32 x 94 mm. para distancias entre piederechos de 60 a 80 cm.

En este tipo de tabiques, la indeformabilidad se obtiene con piezas diagonales que ligan ambas soleras cruzando los piederechos. Cuando en un paño existen vanos de puertas o ventanas, la continuidad estructural se interrumpe y no es posible reestablecerla, como en el hormigón armado, a través de los dinteles. Los paños deben ser rigidizados aparte, constituyendo en sentido longitudinal, estructuras separadas.

En el reticulado triangulado, la acción de fuerzas horizontales en sentido longitudinal es equilibrada por las barras originando en ellas tensiones y desplazamientos. Dado que la solera inferior es por lo general indeplazable a lo largo del cimiento, los piederechos resultan empotrados en ella. En cambio, la unión a la solera superior es desplazable en cierto grado. De estas consideraciones deducimos que la solera superior resulta traccionada o comprimida y, eventualmente flexionada cuando sobre ellas gravitan cargas de techumbre; los piederechos son comprimidos y flexionados con mayor intensidad en la junta a la solera inferior; las diagonales resultan comprimidas o traccionadas según el sentido de la acción horizontal; la solera inferior, apoyada en toda su extensión en el cimiento experimenta compresiones localizadas bajo los piederechos, aplastamiento contra el tallo de los pernos de anclaje y cierta flexión lateral.

Una variante de la estructura de este tabique se obtiene al disponer los piederechos como diagonales, lo que facilita el aprovechamiento de la madera corta.

Las tensiones internas de la madera verde provocan torsiones y alabeo de las piezas, cuya intensidad es a menudo superior a las tensiones provocadas por acción dinámica, desvirtuando la solución de las uniones, las que pueden ser destruidas por esfuerzo de corte y desgarramiento.

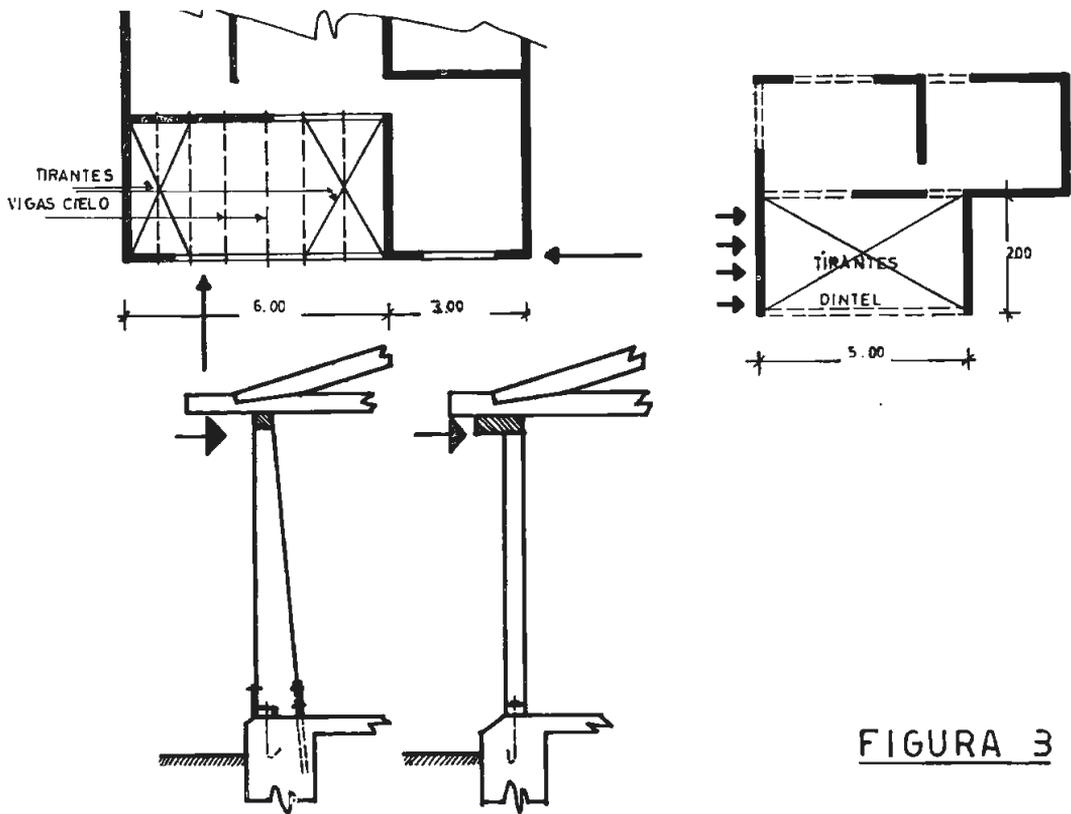


FIGURA 3

SOLUCIONES PARA PLANTAS CON RIGIDEZ INSUFICIENTE

El tabique descrito es el más corriente y generalizado. Su estructura es simple y de gran eficacia y si se pudiera hacer por métodos cómodos una verificación circunstanciada de tensiones, resultaría sobredimensionado. Por esta razón no requiere de una artesanía demasiado cuidadosa. La experiencia ha permitido abandonar paulatinamente los clásicos procedimientos de unión de la carpintería depurada para ser substituidos por clavos y adhesivos; las espigas y los calados han sido reemplazados por cortes o escuadra. (ver soluciones parciales en fig. 4).

Algunas exigencias técnicas de la prefabricación de tabiques revestidos haría deseable solucionarlos sin diagonales (relleno atérmico de planchas modulares que no interesa cortar; ventanas de dimensiones amplias, etc. etc.) y, en tal caso, el tabique debe rigidizarse en los nudos. Pueden separarse los piederechos y aumentar su sección, lo que facilitará el empotramiento en la solera inferior y hará más viable la colocación de atezadores (ver fig. 4 a y b).

La prefabricación responde a la

necesidad de construir en forma masiva y se fundamenta en la simplificación de los métodos y en la industrialización. Los tabiques descritos no son elementos excesivamente simples y al gran número de piezas de que están formados habría que agregar los revestimientos y la aislación térmica. Las operaciones mecanizables son, en este caso:

—Rectificado y cortado de pieza de madera, según plantilla.

—Numeración y clasificación de las piezas, según un plan de ejecución para montaje en serie.

—Presentación de las piezas que forman un módulo sobre el banco o tren móvil de montaje. Fijación de ángulos correctos mediante guías fijas en el tren de montaje.

—Encolado automático y clavado de las piezas.

—Rectificación de la planimetría de ambas caras del módulo.

—Encolado de las partes y clavado de los revestimientos.

—Pintura protectora de los módulos.

Lo anterior puede ser hecho, en operaciones sucesivas, por obreros

distintos a través del recorrido en el tren de montaje.

La aparición de otros materiales, el uso de adhesivos y la constante búsqueda en procura de racionalizar los métodos de construcción, han permitido formular la idea del tabique rígido, aquél en el cual el revestimiento participa de las funciones estructurales y que pasamos a describir. La indeformabilidad de los paneles en conjunto o de los tabiques completos en sentido longitudinal, asegura de por sí la necesaria resistencia al volcamiento por acción horizontal. Esta "rigidez" resulta entonces fundamental en el diseño de paneles que distribuidos en el plano de la vivienda, perpendiculares los unos a los otros, configuran su estructura. De aquí que resultará siempre interesante un diseño de paneles prefabricados en que tal rigidez aparezca incorporada a su concepción inicial.

1-2 b) Tabique rígido.—Ya fue definido como un tabique en que el revestimiento no era inerte, sino que colaboraba a la rigidez del conjunto. Si el revestimiento es una placa de gran superficie (igual a la superficie del panel) y colocada al centro del espesor del panel, o por ambas caras, la rigidez longitudinal queda asegurada por la existencia de nervios perimetrales (soleras y montantes del bastidor) y de nervios de repartición, así como por el procedimiento con que se realizan sus uniones. Las diagonales carecen aquí de objetivo y su supresión facilita el trazado y corte de piezas del panel.

El revestimiento, además de sus condiciones de duración, presencia externa, resistencia a los agentes atmosféricos, etc., debe poseer claras condiciones de resistencia mecánica (Módulo de elasticidad; resistencia a compresión, tracción, cizalle e impacto). El revestimiento requiere además un espesor mínimo que asegure resistencia al pandeo por compresión entre dos nervios.

A título de ejemplo, citaremos algunos materiales considerados aptos para cumplir la función de revestimiento rígido en lo que respecta a condiciones mecánicas:

Placas de madera prensada de 4 a 6 mm. de espesor.

Madera terciada de 8 mm. (tulipa gruesa).

Placas de asbesto-cemento y celulosa (8 a 10 mm.).

Placas de madera aglomerada con resinas (10 a 12 mm.).

Eventualmente, chapas de acero de 1 a 1,5 mm. de espesor.

El uso de otros materiales de menor espesor y distintas condiciones mecánicas de los ya citados no puede considerarse proscrito en forma alguna, ya que su comportamiento dependerá en gran medida de las condiciones del reticulado o esqueleto del panel.

Hasta aquí nos hemos atenido al uso de madera natural, escuadrada, para la formación del esqueleto, cuyas barras irán distanciadas de 30 a 45 cm. entre sí. Existen numerosas proposiciones, ya materializadas sobre fabricación de paneles rígidos o semirígidos, con un concepto diferente acerca del esqueleto.

Así, por ejemplo, el panel Honey-Comb utiliza celdillas hexagonales de papel grueso para formar el reticulado, pegado con adhesivo; las celdillas miden unos 30 a 60 mm. de diámetro y de 50 a 70 mm. de profundidad; sus aristas, por ambas caras, proporcionan la base para fijar —también mediante adhesivos— las chapas de revestimiento, las que pueden tener espesores muy inferiores a los citados.

Con la misma idea, pero usando tulipas de 1 mm. de espesor curvadas en forma de cilindros de unos 70 mm. de diámetro y colocados regularmente sobre una plancha de revestimiento, se forma un panel semirígido al cerrar el conjunto con la segunda plancha adherida a la otra cara del panel.

Para la formación de módulos utilizables en prefabricación de viviendas, a base de lo expuesto, no podrán evitarse los nervios de borde ejecutados en madera natural y que servirán para realizar las juntas con el cimientto y las juntas entre módulos.

1-2 c) Tabiques macizos.—En cierta forma, un tabique macizo podría definirse como una albañilería de madera en que los elementos modulares (tablones) están colocados horizontalmente y machiembrados entre sí.

Un caso particular lo constituye aquél tabique en que los tablones son verticales, adosados uno al otro mediante machiambre.

Un esqueleto de piederechos y soleras ranurados, semejante al de Fig. 4 F, sin diagonales y rigidizado en los nudos, constituye la estructura del tabique macizo de tablones horizontales, los que tienen un largo comprendido entre 1 a 1,20 m. En este caso, los tablones o módulos base se colocan sueltos en las ranuras de los piederechos, sin clavos ni adhesivos, en forma discriminada para favorecer los cambios volumétricos debidos a la pérdida o absorción de humedad. La hermeticidad obtenida por un doble machiembrado de tablones de 44 mm de espesor es suficiente para climas lluviosos. Para climas más severos en los cuales sea frecuente una gran velocidad del viento y lluvias muy intensas, puede modificarse la forma de las ranuras del machiembrado de manera que permita colocar un cordón de mastic de caucho sintético.

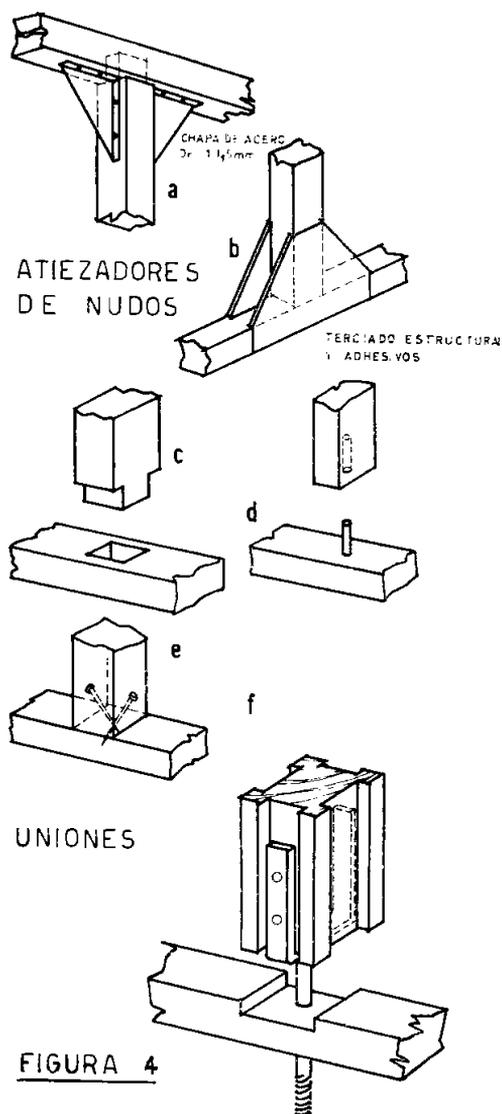
Es interesante anotar que el consumo de madera por m² de tabique macizo es apreciablemente el mismo que en el caso de tabique revestido por ambas caras:

—Tabique triangulado con piederechos, soleras y diagonales de 32 x 96 mm. Revestimiento exterior de 20 mm.; interior de 10 mm. 3,36" por m². de tabique (pulg. maderera).

—Tabique macizo, con bastidor completo; piederechos, soleras de 96 x 96 mm. y módulos base de 44 x 196 mm.

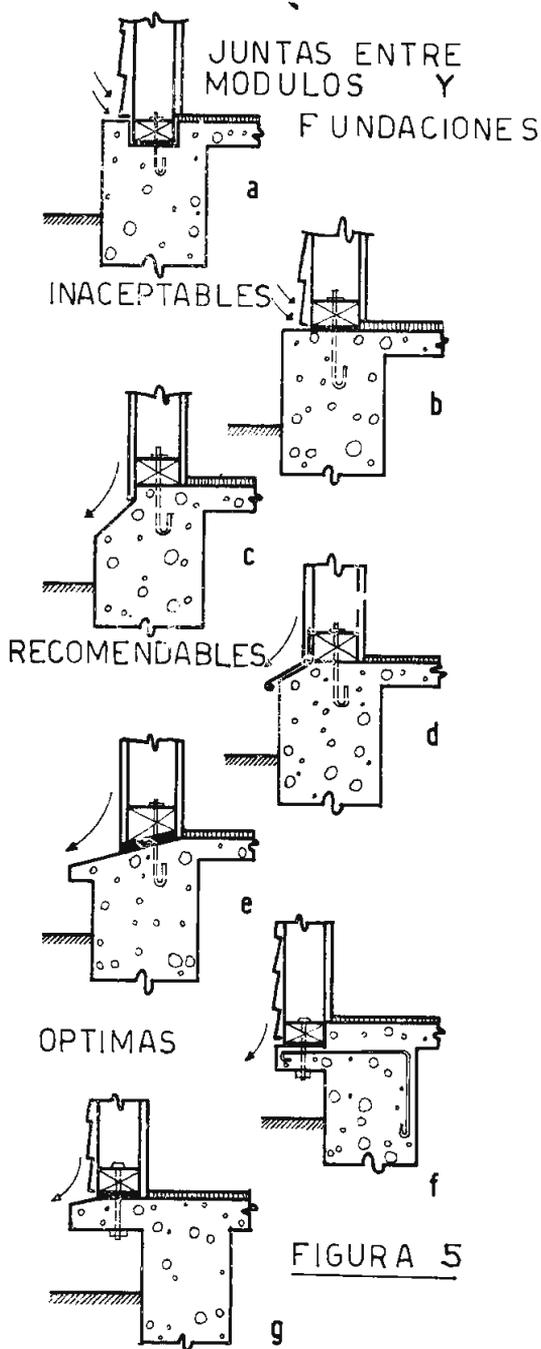
3,96" (pulg. maderera) por m² de tabique.

La idea envuelta en esta proposición estructural obedece, sin duda, al deseo de obviar la inestabilidad dimensional de la madera, la que colocada suelta entre los piederechos goza de libertad de contraerse o dilatarse. Sus promotores estiman que puede usarse, para los tablones, madera con alto contenido de humedad. Por otra parte, también es favorable el hecho de que los módulos-base son relativamente cortos y la multiplicidad de los entrepaños absorbe fácilmente el movimiento del material sin que se produzcan aperturas demasiado grandes.



Dijimos que la rigidez longitudinal estaba confiada al arriostramiento de los nudos del bastidor, por no existir diagonales. Las acciones perpendiculares al plano del tabique son así mismo resistidas con holgura por los módulos base de 44 mm. de espesor, con apoyos a 1,07 m.

Es de sobra conocida la gran capacidad aislante de la madera. Aunque no poseemos ensayos sistemáticos para evaluar el coeficiente K de estos tabiques, el espesor de 44 mm. asegura una aislación semejante a los muros de albañilería de 20 cm. de espesor, la que se verá disminuida por el cierre defectuoso entre módulos base y piederechos.



La prefabricación, para este tipo de tabiques, tendrá influencia predominante en la construcción del bastidor o esqueleto resistente que podrá realizarse en serie, en un banco de montaje. En cambio, los módulos-base una vez elaborados en la máquina tupí, sólo requieren ser cortados a un

largo exacto y serán colocados uno por uno en las ranuras de los piederechos.

Adquiere especial importancia, en este caso, la fijación de piederechos a soleras inferior y superior y el empotramiento de éstas al cimiento. En figura 8 se dan algunos detalles de este montaje.

Una simplificación del tabique macizo consiste en disponer los tablones verticalmente, suprimiendo los piederechos del bastidor. Si por la cabeza superior del tabique aprisionamos los tablones con dos soleras en cepo y buscamos una solución similar en la base, el machiambre entre tablones que permite desplazamientos longitudinales pero no trasversales de un tablón con respecto a los vecinos, configura con bastante exactitud la idea de una verdadera placa de madera maciza. Si el material utilizado posee la humedad de equilibrio y se le elige entre las maderas de baja contracción, es posible construir estos tabiques en zonas poco lluviosas, con amplia protección contra la acción del sol o en zonas de humedad constante. Si la madera elegida es el pino no sometido a secado industrial, el riesgo de alabeo de los tablones de 2,45 m. de altura es considerable y deberá calcularse la rigidez de la doble solera superior para evitar deformaciones notorias.

En lo que va dicho sobre tabiques macizos, la principal ventaja radica en la supresión de los revestimientos, lo que obligará a una elección cuidadosa del material antes y después de la elaboración. Es aconsejable terminar las caras de los paneles macizos con lijadora de banda y almacenarlos durante 30 días antes de la primera mano de barniz o imprimante.

No es despreciable la ventaja originada por el bajo coeficiente K de la madera que permite la supresión de una aislación especial, con la consiguiente economía.

Hemos de reconocer que los diseños propuestos para aplicar sobre ellos sistemas de prefabricación, no se apartan gran cosa de los diseños para construir en obra. No podría ser de otra manera si el material que nos hemos impuesto usar es la madera na-

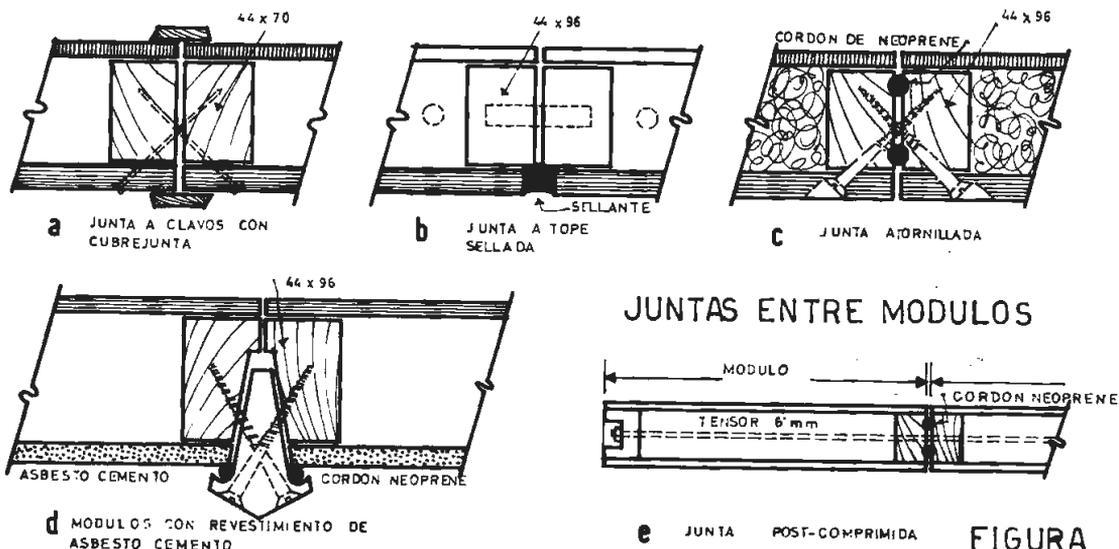


FIGURA 6

tural, es cuadrada, cuya artesanía es tan vieja como el hombre. Al no variar el material, difícilmente podría proponerse estructuras distintas por cuanto estas responden a fenómenos físicos sencillos y ya suficientemente conocidos. La tarea que debe cumplir la prefabricación es eliminar al máximo el trabajo artesanal, perfeccionar las uniones y normalizarlas, reducir los módulos a unos pocos elementos distintos y tener clara conciencia del funcionamiento estructural de los sistemas.

1-3 Juntas en la estructura:

La prefabricación por módulos genera diversas juntas cuya solución rigurosa marca las bondades de un sistema.

Una junta puede diseñarse para transmitir cargas de un módulo a otro; de un módulo a la fundación; para formar un diedro en los remates de módulo. Por otra parte, existirán juntas "neutras" que sólo realizan la continuidad superficial de un plano, sin la obligación de transmitir cargas singulares. Pero, en ambos casos, al margen de los mecanismos de transmisión de fuerzas, la junta debe ser hermética al agua, a los cambios de temperatura y al ruido, fácil de eje-

cutar y de una excelente apariencia. Menor rigor se aplica a las juntas entre módulos de tabiques interiores.

1-3 a) *Junta entre módulo y fundación.*—Es de tipo estructural y debe además cerrar eficazmente el edificio por la parte inferior al paso del agua, de la humedad ascensional, de los insectos y del aire.

Por su posición, concentra el agua si existe allí un saliente horizontal o de poca inclinación y, como primera condición se exige un diseño que guíe el agua con un drenaje energético, fuera del edificio. (La madera es particularmente sensible al ataque de hongos en la zona de transición de un medio húmedo a uno seco).

Estructuralmente, la junta inferior debe resistir la tendencia al volcamiento del tabique exterior, causada por la presión del viento y la acción sísmica perpendicular a su plano. En figura 5 se dan algunos dispositivos comparados, de fácil ejecución (Nótese los anclajes y el sello contra la humedad).

Si bien es cierto que tales dispositivos no permiten el deslizamiento del módulo en ninguna dirección, lo que corresponde fielmente a la condición impuesta de apoyo empotrado, debe advertirse que para otros materiales distintos de la madera y más

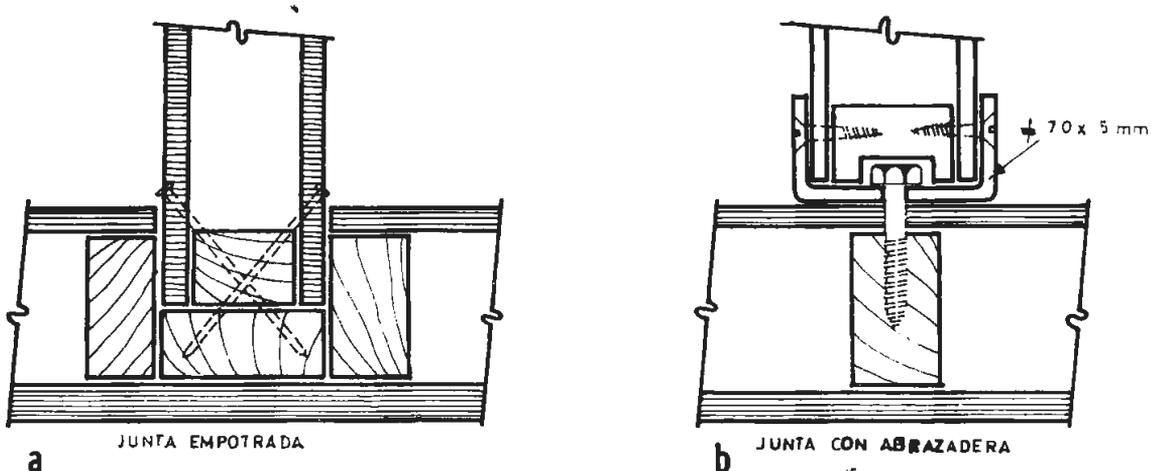


FIGURA 7 ENCUENTRO ENTRE MODULOS

sensibles a la dilatación térmica, pueden diseñarse apoyos con posibilidades de movimiento longitudinal.

1-3 b) *Juntas entre módulos.*—La elección de módulos de posición vertical, obliga a solucionar juntas de este sentido. Son menos expuestas al paso del agua que las horizontales, pero es más rigurosa la exigencia de la aislación térmica y acústica. Por otra parte y, a no ser que se trate de módulos “autosoportantes”, el diseño debe evitar la posibilidad de deformaciones y de desplazamientos locales que interrumpan visualmente la continuidad de la superficie. Sin embargo, para contrarrestar el fuerte empuje causado por la dilatación térmica y la posible absorción de humedad, así como la retracción, la junta ideal debiera representar un estado de “tensión elástica” capaz de absorber las compresiones por dilatación y de mantener el sello, aun cuando los módulos se contraigan. (Destacamos aquí la importancia de disponer de ensayos que aclaren los límites entre los cuales se producen esas deformaciones).

Existen en el comercio diversos materiales a base de caucho sintético, en perfiles, o posibles de fabricar según diseño; otros en estado de mastic,

de probada eficacia, que permiten realizar las juntas “a tope”. De no usarlos, los montantes verticales del módulo deberán llevar rebajes de traslape, o ranuras machiembradas.

Como el módulo se concibe “prefabricado”, pueden preverse y colocarse en el taller los dispositivos de apriete o de bloqueo. (Figura 6).

Cuando los materiales de revestimiento se dejan clavar o atornillar con facilidad, la junta más sencilla es aquella que resulta apretada con clavos o tornillos insertados durante la colocación, aún cuando esta solución demasiado directa rara vez es compatible con una buena calidad del prefabricado.

Una gran simplificación de las juntas verticales entre módulos se obtiene perforándolos transversalmente y ejercitando una post-compresión del conjunto mediante tensores de acero, tarrajados en los extremos (Acero A-54 de unos 6 a 8 mm. de diámetro).

1-3 c) *Cruce de módulos.*—Esta unión resulta sencilla ya que no hay exigencias particulares para su ejecución, siempre que el cruce se verifique en un piederecho del tabique de fachada para evitar acción de ariete del tabique interior sobre los revestimientos. El revestimiento exterior debe mantenerse sin perforarlo, lo

que se obtiene en las soluciones de la Fig. 7.

1-3 d) *Juntas de esquina.*—La discutida junta de esquina en la construcción prefabricada merece un estudio acucioso para decidir, en el diseño de paneles, si es o no necesario recurrir a montantes terminales distintos del resto de los piederechos del módulo. Esta junta exige un contacto amplio y satisfactorio a lo largo de la testera de uno de los módulos que recibirá los empujes horizontales del tabique al cual es perpendicular. A su vez, este último recibirá los empujes del primero con uniones sometidas a esfuerzos de corte. (El análisis de esfuerzos es distinto cuando se ejecuta el cruce a 45°).

Por otra parte, la arquitectura exige una gran perfección en la línea de la arista, lo que obliga siempre a colocar allí un cubrejuntas.

Deberán existir, en ambos tabiques que se cruzan, pernos muy próximos a la esquina en la junta con la fundación y, a ser posible, en el plano de la techumbre, deberán triangularse ambas soleras superiores, ya sea usando una pieza de madera dura de 32 x 96 mm. unida con tirafondos, o un trozo de plancha de acero atornillada.

La transmisión de esfuerzos de corte se consigue usando escuadras de acero o trozos de fierro L. En la esquina será lícito y recomendable usar cualquier dispositivo que permita comprimir fuertemente un panel contra el otro.

En la figura 8 se dan, así mismo, dos soluciones para este tipo de junta.

En la continuación de esta serie de artículos abordaremos el problema de las techumbres.

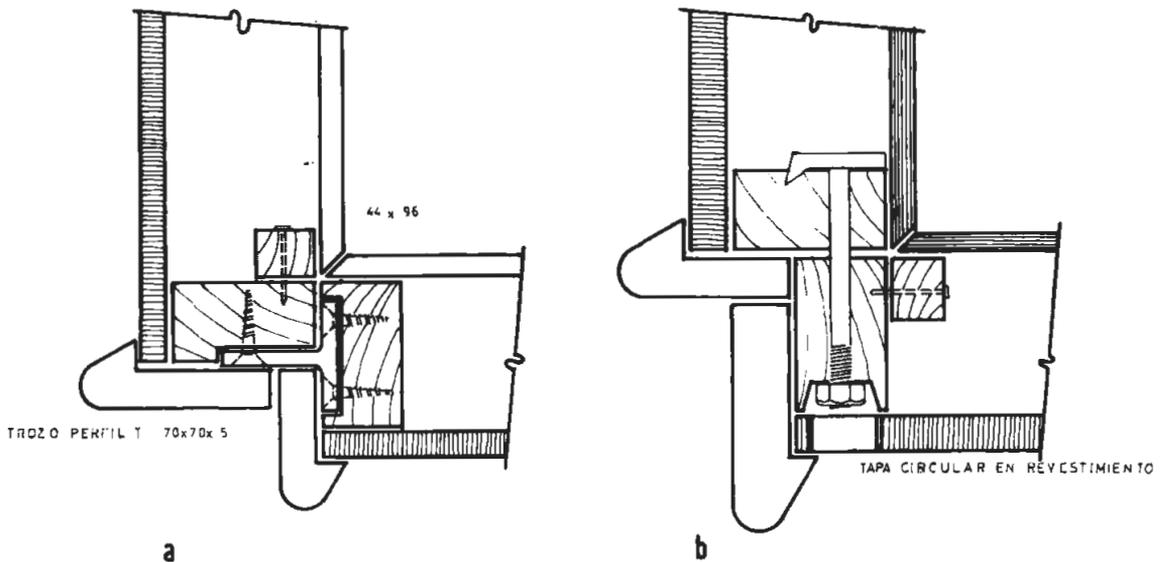


FIGURA 8

JUNTAS DE ESQUINA