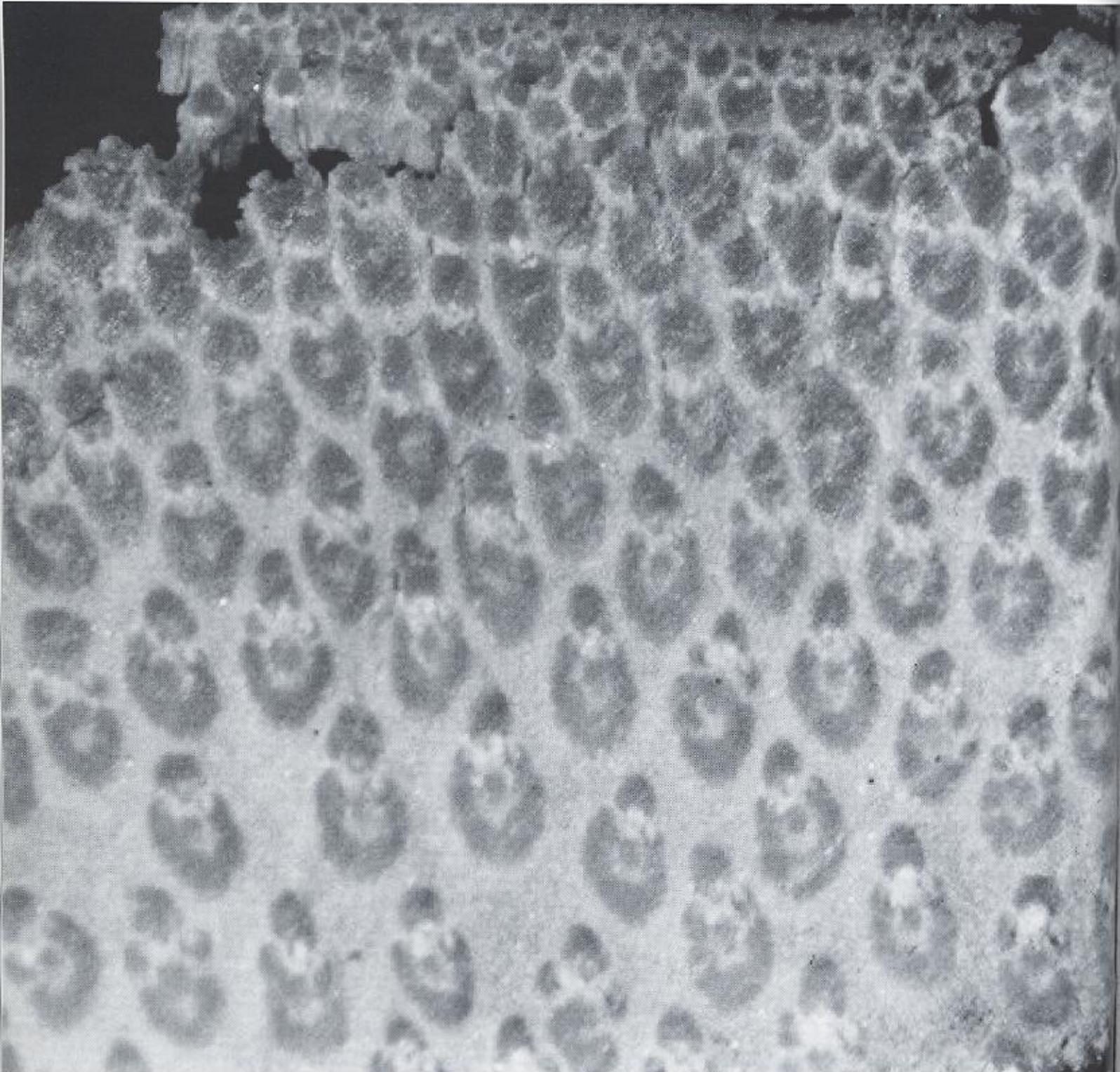


# El otate como material estructural /

Agustín Hernández Hernández

Doctor en Arquitectura y profesor de la  
Facultad de Arquitectura, UNAM

Estructura celular del entrenado del otate en sentido transversal.



## El otate o bambú es un material de construcción popular que hoy ha sido retomado por la arquitectura contemporánea por sus bondades técnicas y estéticas.

El clima predominante del estado de Veracruz es adecuado para el desarrollo del otate o bambú en forma de bosquesillos a orillas de ríos, arroyos e incluso en partes altas. Su abundancia y cualidades lo convirtieron en el material idóneo para construir viviendas económicas y coherentes con los patrones culturales y de producción, aportando características típicas que configuraron la identidad regional que en su momento satisfizo las necesidades de los moradores; sin embargo, el uso artesanal del material ha aplazado la evolución del sistema constructivo, así como el de la identidad. Ante estas circunstancias, dicha alternativa ha perdido aceptación, aunque continúe representando una opción económica.

Esta referencia indica la necesidad de adecuar el programa regional de arquitectura a las circunstancias actuales para construir con alternativas que permitan asegurar la continuidad y permanencia de la arquitectura tradicional, propia, de las zonas tropicales. En atención a esta situación, surgió la preocupación por analizar al otate (*bambusa vulgaris*) como material estructural, con el objetivo de contribuir a tecnificar su uso e impulsar su aplicación en construcciones de distintos géneros.

El presente artículo se propone difundir una síntesis cualitativa de una investigación pragmática sobre el otate en la que se estudia su taxonomía y deriva su conducta estructural de la especie silvestre de la Huasteca veracruzana, mediante series de estudios y ensayos.

El otate es un material renovable de sección tubular circular, variable en proporción de su altura, reforzada a intervalos regulares mediante un sistema de elementos mecánicos colocados en toda su longitud llamados nudos, los cuales separan la cavidad de los entrenudos e incrementan su resistencia y comportamiento.

Para estudiar la morfología de su estructura celular se hicieron estudios de microscopía óptica, los cuales revelaron la existencia de un arreglo estructural variable que sugirió distinguir al nudo y al entrenudo durante la investigación; en este último se concentran gradualmente las fibras longitudinales hacia el perímetro. Los nudos,



Estructura de otate en Veracruz.

además de fibras, tienen varias capas de células parenquimatosas que cohesionan al conjunto, conectadas por filamentos intercelulares, y conforman un diafragma que separa un entrenudo de otro, lo cual aporta al otate resistencia y elasticidad.

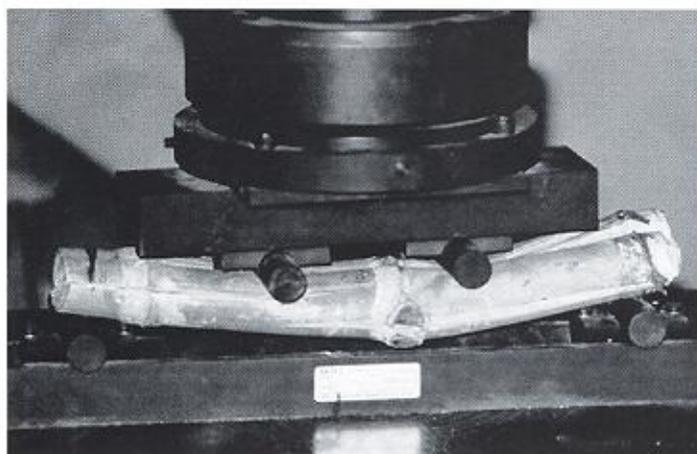
Después de ordenar las descripciones anteriores, se procedió a investigar las propiedades mecánicas del material, sometiendo especímenes a distintas pruebas de laboratorio con el fin de cuantificar su capacidad mecánica y estudiar su comportamiento, cuestiones fundamentales en la conceptualización de estructuras.

Los esfuerzos sintetizados aquí corresponden a la resistencia última y pueden aceptarse como conservadores, porque materiales como éste mejoran sus propiedades mecánicas a medida que disminuye su contenido de agua; por ello es razonable aceptar la existencia de un grado de aleatoriedad en dichos resultados, dado que las muestras ensayadas tenían un mes de haberse cortado y no se sometieron a ningún tratamiento de secado.

Aunque la experiencia documentada para ensayar otate no es abundante, las características de los especímenes se definieron tomando como referencia la descripción morfológica derivada de las micrografías, apeándose, en lo posible, a parámetros y normas que rigen a las pruebas de laboratorio y al equipo disponible.

### Pruebas de tracción

La falla siempre se presentó perpendicular a la fuerza, en la zona contigua del nudo, justo donde ocurren cam-



Prueba de flexión.

bios de sección y reacomodo de fibras. Durante las pruebas, los sensores registraban una deformación prematura, debido al deslizamiento inicial de las mordazas, por ello las gráficas inician con una precarga; no obstante, la línea continua y uniforme evidencia un comportamiento elasto-plástico del material.

$$\text{Esfuerzo de tracción} = 927 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

#### Pruebas de compresión

En esta prueba se siguió la distinción que rigió la morfología estructural, y en ambos casos las liberaciones de esfuerzo se registraron en la zona del entrenudo en sentido diagonal, a  $45^\circ$ , donde la proyección del esfuerzo permite definir un plano de tracción tangencial máxima, provocando un cizallamiento de las fibras. Por lo tanto, el material no falló por esfuerzo normal, debido a que las sollicitaciones asociadas a la compresión superaron antes la capacidad del material a cortante; sin embargo, la localización de esta liberación de esfuerzo evidencia propiedades intrínsecas del material ilustradas en las micrografías.

$$\text{Esfuerzo de compresión} = 332 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

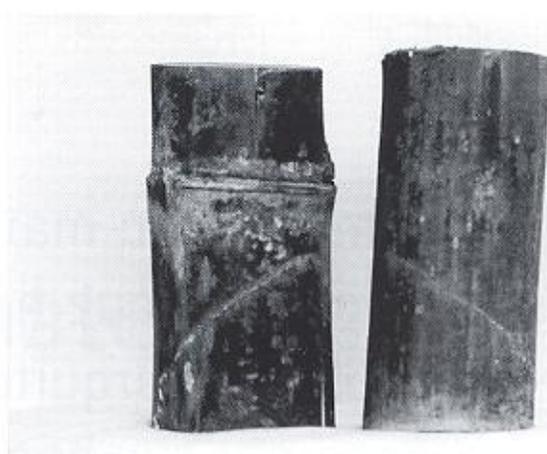
#### Pruebas de cortante

Siguiendo la misma clasificación anatómica y la dirección crítica deducida previamente durante estas pruebas, los especímenes correspondientes al nudo no configuraron la falla en dirección coplanar a la carga. Dicha respuesta es congruente con la descripción que advirtieron las micrografías ya que al inducir la carga paralela a las fibras longitudinales la zona perimetral del entrenudo experimentó mayor capacidad de esfuerzo

$$\text{Esfuerzo cortante} = 34 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

#### Pruebas de flexión

Aquí se ensayaron, primero, piezas apoyadas en la zona del entrenudo, las cuales presentaron fallas locales de la sección antes de flexionarse; posteriormente, al alinear



Falla del otate a compresión.

las reacciones a los nudos, se obtuvo un comportamiento más regular. Se asocian en ambos casos deformaciones importantes y efectos de cortante horizontal.

De ambas respuestas es importante destacar la influencia de los nudos, los cuales funcionan como diafragmas que rigidizan la sección. También se observó que en ambos casos, al suprimir las cargas concentradas, el elemento casi recuperó su geometría inicial, quedándose con una ligera deformación plástica.

$$\text{Esfuerzo de flexión con apoyo alineado al entrenudo} = 43 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de flexión con apoyo alineado al nudo} = 94 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

#### Módulo de elasticidad

Considerando la particularidad del deslizamiento inicial de las mordazas, las mediciones esfuerzo-deformación se iniciaron después de esta fase para evitar que registros prematuros acusen grandes deformaciones y, por consiguiente, reduzcan el módulo de elasticidad. Para determinar esta propiedad, las piezas sometidas a tracción no se llevaron a la falla, únicamente se buscó configurar gráficas con suficiente desarrollo para cuantificar la relación esfuerzo-deformación unitaria dentro del rango elástico y proteger al censor electrónico.

$$\text{Módulo de elasticidad} = 184949 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

El registro numérico sobre la resistencia del otate constituye solamente el inicio del conjunto de características a conocer para diseñar propuestas armónicas, ya que en el conocimiento de un material convergen aspectos que difícilmente se pueden especificar numéricamente pero que deben conjugarse para cumplir con necesidades particulares y generales en busca de una libertad prudente de diseño.

Esta fase experimental permite pensar que el material es digno de difusión y de diversificar su aplicación en un proyecto integral que permita generar una tecnología capaz de afrontar problemas de interés general, ya

## El uso actual del otate indica la existencia de un aprecio y arraigo cultural que permiten explorar nuevas formas de racionalizar el material y el sistema constructivo.

que su explotación no implica deterioro ambiental y asegura la materia prima mediante sus características naturales de propagación, porque, al talar los tallos, el rizoma es capaz de regenerarlos en forma radial. Esta singularidad permite salvaguardar el equilibrio ecológico y pensar en una organización sistemática que oriente el desarrollo de la arquitectura tradicional vigente en las zonas tropicales.

Respecto a su durabilidad, se explican métodos de protección simple y más controlados mediante sustancias químicas preservadoras que suele emplear la industria maderera; posteriormente, se contemplan métodos pasivos de secado, importantes para evitar contracciones significativas, el biodeterioro y cargas muertas, usando tecnología acorde al contexto, capaz de deshidratar eficazmente las células saturadas. También se apuntan ideas para transformar la materia prima en productos controlados bajo parámetros fundados en conceptos técnicos.

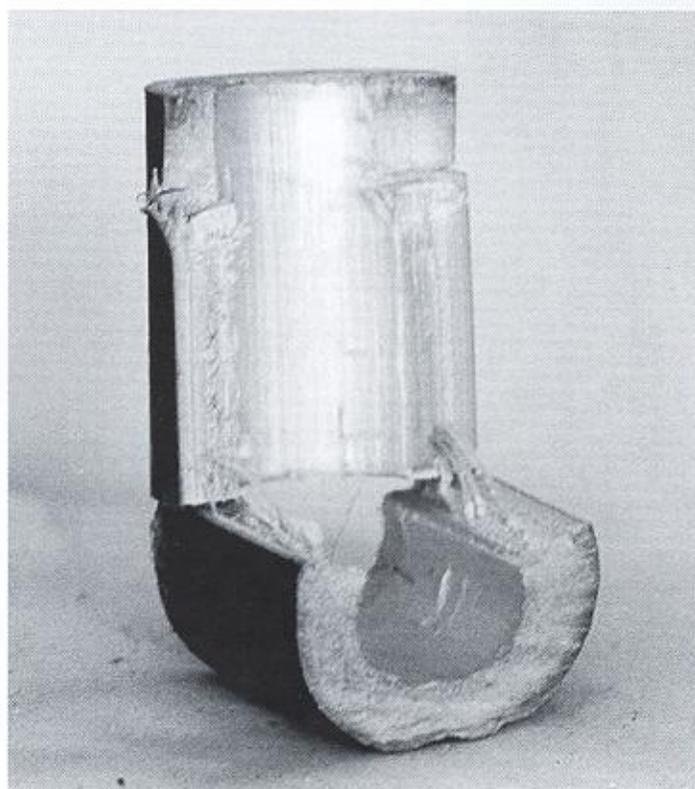
Desde un punto de vista más especializado, posiblemente el estudio del material, en función de su estructura anatómica, no esté totalmente agotado; sin embargo, es comprensible y suficiente para diseñar soluciones armónicas —coherentes con las leyes que rigen al material y al sistema estructural— que eviten concentraciones agudas de esfuerzos en zonas de menor rigidez y faciliten su proceso constructivo.

La preocupación por tratar de esquematizar un marco teórico unificador consiste en impulsar sobre las bases técnicas la comprensión y evolución del programa arquitectónico tradicional, sin alterar su originalidad, ya que actualmente la arquitectura tradicional, concentradora de valores de identidad, necesita tecnologías apropiadas e integrales que permitan resolver problemas, analizándolos desde su origen, y configuren alternativas coherentes con la cultura donde se encuentran.

Dicha inquietud es razonable porque el uso actual del material indica la existencia de un aprecio y arraigo cultural que permiten explorar nuevas formas de racionalizar el material y el sistema constructivo, basándose en herramientas comprobables capaces de impulsar el desarrollo de la técnica tradicional para que responda a las condiciones del lugar y del tiempo.

La sensibilidad analítica y cultural indican que cristalizar estas ideas no es cuestión absolutamente técnica, ya que al interactuar con el contexto aparecen factores que vulneran la identidad cultural, debido a la situación que se vive en las zonas rurales; para ello es importante resguardar y equilibrar la actividad económica de tal manera que proteja y mejore el bienestar familiar, apoyándose en una base técnica que derive conocimiento integral capaz de reducir especulaciones parciales o efímeras.

Espero que el presente artículo permita prolongar algunos valores culturales e insertar una actitud contemporánea capaz de revalorar y prolongar la arquitectura tradicional, apoyándose en resultados que admitan utilizar al material como elemento de composición, asociando simultáneamente la tecnología disponible, la cual acota el campo de lo posible. ☉



Prueba de esfuerzo cortante.