

PULPA Y PAPEL I (En preparación)

6 - ANATOMÍA DE LA MADERA. 6.3 - Ultraestructura

por Carlos Eduardo Núñez

Texto libre y gratis para usos no lucrativos nombrando la fuente.

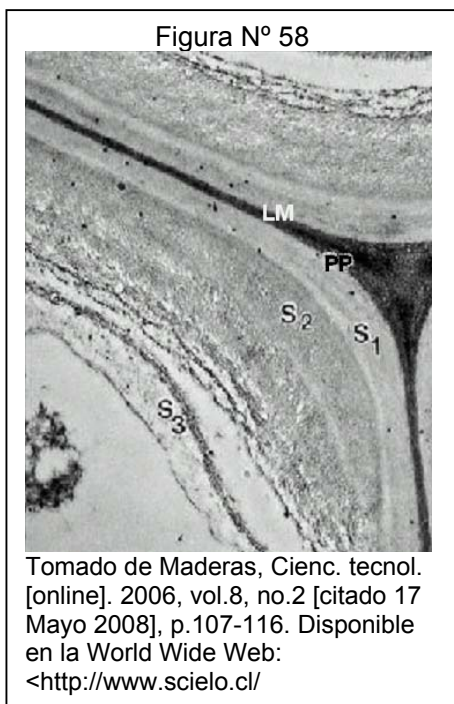
www.cenunez.com.ar

ULTRAESTRUCTURA Y TOPOQUÍMICA DE LA PARED CELULAR

Habiendo visto con anterioridad la macro y microestructura de la madera, la primera observable a simple vista o con lupa, y la segunda con el microscopio, estudiaremos ahora la ultraestructura es decir la estructura íntima de la pared celular. La misma es inteligible solamente con los mayores aumentos del microscopio electrónico, o por medio de inferencias indirectas: rayos X, espectrofotometría del infrarrojo y ultravioleta, etc.

Al hablar de ultraestructura debemos tener en cuenta siempre que por el tamaño de las macromoléculas de la pared celular, y por las dimensiones con las que estamos trabajando, la ubicación de aquellas es de significativa importancia para comprender los fenómenos que se producen durante los procesos de transformación química y químico-física de la madera. De aquí surge el concepto de topoquímica, ("topos" del griego ὕΠΟΠΟΣ = lugar), es decir la ubicación espacial de las distintas sustancias químicas dentro de la estructura de la pared celular. Es decir que la topoquímica es la unión entre la anatomía de la madera y su composición química

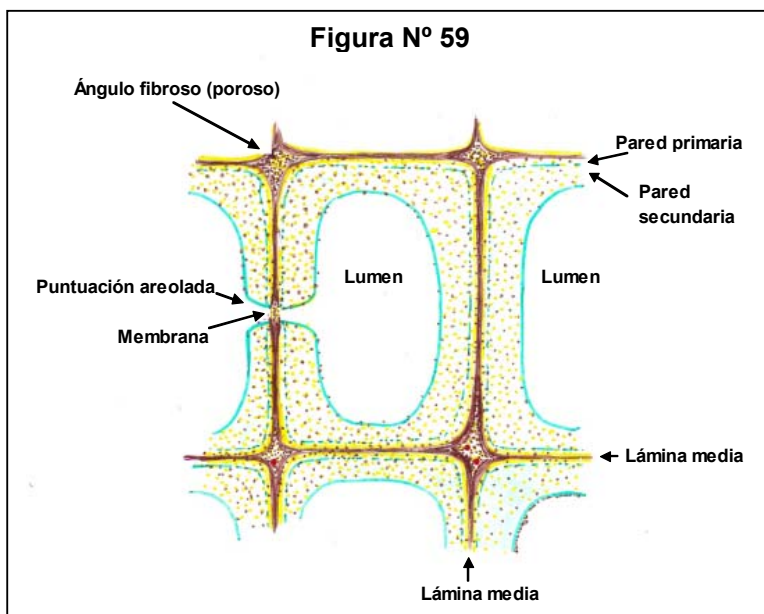
ESTRUCTURA DE LA PARED CELULAR



Todas las paredes de las células que conforman los troncos de los árboles, tanto coníferas como latifoliadas están compuestas de tres subparedes que para simplificar se las ha llamado pared primaria (PP), pared secundaria (S) y pared terciaria (T). Esta última está presente sólo a veces y es de escaso espesor, Figura N° 58. La pared primaria es la más externa, y se forma al crearse la célula. La pared secundaria abarca casi todo el resto del espesor y se forma durante el proceso de lignificación. La pared secundaria, a su vez, se divide en tres capas: la S1, fina y contigua a la pared primaria, la capa S2, que constituye entre un 60 y 80% del espesor de la pared, y la capa S3, cercana al lumen, es decir a la cavidad central de la célula, de espesor reducido semejante a la S1. Dado que en los procesos de pulpado químico y semiquímico se disuelven total o parcialmente la lámina media y la pared primaria, prácticamente se podría decir que el papel está compuesto de capa S2. Entre la pared primaria de una célula y la contigua se halla una capa de material denominado lámina media (LM), que es característica de las células de madera porque forma parte de la cimentación propia de los tejidos leñosos. Esta lámina está formada por lignina y hemicelulosas, mientras que la pared celular lo es de celulosa, lignina y hemicelulosas. La celulosa es un alto polímero de la glucosa. Las hemicelulosas

son polímeros de menor grado compuestos por varios monómeros de azúcares simples como la xilosa, la glucosa, la manosa, la galactosa y la arabinosa, además de ácidos urónicos. Si están compuestos principalmente de xilosa se llaman xilanos, si lo son de galactosa galactanos. Hay también glucomanos, arabinogalactanos, glucuronoxilanos, etc.. La lignina, por el contrario, no es un poli-

sacárido sino un polímero de alto grado formado por tres tipos de monómeros aromáticos integrando ramificaciones tridimensionales con una estructura de propil benceno, es decir un radical propilo alifático unido a un anillo bencénico con una unidad fenol en posición 'para'. Los tres monómeros se diferencian por los sustituyentes que poseen en el anillo bencénico. Estas explicaciones someras las realizo solamente para entender la topoquímica de la pared celular, dado que la química de la madera se desarrollará en partes sucesivas de este texto. La celulosa forma la trama de la pared celular con sus estructuras longitudinales, y la lignina y las hemicelulosas que están químicamente asociadas, conforman el relleno en lo que se llama el 'complejo hemicelulosas - lignina'. El conjunto le da las propiedades a la madera como material. Cuando uno dice madera dice necesariamente una matriz de celulosa cementada por el complejo 'hemicelulosas - lignina'. Veremos a continuación como se disponen estas sustancias en la pared celular, Figura N° 59.

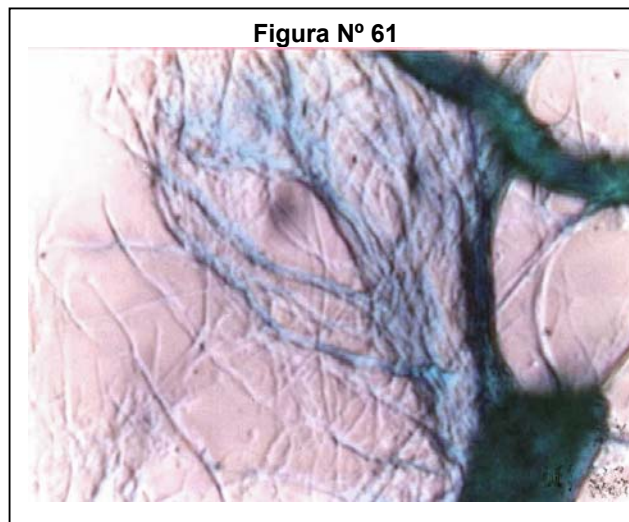


Se puede observar que la celulosa, indicada como puntos verdes, se encuentra en toda la pared celular pero no en la lámina media. A su vez en dicha pared también hay puntos amarillos de hemicelulosas y puntos marrones de lignina. Es decir que en la pared celular se encuentran los tres polímeros naturales que conforman la madera. La lámina media posee una gran concentración de lignina y por ende de hemicelulosas, por lo que se puede decir que está compuesta solamente del complejo 'hemicelulosas - lignina' no teniendo celulosa. En los ángulos que forman tres o más fibras se acumula dicho complejo y es de destacar que su estructura es porosa permitiendo el acceso de los lí-

quidos. Este modelo es indistinto para coníferas y latifoliadas.

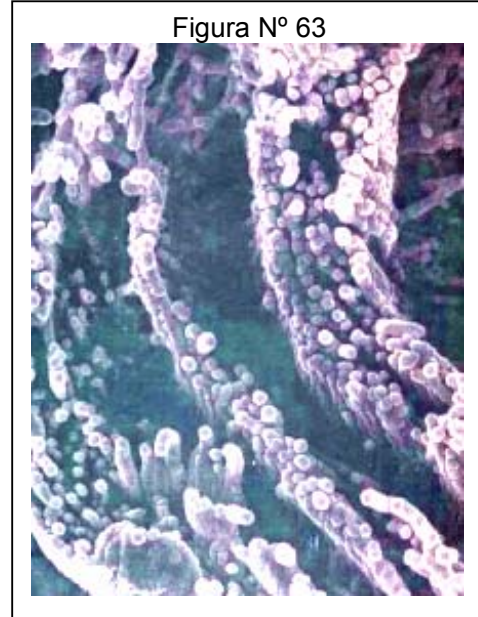
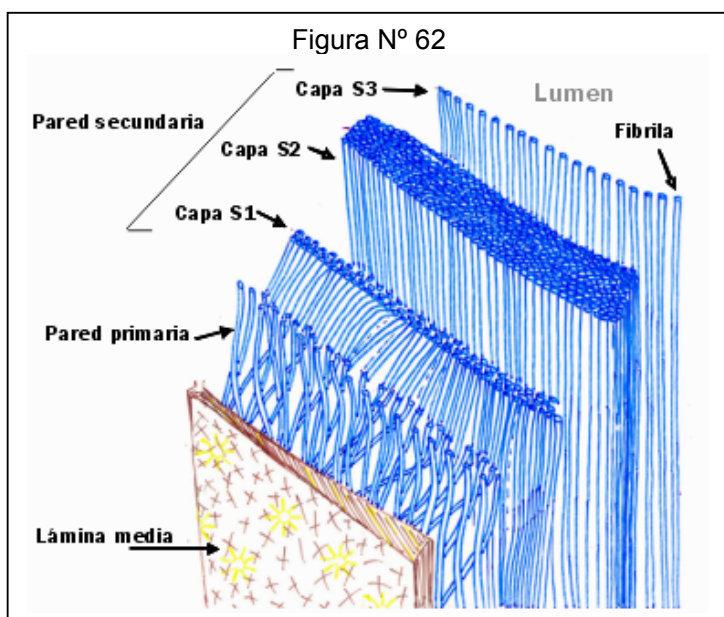
FIBRILAS (O FIBRILLAS)

En la microestructura de la madera habíamos llegado a definir que la pared celular en su conjunto estaba formada no por una masa desestructurada y homogénea, sino por una serie de filamentos

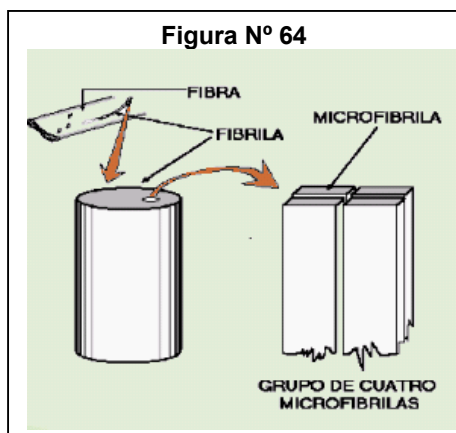


macizos llamados fibrilas. En la bibliografía también se puede encontrar el término *fibrilla*, que es sinónimo. En este curso utilizaremos fibrila y

sus términos derivados como microfibrila y microfibrila elemental. Las fibrilas visibles perfectamente en el microscopio como esos "pelitos" que se desprenden de las paredes de las células, son de forma circular o subcircular y tienen un diámetro del orden de la décima de micra. En la Figura N° 60 se muestra una imagen microscópica de papel vegetal hecho de traqueidas, en el que debido al tratamiento que se le realiza para hacerlo translúcido, que se llama refinación, la organización de fibrillas de las paredes celulares se van desestructurando de manera que son observables como haces y manojos de elementos desprendidos finos y largos. En la Figura 61, de la misma muestra que la anterior, se presenta el caso extremo de refino en el que una traqueida ha sido prácticamente fibrilada en su totalidad. Las fibrilas de la pared primaria, que son las primeras en sintetizarse, se encuentran de manera bastante desordenadas, posiblemente debido a las tensiones del crecimiento posterior de la célula. Las fibrilas de las paredes secundaria y terciaria, por el contrario, se hallan orientadas de forma paralela y prolija en sentido longitudinal. La figura N° 62 es un esquema de cómo están organizadas las fibrilas en las capas de la pared celular y en la N° 63 una imagen real de las mismas al microscopio electrónico, en este caso de una traqueida de conífera, cortadas de manera transversal, es decir en el mismo sentido del eje de la fibra. La existencia de las fibrilas en la industria del papel es significativa, dado que al tratarse las fibras en el refino las fibrilas se van desestructurando y separando y ello aumenta en gran medida la superficie de contacto entre ellas, mejorando todas las propiedades que tienen que ver con las resistencias físico - mecánicas de la hoja.



ULTRAESTRUCTURA DE LAS FIBRILAS

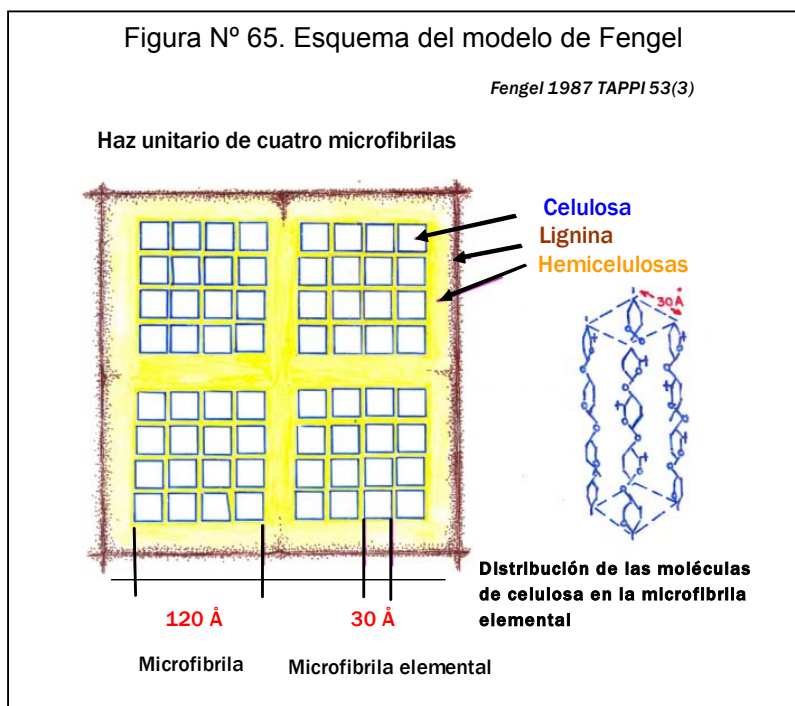


Las fibrilas poseen además una estructura más fina como se puede apreciar en el esquema de la Figura N° 64 65. Es decir que cada fibrila está compuestas de microfibrilas y hasta aquí el conocimiento es seguro y consensado, pero a partir de ahora hay discrepancias en como se constituye la ultraestructura, por lo que aquí adoptaremos el modelo de Dietrich Fengel, publicado en 1970 y actualizado en 1987, (TAPPI 53 (3) 1970).

Según Fengel las microfibrilas parecieran no estar distribuidas homogéneamente, sino en grupos de a cuatro, cada uno de ellos rodeados de una capa de lignina, es decir que no habría contacto entre lignina y celulosa.

Cada microfibrila constaría, además, de 16 unidades menores compuestas solamente por moléculas de celulosa, y

rodeadas de hemicelulosas. Ésta nueva unidad estructural más pequeña que la microfibrila se denomina microfibrila elemental (o fibrila elemental), y tiene unos 30 Å de lado, Figura N° 65. Las moléculas de celulosa en las microfibrilas están distribuidas, (de acuerdo a los espectrogramas de rayos X y luz polarizada), de forma longitudinal, habiendo cuatro moléculas por microfibrila elemental, en los vértices de un paralelepípedo recto de sección cuadrada de 30 Å de lado. Puesto que las moléculas de celulosa poseen un alto grado de polimerización del orden de varios miles, esta estructura puede tener una longitud de hasta una o dos décimas de mm, es decir que sería visible en el microscópico óptico si no fuera por su reducido espesor que la pone fuera del alcance de su resolución.



SÍNTESIS DE LA ULTRAESTRUCTURA DE LA PARED CELULAR.

La pared celular está compuesta de una trama de celulosa en una matriz de lo que se denomina el 'complejo hemicelulosas - lignina'.

Entre una célula y otra hay una capa fina de este complejo sin celulosa denominada lámina media que sirve de cemento entre ellas para conformar la rigidez de los tejidos de la madera.

Estructuralmente se pueden distinguir dos subparedes denominadas 'pared primaria' y 'pared secundaria', y en algunas ocasiones una 'pared terciaria'.

La pared primaria es fina y está asociada y unida a la lámina media de tal manera que suele

desaparecer en los procesos de pulpado químico.

Por el contrario la pared secundaria es gruesa y conforma la parte principal de la sustancia de las células vegetales muertas, como es el caso de la madera.

La pared secundaria, a su vez, está compuesta de tres capas llamadas S1, S2, y S3. La capa S2 es la principal y puede ocupar el 60 a 80% del espesor de la pared celular.

La pared celular está compuesta de fibrilas que son visibles al microscopio óptico. Las fibrilas poseen un diámetro del orden de la micra (o micrómetro).

A su vez las fibrilas están compuestas por microfibrilas en un arreglo que según el modelo utilizado se hallan de a cuatro, separadas por capas de lignina.

Dentro de las microfibrilas se hallan otras estructuras menores conformadas por cuatro moléculas de celulosa dispuestas en sentido del eje del tronco, unidas entre si por puentes hidrógenos denominadas 'microfibrilas elementales'.

Entre las microfibrilas elementales hay solamente hemicelulosas no habiendo unión química entre las dos sustancias. Ello supone que no hay contacto entre la celulosa y la lignina.