FOTODEGRADACION DE LA MADERA

Poc
Humberto ALVAREZ Noves
e
Ignacio SEOANE
[illegible] es
ingenieros de M[illegible]

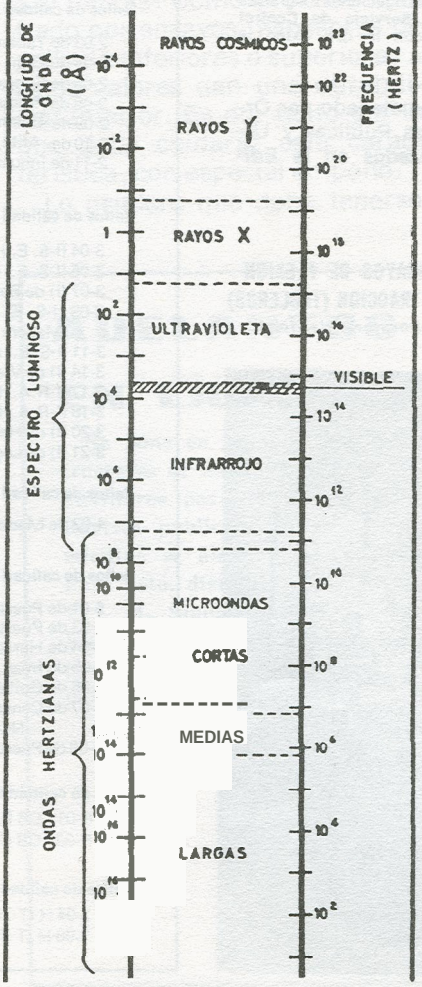
Cuanao una maaera se expone la radiación solar, visible e invisible. la capa superficial camb de color, generalmente las maderas oscuras se vuelven más claras y las claras más oscuras. Al continuar la exposición a la **radiación** todas las maderas se **vuelven** de color gris, produciéndose a la vez una **fotodegradación** física y química de las células super-ciales de la madera.

La luz, energía causante de la **fotodegradación**, es uno de los componentes del espectro electromagnético.

Todos los componentes del mismo tienen igual velocidad en el vacío, pero difieren en la **longitud** de onda y en la frecuencia. El rango de la luz visible está centrado sobre una longitud de onda de 0,555 micras. La luz de esta longitud de onda da la sensación de color amarillo verdoso a la mayoría de los **observadores**. Las longitudes de onda más largas que la de la luz visible dan lugar al color rojo y las más cortas al violeta.

La radiación solar al alcanzar la superficie de la tierra. contiene luz ultravioleta cuya longitud de onda es generalmente mayor de 2.900 Å (un Angstrom es 10^{-10} m).

El Espectro electromagnético. Las escalas para las frecuencias y las longitudes de onda son logarítmicas



El componente ultravioleta de la **luz del sol** parece ser la **causa** principal de los cambios **observados**. Si la radiación ultravioleta **se** combina con la humedad **superficial**, se acelera la degradación de las **superficies** de madera.

CAMBIOS DE COLOR

Cuando la madera de pino se expone a la luz, se oscurece. Este cambio ocurre **rápidamente** a **plena** luz solar y de **modo** mucho **más** lento con la luz natural amortiguada del interior de un **edificio**, en el cual faltan la mayoría de las longitudes de onda ultravioleta de la luz solar. Si la exposición exterior a la luz solar y a la lluvia se prolonga, la madera de pino se vuelve de color gris, generalmente sin brillo. La presencia de esporas y micelios de color oscuro de hongos, puede dar lugar a que la madera a la intemperie tome un color gris oscuro, manchado y de fea **apariencia**, de tal forma que la madera de pino expuesta a la intemperie y sin proteger normalmente tan **sólo** alcanzará una apariencia plateada si se expone en climas muy secos o en regiones **costeras** donde la atmósfera salina puede inhibir el crecimiento de microorganismos.

Browne y Simonson **(1957)** midieron las profundidades de las capas descoloridas en maderas de **coníferas** del Oeste de los Estados Unidos, observando que el grueso de la capa coloreada de gris, en maderas expuestas largo tiempo a la intemperie era aproximadamente de 0,125 mm.; esta capa estaba **formada** por un conjunto enmarañado de **fibras** de celulosa fuertemente **deslignificadas**. Debajo de la capa gris observaron una capa oscura que medía de 0,5 a 2,5 milímetros de grueso; en esta capa oscurecida el ordenamiento estructural de la madera se conservaba. La laminilla media rica en lignita estaba **profundamente** oscurecida. Por toda la capa oscura el contenido de extractos solubles en agua era más grande de lo normal. Debajo de esta capa la madera se mantenía intacta sin **sufrir** degradación debida a la luz.

En su estudio, Browne y **Simon-**

son encontraron que la luz ultravioleta penetra solamente unas pocas milésimas de pulgada dentro de la madera. La luz visible es intermedia en su capacidad para penetrar la madera, siendo la luz infrarroja la que penetra más profundamente de las tres. Así mismo se observó que el color oscuro en la superficie se produce más rápidamente bajo la acción de la luz ultravioleta que bajo la acción de la luz visible e infrarroja.

Sometida la madera a la luz visible, el color oscuro se produce hasta una profundidad mayor que la profundidad de penetración de la luz ultravioleta. A7 oscurecerse la madera las profundidades a las qué la luz visible puede penetrar decrecen.

Se ha comprobado experimentalmente que aunque la produndidad de la capa oscura en el Larix occidentalis expuesta a la luz visible era normalmente de 2,5 mm., solamente alrededor del 0,016% de la luz visible penetraba a aquellas profundidades, llegándose a la conclusión de que los productos de degradación de color oscuro se forman en la delgada capa superficial penetrada por la luz ultravioleta y que esos productos son arrastrados por la lluvia dentro de la madera hasta alcanzar la profundidad de la capa oscurecida observada.

DEGRADACION DE LA SUPERFICIE

Minintti (1964-1967) estudió el efecto de la luz ultravioleta sobre la estructura de la superficie de varias coníferas, principalmente en el Pino de Oregón y en la Sequoia, sus conclusiones, en resumen, fueron las siguientes:

La luz ultravioleta, tanto la de onda corta (longitud de onda de unos 2.537 Å) como, la de la onda media (longitud de onda de 3.000 a 4.000 Å) degradan la estructura de la madera produciéndose el daño más rápidamente cuando la radiación es con onda corta, pero afortunadamente ta luz ultravioleta de onda corta de la radiación solar no alcanza la superficie de la tierra. La primera manifestación de la degradación es el agrandamiento de las aberturas de las punteaduras areoladas en las paredes radiales de las traqueidas de la madera de primavera. posteriormente los bordes de las punteaduras y las zonas de las paredes que rodean a éstas son progresivamente destruidas quedando las crásulas como las porciones más resistentes de las paredes en la madera de primavera de la Sequoia.

Se comprobó también que en el Pino de Oregón las partes más resistentes de las paredes radiales de las traqueidas de la madera de primavera son unos anillos estrechos constituidos por las porciones de los bordes más distantes de las aberturas de las punteaduras. Ni las crásulas, si existen, ni los engrosamientos en espiral son más resistentes a la fotodegradación que la pared de la traqueida. Las paredes de las traqueidas de madera sin punteaduras son mucho más resistentes a la fotodegradación, y dewrrollan menos microfendas en diagonal que aquellos con punteaduras. Las paredes de las traqueidas de primavera son seriamente fragilizadas con una prolongada irradiación con luz ultravioleta de onda larga.

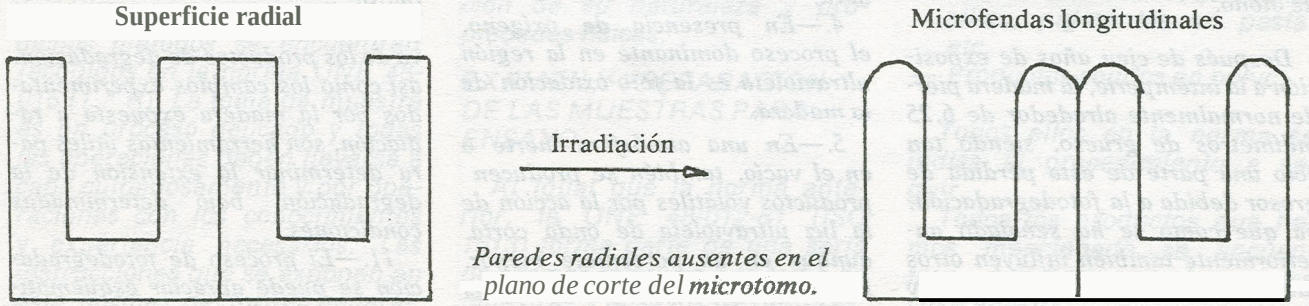
La radiación ultravioleta de onda larga causa concentraciones de tensiones y microfendas en los siguientes lugares:

- En la laminilla media entre traqueidas de madera de otoño.
- En los cantos de las paredes de las traqueidas.
- En la línea de unión de tres traqueidas contiguas en la superficie radial de la madera de primavera.
- En la unión en sus superficies radiales de la última cap de traqueidas de madera de otoño con la primera capa de traqueidas de madera de primavera.

Al igual que ocurre en la madera de primavera las microfendas en diagonal de la madera de otoño son más marcadas cuando están presentes las punteaduras areoladas.

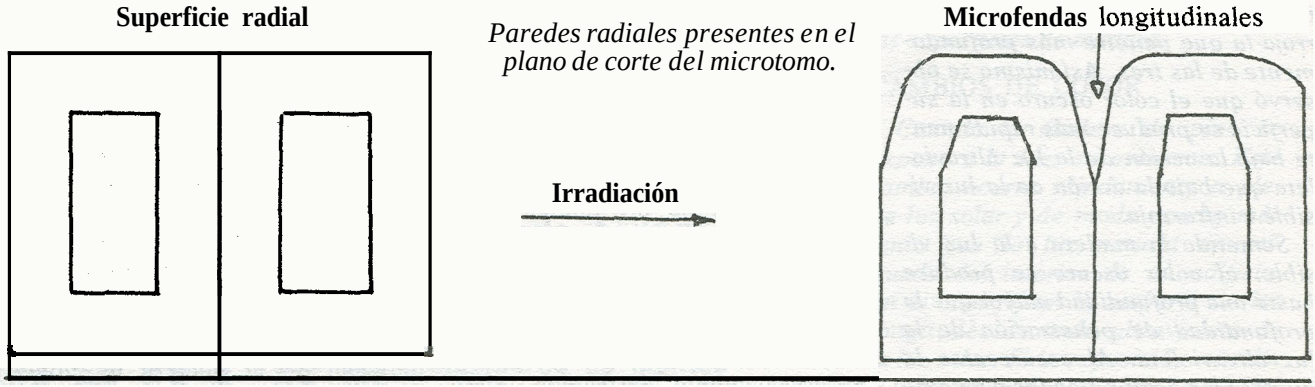
Experienicas realizadas por Minintti en las cuales sometió preparaciones microscópicas de madera a radiaciones ultravioleta demostraron que los pares de paredes de las traqueidas en una superficie tangencia1 de la madera de otoño fueron resistentes a las microfendas diagonales, seguramente, debido a que la pared celular expuesta a la radiación fue retenida por la otra pared más interior y menos expuesta, cuyas microfibrillas en espiral están en direcciones opuestas a las de la primera. Por esta razón las microfendas diagonales fueron más profundas cuando el corte de la cuchilla dejó una pared simple de otoño en la superficie; en el caso de una doble pared que constaba de primavera sobre otoño, las microfendas eran menos profundas y mucho menos cuando la superficie fue de doble pared de otoño.

La luz ultravioleta de onda larga produce microsurcos longitudinales



Paredes radiales ausentes en el plano de corte del microtomo.

*en la laminilla media situada entre traqueidas de otoño en la **superficie** de la madera; estos microsurcos de radiación se forman encima de microfendas longitudinales. El **microsurco** parece ser causado por la pérdida más rápida de madera en estas zonas, de alto contenido en lignina. Esto demuestra que **el** efecto de la fotodegradación es más rápido para la lignina que para la celulosa.*



*Sección transversal de traqueidas de madera de otoño mostrando los huecos longitudinales que se desarrollan en dos tipos de **superficies** radiales durante la irradiación **ultravioleta.***

***Así mismo** la humedad por lluvia y rocío seguida de secado, ayuda considerablemente a la degradación de las superficies de la madera expuesta a la intemperie, como lo demuestra los experimentos realizados con preparaciones de madera de sequoia, a las cuales se las humedeció repetidamente durante las primeras etapas de la irradiación de onda larga, y si bien mostraron los mismos cambios anatómicos que las muestras secas, desarrollaron microfendas más numerosas y pronunciadas.*

A la intemperie natural la degradación se produce bastante más despacio, en estas condiciones la pérdida de las células super-ciales ocurre mucho más rápidamente en la madera de primavera que en la de otoño.

*Después de cien años de exposición a la intemperie, la madera pierde normalmente alrededor de 6,25 milímetros de grueso, siendo tan solo una parte de esta pérdida de grosor debida a la fotodegradacidn, ya que como se ha **señalado** anteriormente también **influyen** otros factores tales como la humedad y los microorganismos.*

REACCIONES QUIMICAS

*La radiación con luz **ultravioleta,** en presencia de oxígeno, origina **significados** cambios químicos en la madera.*

***Kalmins,** tanto de sus propias experiencias como de los trabajos realizados por otros **científicos,** sintetizó en once puntos los aspectos más importantes de la degradación química.*

*1.—La madera es degradada por la luz ultravioleta. Algunos productos de la degradación que han sido **identificados** son: monóxido de carbono, anhídrido carbónico, hidrógeno, agua, metanol, **formaldehido** y ácidos orgánicos.*

*2.—Como resultado de la radiación, la madera es quiímicamente alterada. Se reduce el contenido en metoxilo y lignina; se aumenta la acidez así como la salubilidad en etanol y **específicamente** en bases diluidas.*

3.—La radiación, incluso en la zona del espectro visible de la luz, produce radiales libres en la madera.

*4.—En presencia de oxígeno, el proceso dominante en la región **ultravioleta** es la foto-oxidación de la madera.*

5.—En una atmósfera inerte o en el vacío, también se producen productos volátiles por la acción de la luz ultravioleta de onda corta, aunque en un porcentaje menor. Por contra no se producen estos productos al someter la madera a la acción de la luz ultravioleta de onda media, en estas mismas condiciones.

*6.—Existe un efecto «post-**radiación**» en la madera como se comprueba por el decrecimiento de la concentración de radiales libres en presencia de oxígeno y por la formación de productos volátiles de degradación durante el almacenamiento en presencia de oxígeno subsiguientemente a la radiación en una atmósfera inerte.*

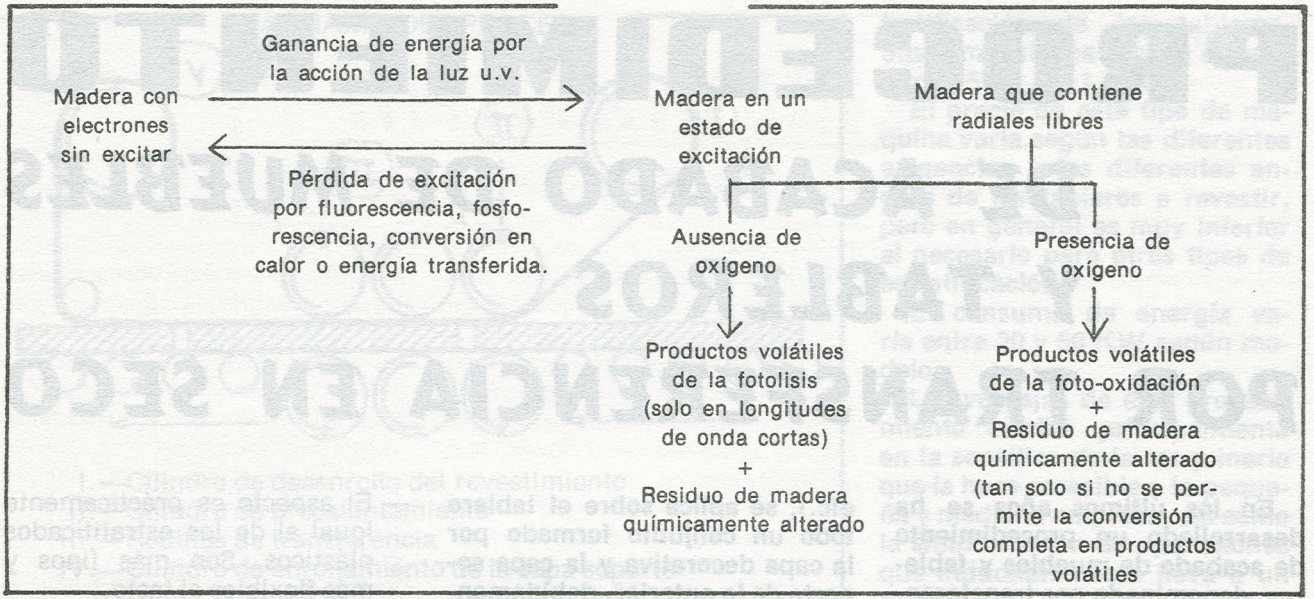
*7.—La **temperatura** elevada no altera materialmente la proporción del proceso de degradación. La humedad elevada parece acelerar ligeramente la degradación.*

*8.—El porcentaje de degradación varía según la especie de que se trate, y los productos extractivos de la madera también **influyen** en el proceso.*

9.—La cantidad de productos volátiles de la madera que se forman durante la radiación son ligeramente más bajos en el vacío y ligeramente más altos en la atmósfera que los que se forman de la celulosa.

10.—La determinación cuantitativa de los productos de degradación, así como los cambios experimentados por la madera expuesta a radiación, son herramientas útiles para determinar la extensión de la degradación, bajo determinadas condiciones.

*11.—El proceso de **fotodegradación** se puede apreciar esquemáticamente del siguiente modo:*


Madera con electrones sin excitar
Ganancia de energía por la acción de la luz u.v.
Pérdida de excitación por fluorescencia, fosforescencia, conversión en calor o energía transferida.
Madera en un estado de excitación
Madera que contiene radiales libres
Ausencia de oxígeno
Presencia de oxígeno
Productos volátiles de la fotolisis (solo en longitudes de onda cortas)
+
Residuo de madera químicamente alterado
Productos volátiles de la foto-oxidación
+
Residuo de madera químicamente alterado (tan solo si no se permite la conversión completa en productos volátiles