



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

07045

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA Y NORMALIZACION

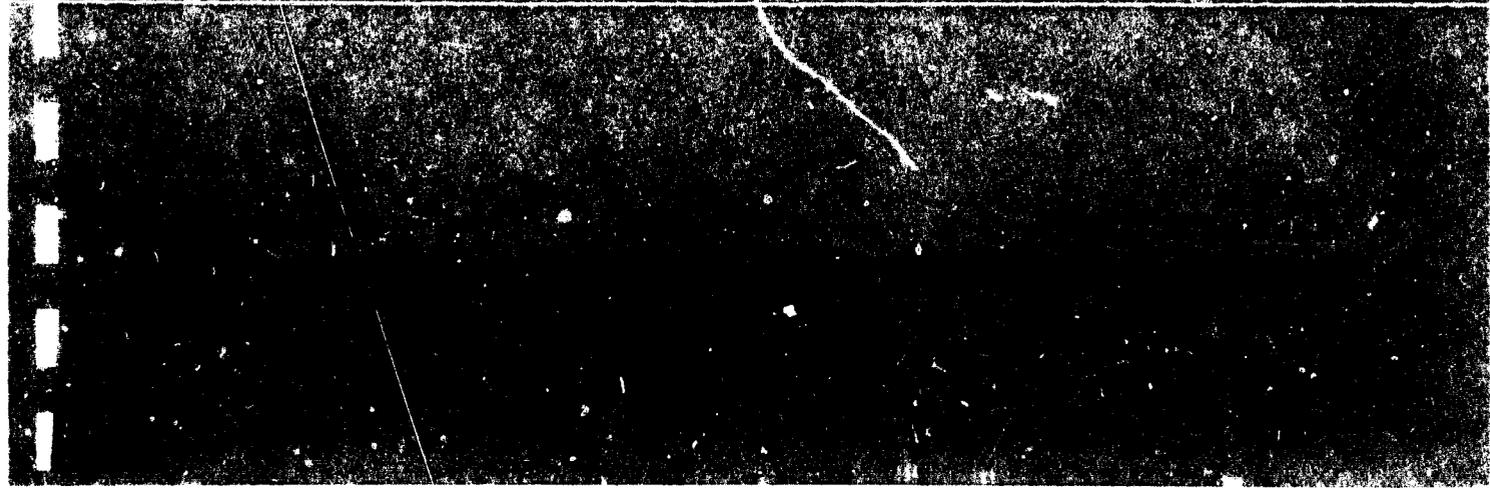
DEPARTAMENTO

PARAGUAY,

SECRETARIA DE
ESTADO DE
CIENCIA Y
TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGIA Y NORMALIZACION

DEPARTAMENTO DE
INVESTIGACION Y DESARROLLO



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA Y NORMALIZACION

(DP/PAR/70/522)

PARAGUAY

Informe técnico: Los problemas que causan los esfuerzos de
crecimiento en el aserrado de maderas duras tropicales

Preparado para el Gobierno del Paraguay por la Organización de
las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial,
organismo de ejecución del Programa de las
Naciones Unidas para el Desarrollo

Basado en la labor del Sr. M.M. Page, experto en
industrias de base forestal

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

Viena, 1976

Notas explicativas

Se emplea la coma (,) para indicar decimales.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de las delimitaciones de sus fronteras.

La mención de empresas y de productos no entraña juicio alguno sobre ellas ni sobre sus productos por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

RESUMEN

Este informe contiene un esbozo de los problemas que causan los esfuerzos de crecimiento en los árboles y describe algunas formas de proceder ante el comportamiento de la madera después que es cortada de los árboles.

INTRODUCCION

El 8 de noviembre de 1975, de conformidad con una petición del Gobierno del Paraguay, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), organismo de ejecución del proyecto DP/PAR/70/522 (Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, fase II) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, designó un experto en industrias de base forestal para que trabajase dos meses en el problema del aserrado de maderas duras paraguayas. El experto fue asignado al departamento de la madera del Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN).

El objetivo a largo plazo del proyecto es prestar al Paraguay apoyo tecnológico concreto, mediante la investigación y el desarrollo industriales, para ayudarle a alcanzar los objetivos de su plan de industrialización. Los objetivos más inmediatos son: ampliar la capacidad del Instituto, dotarlo de más eficacia, mejorar la eficiencia de su labor de investigación y desarrollo industriales, y suministrar a la industria servicios tecnológicos y de gestión.

Una de las tareas concretas del experto era ayudar a la industria maderera paraguaya a modernizar y modificar las técnicas empleadas para aserrar y trabajar mecánicamente las maderas duras tropicales, a fin de mejorar la calidad de los productos finales y lograr un nivel óptimo de producción. Entre los problemas que se plantean a la industria figura el del efecto de los esfuerzos de crecimiento en el comportamiento de la madera después de cortada. El experto preparó el presente documento para colaborar con los aserraderos del país en la solución del problema.

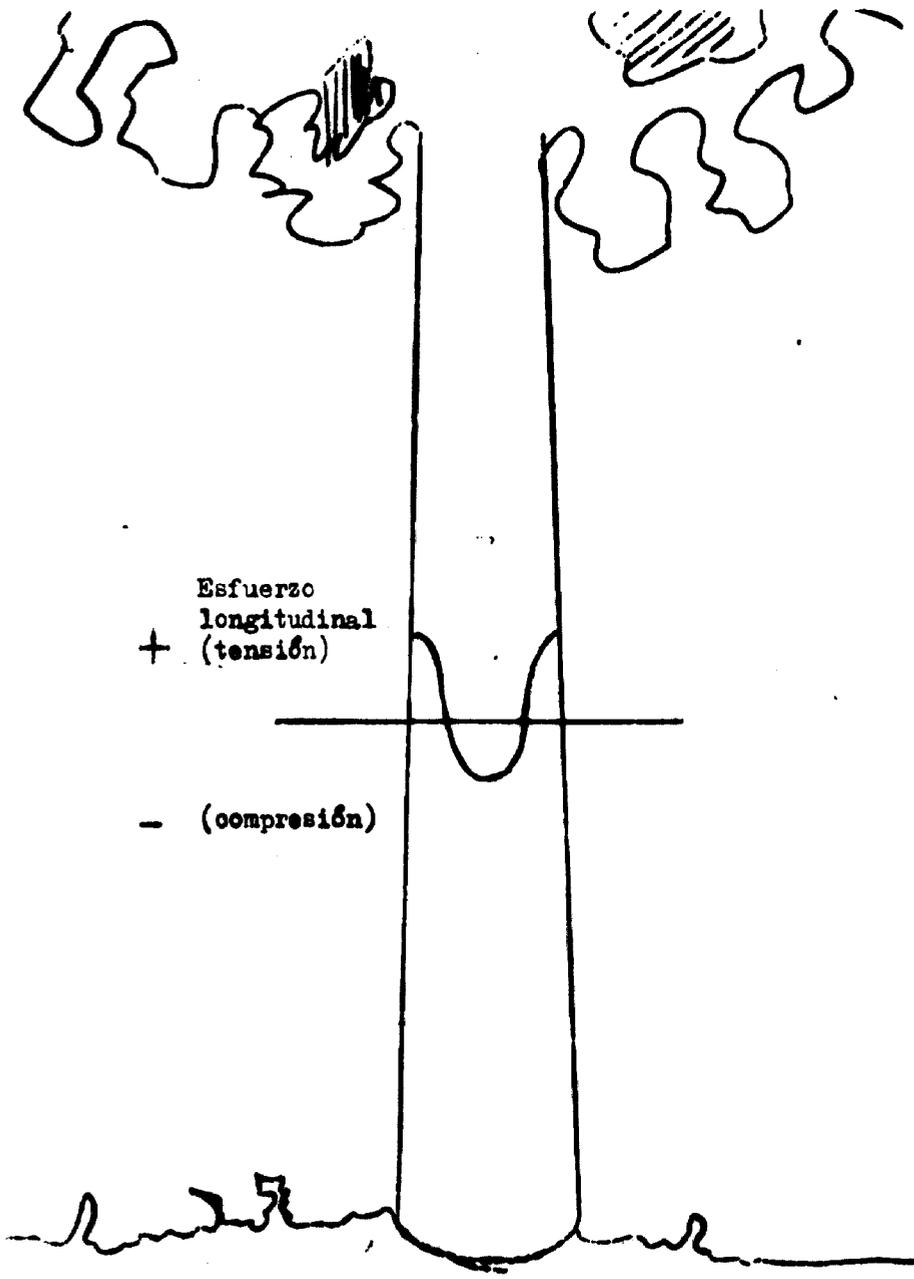
LOS PROBLEMAS QUE CAUSAN LOS ESFUERZOS DE CRECIMIENTO
EN EL ASERRADO DE MADERAS DURAS TROPICALES

Los esfuerzos de crecimiento

En los árboles en crecimiento ocurren esfuerzos de crecimiento, esto es, esfuerzos internos cuyas causas no se conocen exactamente; se ha sostenido que provienen de la influencia del medio ambiente del árbol sobre las modalidades con que crece. Los esfuerzos de crecimiento pueden persistir en el tronco de un árbol algún tiempo después que ha sido cortado. El grado de esfuerzo en algunas maderas duras tropicales puede ser bastante grande, y la distribución del esfuerzo a lo largo de todo el tronco puede ofrecer tales características, que surjan problemas de agrietamiento de los extremos y distorsión durante el proceso de aserrado mecánico.

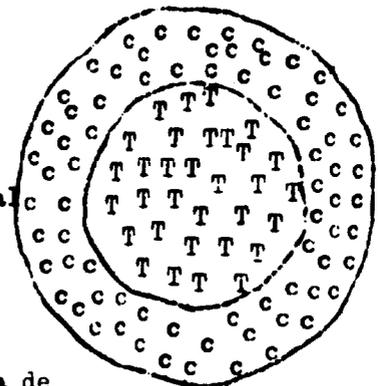
No todos los árboles de una especie determinada presentan estas características y las consiguientes dificultades, pero desafortunadamente no se conoce un método expeditivo y sencillo para determinar, antes que comience el aserrado, si se van a plantear o no problemas derivados de los esfuerzos de crecimiento. Sin embargo, si se comprende en qué consisten los esfuerzos de crecimiento y se adoptan técnicas similares a las que se describen en este documento, es posible reducir considerablemente, si no eliminar, las consecuencias negativas de tales esfuerzos sobre la madera aserrada. Especies paraguayas en que el autor observó perturbaciones de distorsión (horizontal o vertical, o sea, torcedura o arco) y agrietamiento de los extremos, causadas por los esfuerzos de crecimiento, fueron el guatambú, el ibira pitá y el lapacho.

Los esfuerzos de crecimiento que causan estos problemas someten las partes periféricas del tronco a una tensión longitudinal, mientras la parte interna está sometida a una compresión longitudinal. Al mismo tiempo, las fibras de la madera en la parte periférica del tronco están sometidas a una compresión radial y tangencial, y las de la parte central, a una tensión radial y tangencial. Se ha demostrado que la distribución de los esfuerzos en un tronco perfectamente simétrico es aproximadamente como la que se ve en la figura I.



(a)

c - Compresión transversal
T - Tensión transversal



(b)

Figura I. Pauta de distribución idealizada de los esfuerzos de crecimiento

La figura I a) muestra la distribución del esfuerzo longitudinal a través de un diámetro dado. Como puede observarse, el esfuerzo de tensión es mayor en las fibras de madera en la albura (exactamente debajo de la corteza) mientras que disminuye continuamente a medida que se penetra en el tronco, hasta que se llega a un punto de esfuerzo cero. Más allá de ese punto, el esfuerzo longitudinal se convierte en compresión. En otras palabras, hay un anillo de madera que experimenta tensión longitudinal en la parte periférica del árbol, con un esfuerzo máximo de tensión en el exterior, y existe una zona circular en el centro del árbol que experimenta una compresión longitudinal, dándose el esfuerzo compresivo máximo en el centro. La figura I b) muestra que existe un anillo de compresión radial y tangencial en la parte periférica del árbol y una zona circular, en el centro, de tensión radial y tangencial. Esto es lo que cabe esperar, a partir de principios mecánicos fundamentales, ya que se puede demostrar fácilmente que el esfuerzo aplicado a un material elástico en una dirección pueda causar un esfuerzo en direcciones perpendiculares entre sí. Por ejemplo, si un trozo de caucho de sección circular es estirado en el sentido de la longitud, disminuirá su diámetro (y su circunferencia).

En la práctica, el centro de crecimiento de un tronco de árbol rara vez se encuentra exactamente en su centro geométrico; de forma que la distribución efectiva del esfuerzo en los árboles es rara vez tan simétrica como la pauta idealizada que muestra la figura I. No obstante, las pautas reales se aproximan a esta forma general.

Problemas ocasionados por elevados esfuerzos de crecimiento

En un árbol en crecimiento, los esfuerzos de crecimiento longitudinales y transversales se compensan, de modo que el árbol se halla en estado de equilibrio. Por ejemplo la fuerza de tensión longitudinal total en el anillo periférico del árbol iguala y compensa la fuerza de compresión total en la parte circular central. Sin embargo, cuando el árbol se corta y se le divide para enseguida aserrarlo al hilo, este equilibrio de fuerzas se perturba. En algunos troncos, el desequilibrio resultante no es lo suficientemente grande para ocasionar problemas, pero en otros, sobre todo en los más pequeños y que han crecido más rápido, este desequilibrio puede ser tan fuerte que ocasione el comportamiento anómalo ya mencionado. Cuando, por ejemplo, se divide el tronco de un árbol que ha experimentado elevados esfuerzos de crecimiento, la liberación de los esfuerzos previamente equilibrados, sobre todo del esfuerzo

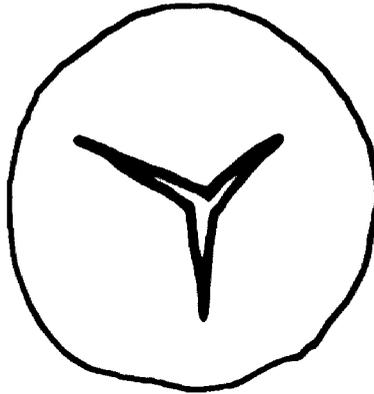


Figura II. Tipo de grieta en la extremidad del tronco ocasionada por los esfuerzos de crecimiento

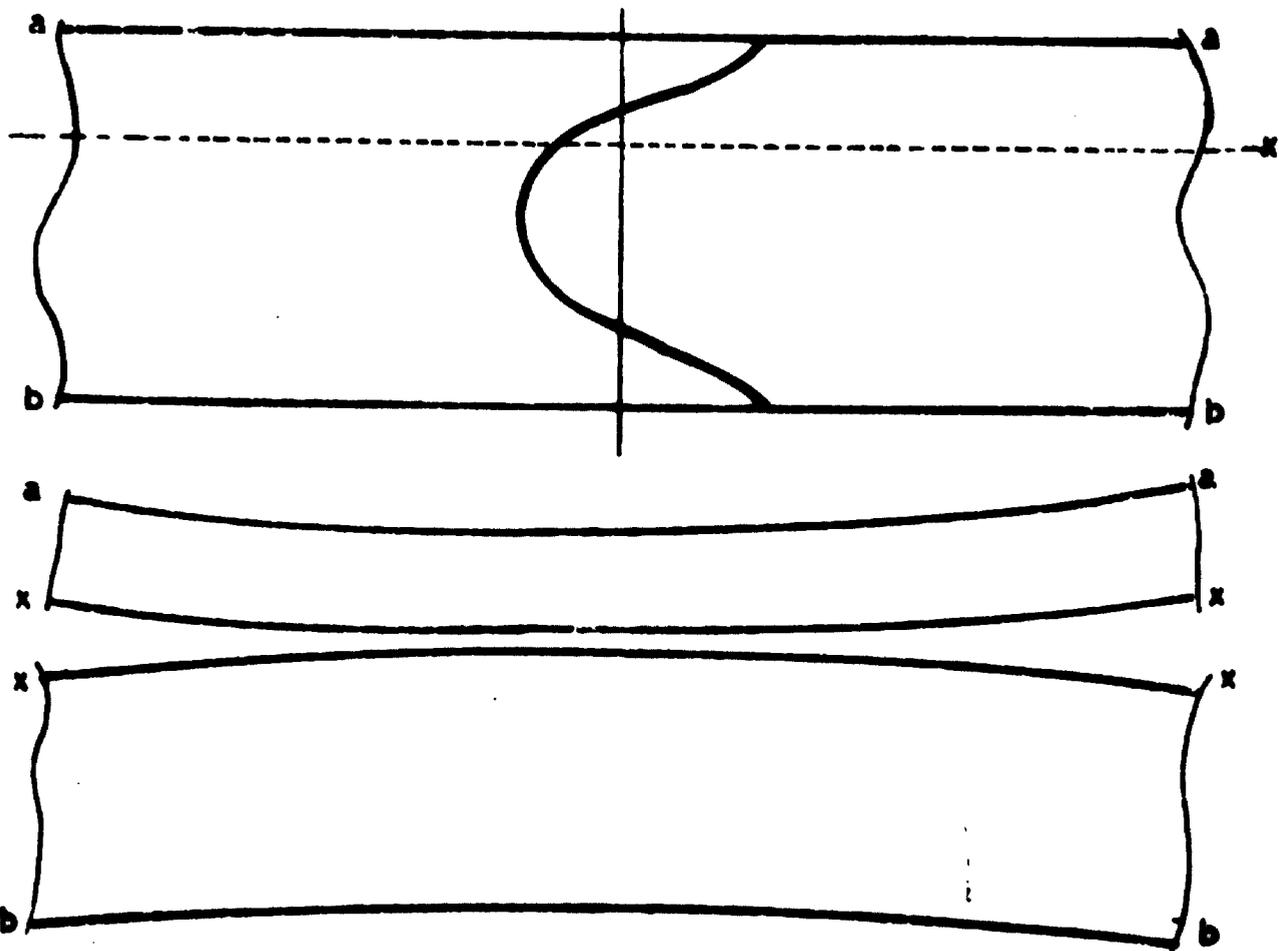


Figura III. Distorsión longitudinal resultante de la liberación de los esfuerzos de crecimiento durante la operación de aserrado

tangencial transversal de la parte central del tronco, puede ocasionar una falla de la madera a través de la fibra transversal (dirección en que la madera ofrece menor resistencia a la tensión). El resultado es la conocida grieta en forma de estrella que aparece en los extremos de algunos troncos, en particular del guatambú (véase la figura II). Puede observarse que las grietas son más anchas en el centro del tronco, donde la tensión transversal es mayor y que, cuando se inicia su formación, terminan en el límite de la zona de compresión. Sin embargo, tras haber estado expuestos estos troncos a las influencias secadoras del sol y el viento, tales grietas pueden llegar a extenderse hasta la superficie exterior del tronco. Cuando la graduación de esfuerzos en el interior del tronco tiene fuerte pendiente, la falla inicial puede producirse con tal violencia que la grieta se extienda casi inmediatamente hasta la superficie del tronco, si bien estos fenómenos son relativamente raros en las especies paraguayas.

Las grietas de la extremidad del tronco tienen cierta importancia comercial, pero las pérdidas económicas pueden ser aun mayores como consecuencia de los esfuerzos longitudinales que, en árboles de alta gradación de esfuerzos de crecimiento, hacen que la madera se curve en sentido longitudinal a medida que se la va dividiendo. Esta curvatura longitudinal puede darse como torcedura o arqueo.

En la figura III se ve la distribución de esfuerzos longitudinales en un tronco. A lo largo de las superficies exteriores a-a y b-b, las fibras de la madera están sometidas a tensión longitudinal; en otras palabras, pueden imaginarse como trozos de elástico estirado a más de su longitud natural. En cambio, las fibras de madera de la parte central situadas en el plano x-x están sometidas a una compresión longitudinal y pueden imaginarse como pequeños resortes helicoidales comprimidos a menos de su longitud normal.

Mientras que el tronco se conserve entero, la distribución de esfuerzos es aproximadamente simétrica alrededor de su centro, y las fuerzas totales de tensión quedan compensadas por las fuerzas totales de compresión. Sin embargo, si se divide el tronco en dos partes a lo largo del plano x-x, se altera la distribución simétricamente equilibrada de los esfuerzos y cada parte del tronco queda entonces sometida a una liberación descontrapesada de los esfuerzos a través de su sección, de modo que, al principio, cada una presenta un esfuerzo de tensión a lo largo de sus superficies de albura y un esfuerzo predominantemente de compresión a lo largo de sus superficies aserradas. Por ello, cada parte se deformará buscando un estado de equilibrio de los esfuerzos. Las

fibras situadas a lo largo de las superficies de albura tenderán a acortarse a medida que se libera el esfuerzo de tensión, mientras que las fibras sometidas a compresión en la parte central de las superficies aserradas se alargarán a medida que se elimine el esfuerzo de compresión. Por consiguiente, ambas partes del tronco se curvarán longitudinalmente; es importante recordar que la curvatura ocurre en dirección a la corteza. Si esto se tiene siempre presente, será más fácil hacer frente a los problemas de la distorsión durante el aserrado.

La distorsión ocurre también cuando se intenta cortar tablas de un tronco de alta gradación de esfuerzos. Si se corta un tablón de 2" de un tronco como el que aparece en la figura IV a), se podría presentar en él una distribución de esfuerzos longitudinales como la que aparece en la figura IV b). Si se divide en cinco tablas mediante seis cortes simultáneos, efectuados, por ejemplo, con una sierra de hojas múltiples, el resultado será como el que se ve en la figura IV c). Las tablas 1 y 5 se torcerán porque sus cantos interiores disminuirán de longitud menos que sus cantos exteriores. Las tablas 2 y 4 se torcerán porque sus cantos exteriores disminuirán de longitud mientras que sus cantos interiores aumentarán. La tabla 3 puede conservarse aceptablemente derecha. Este comportamiento demuestra claramente lo inadecuado de las sierras de hojas múltiples para maderas que tienden a torcerse.

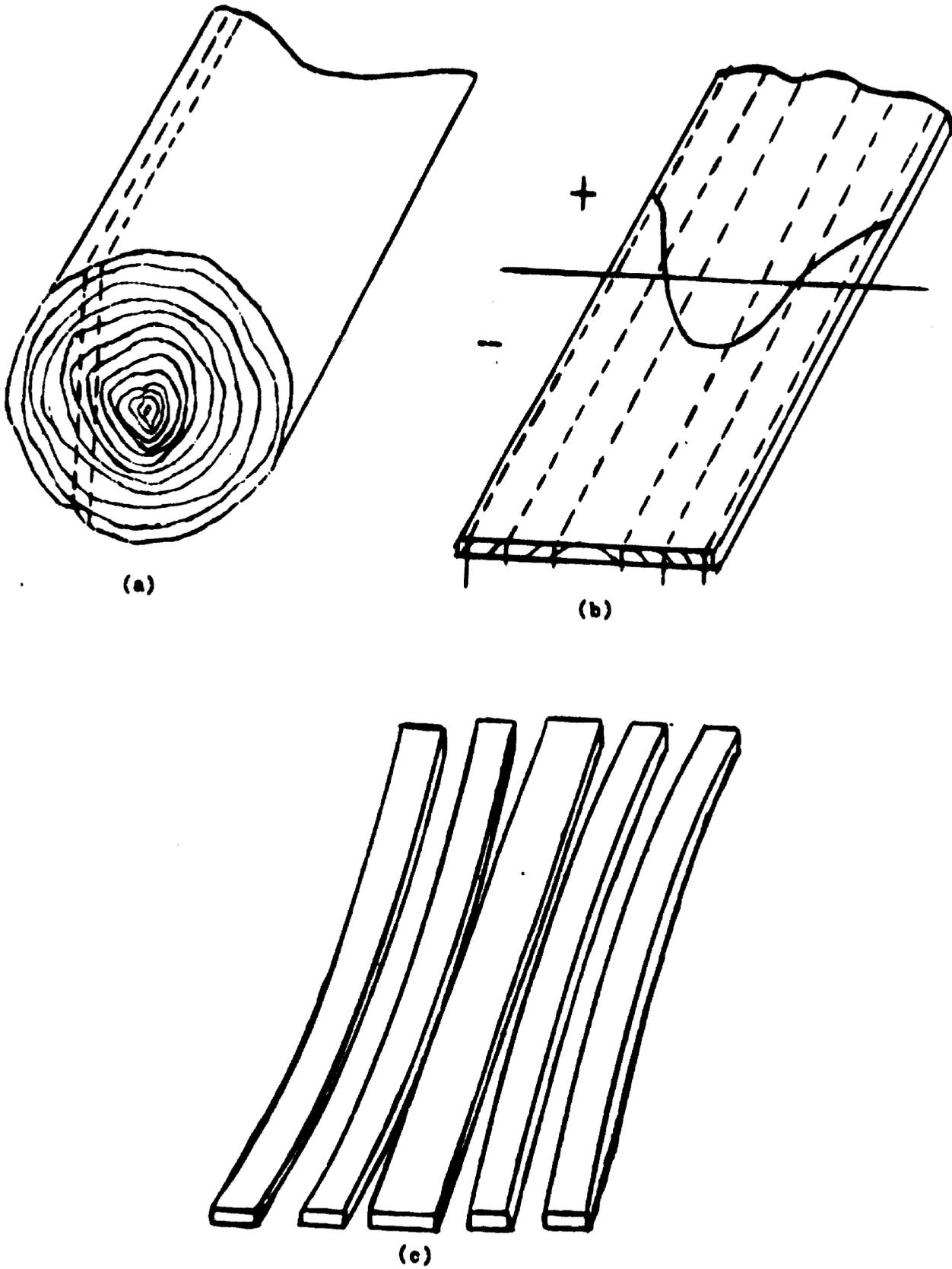


Figura IV. Formación de torceduras cuando un tablón se divide de corteza a corteza

TECNICAS PARA EL ASERRADO DE TRONCOS DE ALTA
GRADACION DE ESFUERZOS DE CRECIMIENTO

a) Almacenamiento de troncos

Hay indicios de que, si troncos de alta gradación de esfuerzos de crecimiento se pueden almacenar por períodos de por lo menos seis a ocho meses, ocurrirá cierto aflojamiento de los esfuerzos y el nivel general de esfuerzos puede reducirse considerablemente. En algunas regiones, cuando se cree que los troncos pueden contener una alta gradación de esfuerzos de crecimiento, se les rocía con agua pulverizada mientras están almacenados, a fin de impedir que se formen grietas por desecación en las superficies y los extremos durante el almacenamiento.

b) Ubicación de los cortes de la sierra en relación con grietas importantes en los extremos

Cuando los troncos muestran grietas profundas en los extremos, lo mejor es dividirlos en tablones que, a su vez, se dividirán en tablas. Esos tablones deben cortarse de tal manera, que las grietas de los extremos queden sobre el canto del tablón y, por consiguiente, aparezcan tan sólo en uno o dos productos finales (figura V a)). Las grietas reducen la longitud de varios productos si son paralelas a las caras del tablón (figura V b)).

c) Comparación entre el aserrado en ángulo recto a los rayos medulares y el aserrado en cuartones

A partir de troncos de alta gradación de esfuerzos de crecimiento, resultan más rentables los productos finales aserrados en ángulo recto a los rayos medulares que los aserrados en cuartones. En el aserrado en ángulo recto, el efecto de los esfuerzos de crecimiento hará que los productos se arqueen en lugar de torcerse (figura VI), puesto que la deformación longitudinal resultante de los esfuerzos de crecimiento se produce hacia la corteza. Es mucho más fácil eliminar el arqueo de una tabla que eliminar su torcedura. Por ejemplo, si se requiere un empuje de 0,5 kilos para enderezar una tabla arqueada de 4" x 1" de sección transversal (figura VI a)), el empuje requerido para enderezar una tabla torcida (figura VI d)) será de 32 kilos. En la mayoría de los casos, la madera arqueada se enderezará por su propio peso o, por lo menos, quedará derecha al ser apilada.

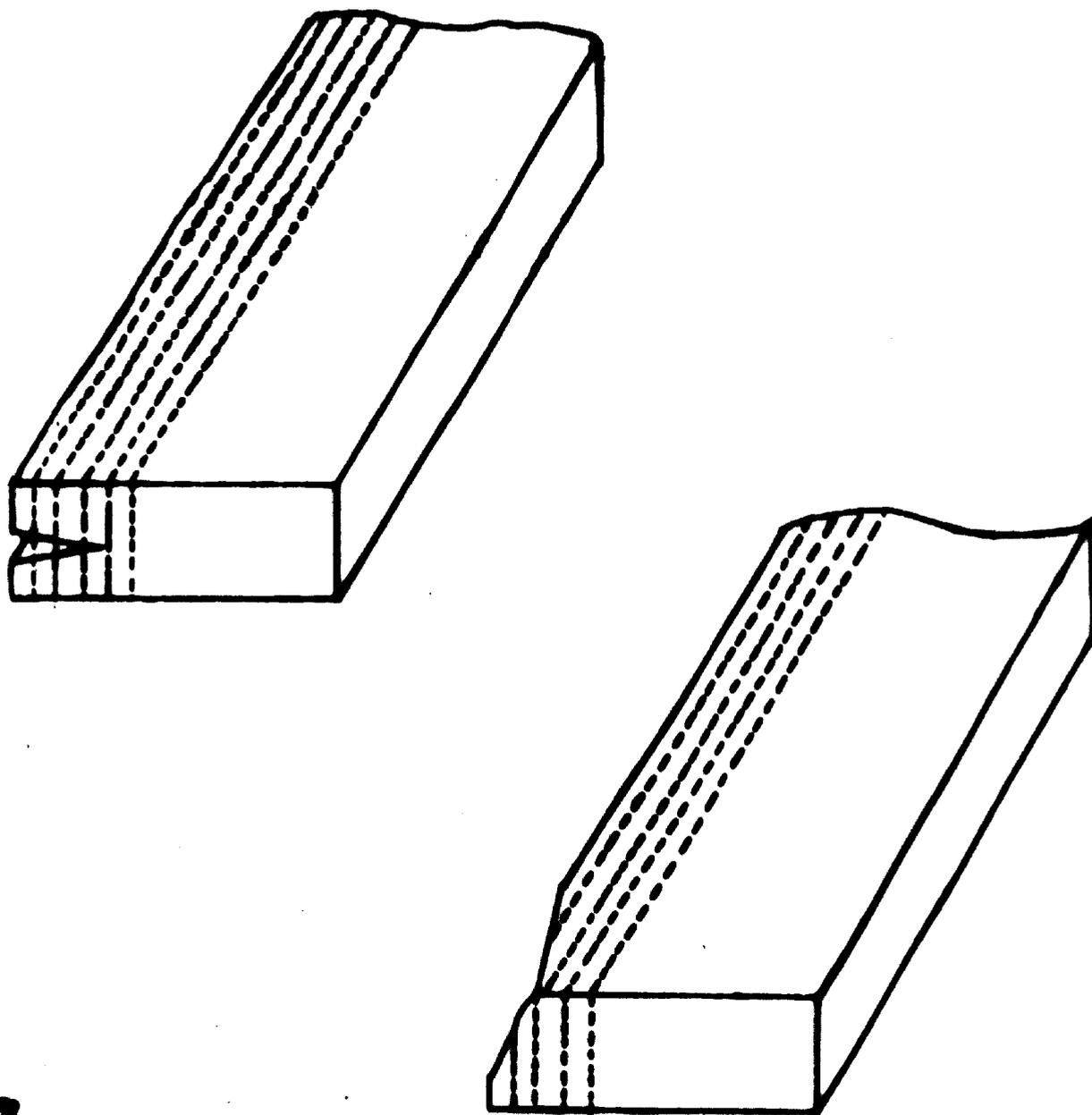


Figura V. Técnica para cortar troncos que tienen
aristas en los extremos.

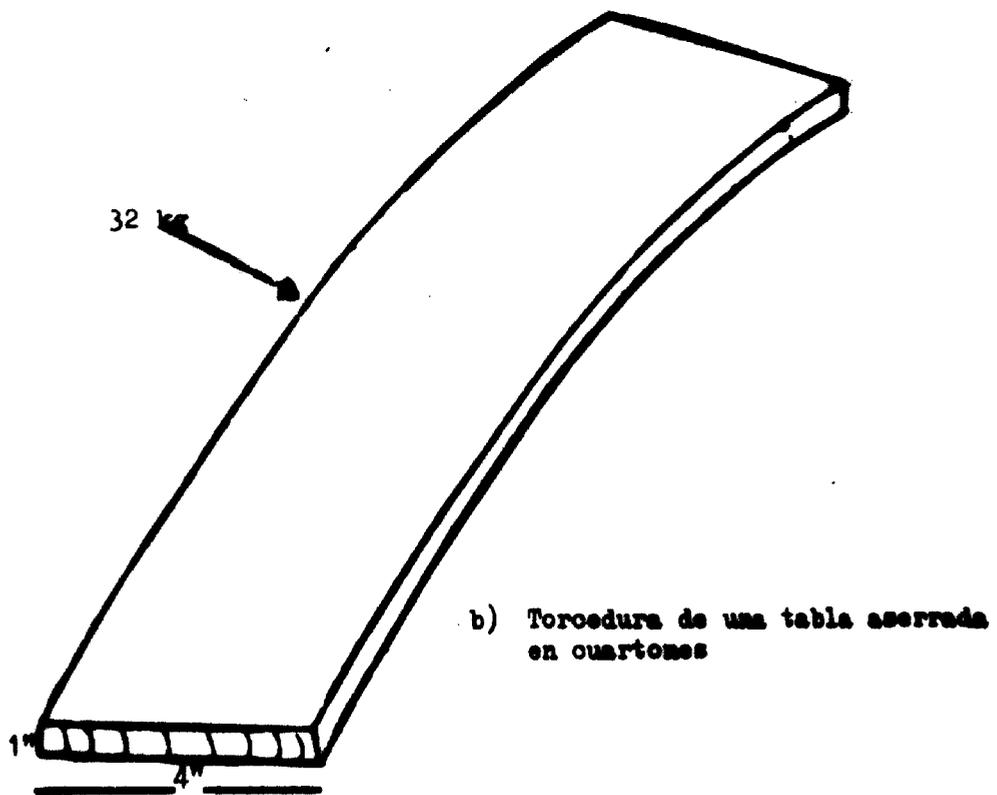
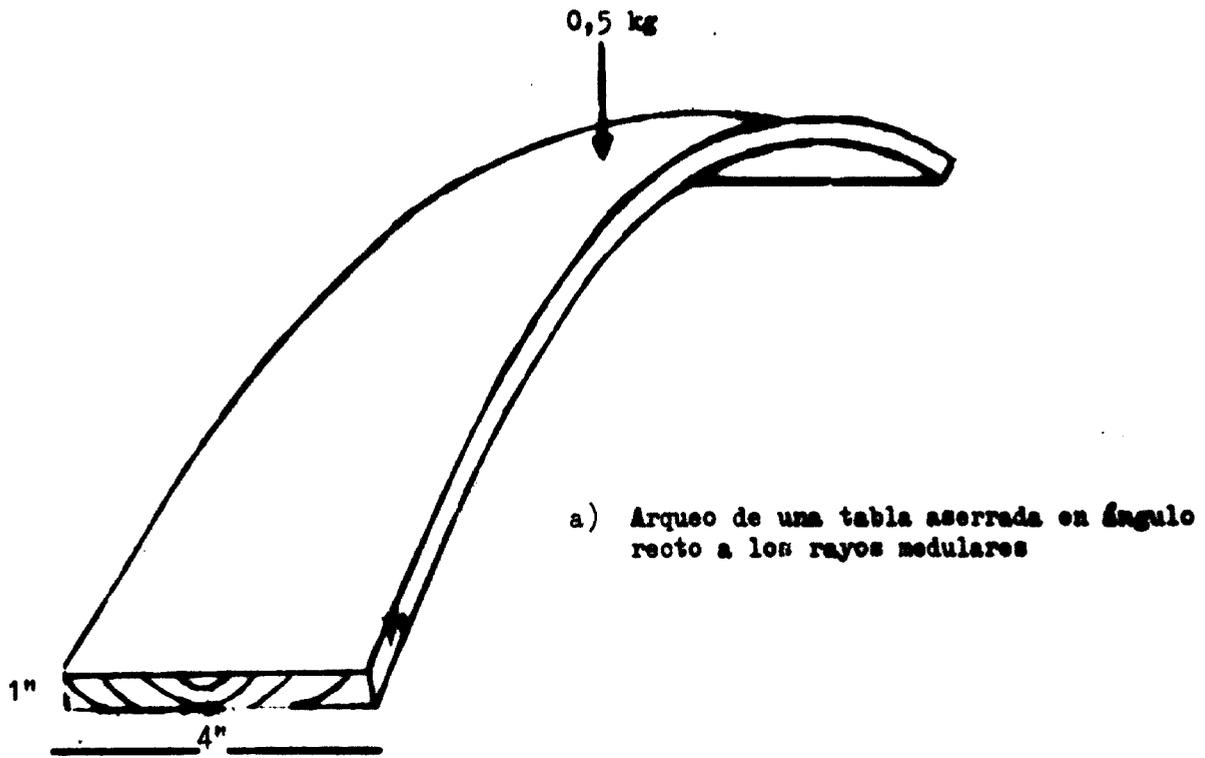


Figura VI. Productos aserrados en ángulo recto a los rayos medulares y en cuartos

d) Aserrado de troncos

Es mejor que los troncos con tendencia a la distorsión queden aserrados lo más cortos que sea prácticamente posible, pues la deformación debida a la torcedura es proporcional al cuadrado de la longitud (véase figura VII). Si una tabla de 5 metros de largo tiene 5 cm de torcedura, una tabla similar, de 2,5 metros de largo tendrá sólo una torcedura de 1,25 cm.

La importancia económica de reducir la torcedura de la madera aserrada pudo verse cuando el autor prestaba asistencia en el maquinado de tableros de guate de 3 $\frac{1}{2}$ " de ancho. Como muchas de las tablas estaban aserradas en cuartones y torcidas, alrededor de un 10% de ellas no pudieron introducirse en la acepilladora para listones, mientras que de las restantes sólo se obtuvieron listones cepillados de 3" de ancho, rectos en toda su longitud. La pérdida total, debida a torcedura, en volumen de madera seca se estimó en aproximadamente 15%.

Otro problema que ocasiona la torcedura es que la distorsión se produce tanto en la tabla como en el tronco o el tablón de donde procede. A veces, la curvatura del tronco o del tablón es tan grande que es imposible que se pueda cortar a continuación una tabla de espesor uniforme, salvo si la sierra puede seguir la curvatura del tronco o del tablón. Esto sólo se puede conseguir con sierras de cinta estrecha y a velocidades de paso muy reducidas.

Hay tres formas de operar con respecto a la torcedura:

a) Rectificar la cara aserrada mediante un "corte frontal", como se ve en la figura VIII. Con este corte se retira una franja cuyo espesor varía a lo largo de su longitud. De esta manera, no sólo se pierde madera, sino también tiempo y esfuerzo de producción;

b) Enderezar físicamente, por presión, el tronco o el tablón y mantenerlo derecho mientras se le asierra. Este método se practica en Australia para ciertas especies de eucaliptus, de las cuales algunos troncos se tuercen mucho. Para ello, se utiliza un carro en el cual el tronco o el tablón, avanzado sobre soportes movidos mediante fuertes cilindros neumáticos o hidráulicos, ha de mantenerse derecho a lo largo de un calibrador rígido. Sin embargo, como se utilizan en ello fuerzas importantes, sólo se pueden enderezar de esta forma troncos o tableros relativamente pequeños. Otro método algo similar, también de origen australiano, requiere el empleo de carros sumamente pesados y robustos para mover los troncos; sobre ellos, el tronco se afianza siempre con grapas a 0,5 metros de sus extremos. Se ha observado que de esta

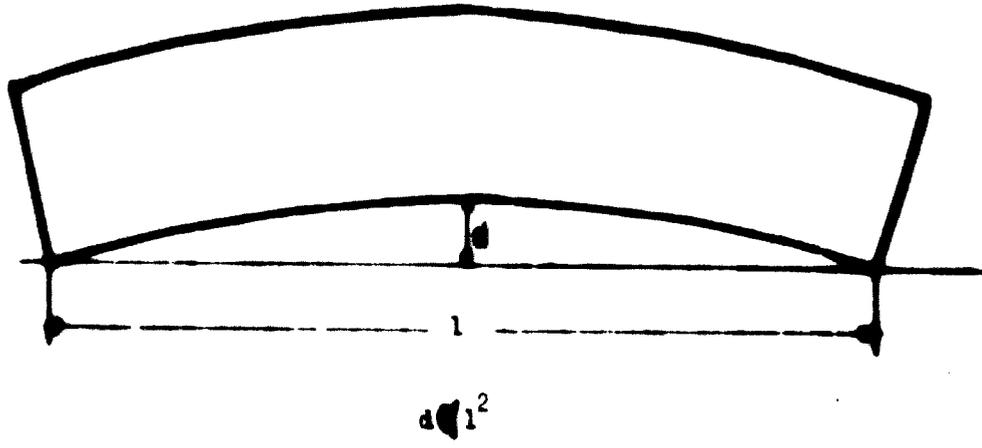


Figura VII. Relación entre torcedura y longitud

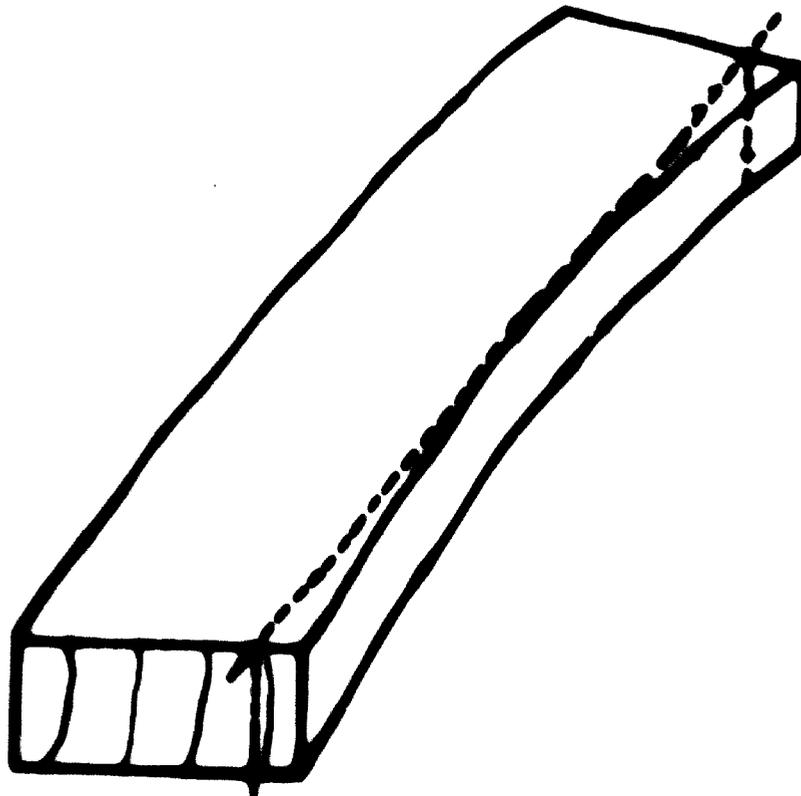


Figura VIII. Rectificación de tablas torcidas mediante series de troques

manera, si el mecanismo de retención es lo bastante fuerte, en muchos troncos se puede corregir la torcedura. Este conocimiento ha llevado a proyectar carros para troncos en los cuales un soporte terminal se hace mover a lo largo del carro;

c) Cantear el tronco practicando simultáneamente cortes de sierra paralelos en lados opuestos (véase figura IX), a fin de que la pauta del esfuerzo longitudinal se mantenga equilibrada en el tablón central, el cual, por consiguiente, no se tuerce. Los troncos se pueden cantar con sierras circulares o de cinta, pero debe recordarse que los tabloncillos obtenidos de esta manera pueden torcerse cuando se asierren de nuevo (véase la figura IV). No obstante, cabe evitar este problema curando los tabloncillos y, a continuación, haciendo aflojar los esfuerzos mediante un tratamiento al vapor, antes de proceder a reaserrarlos. Se pueden obtener aserrados similares con sierras de bastidor de hojas múltiples, pero éstas, si bien eliminan los efectos de la torcedura en una dirección, carecen de la flexibilidad de producción que suele requerirse para aserrar maderas duras tropicales. Una aproximación a la pauta de aserrado indicada en la figura IX se puede obtener asimismo en un carro para troncos, haciendo girar éstos frecuentemente en 180° . Esta modalidad requiere un dispositivo de volteo rápido y eficaz si se quieren obtener tasas de aserrado rentables.

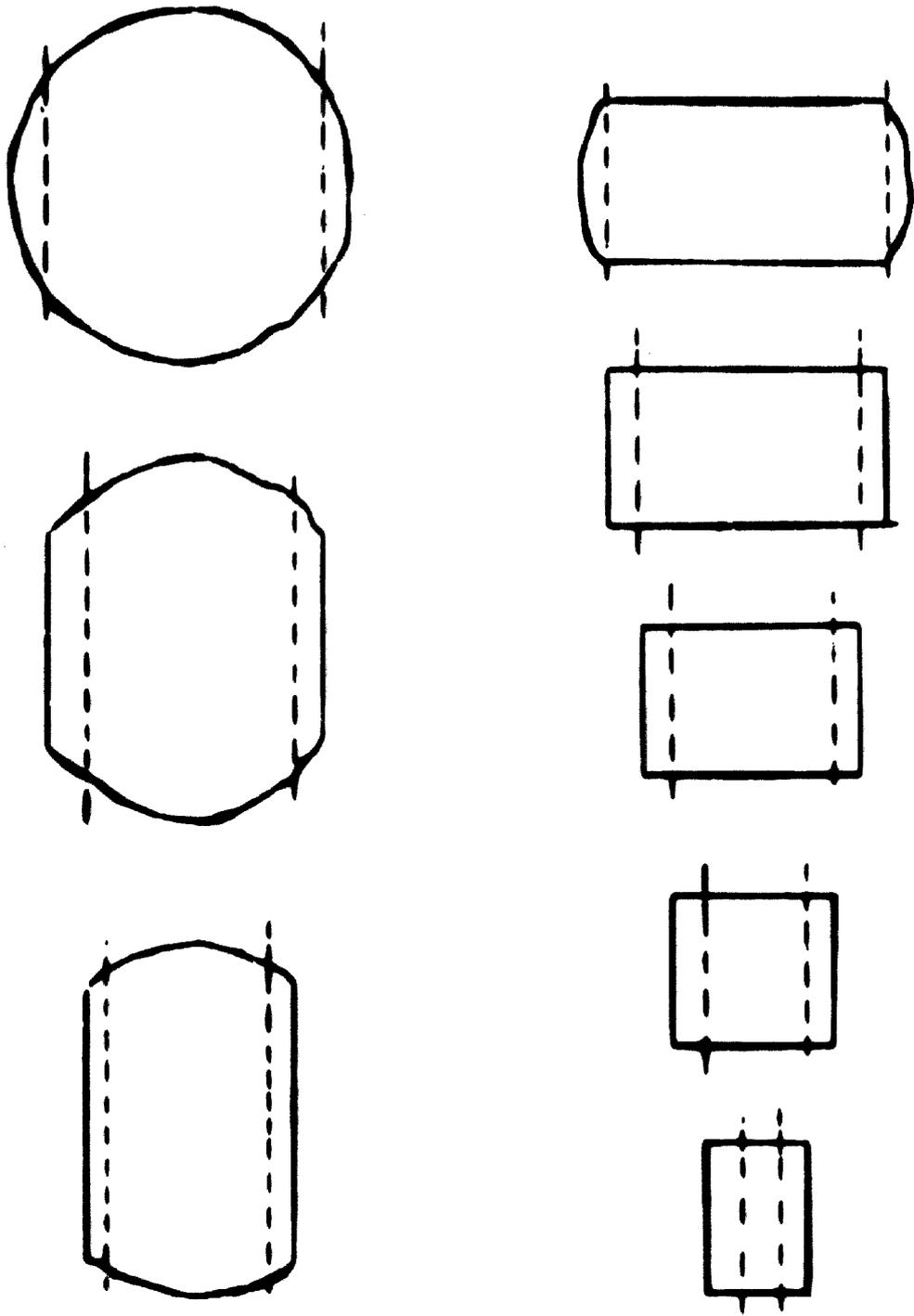
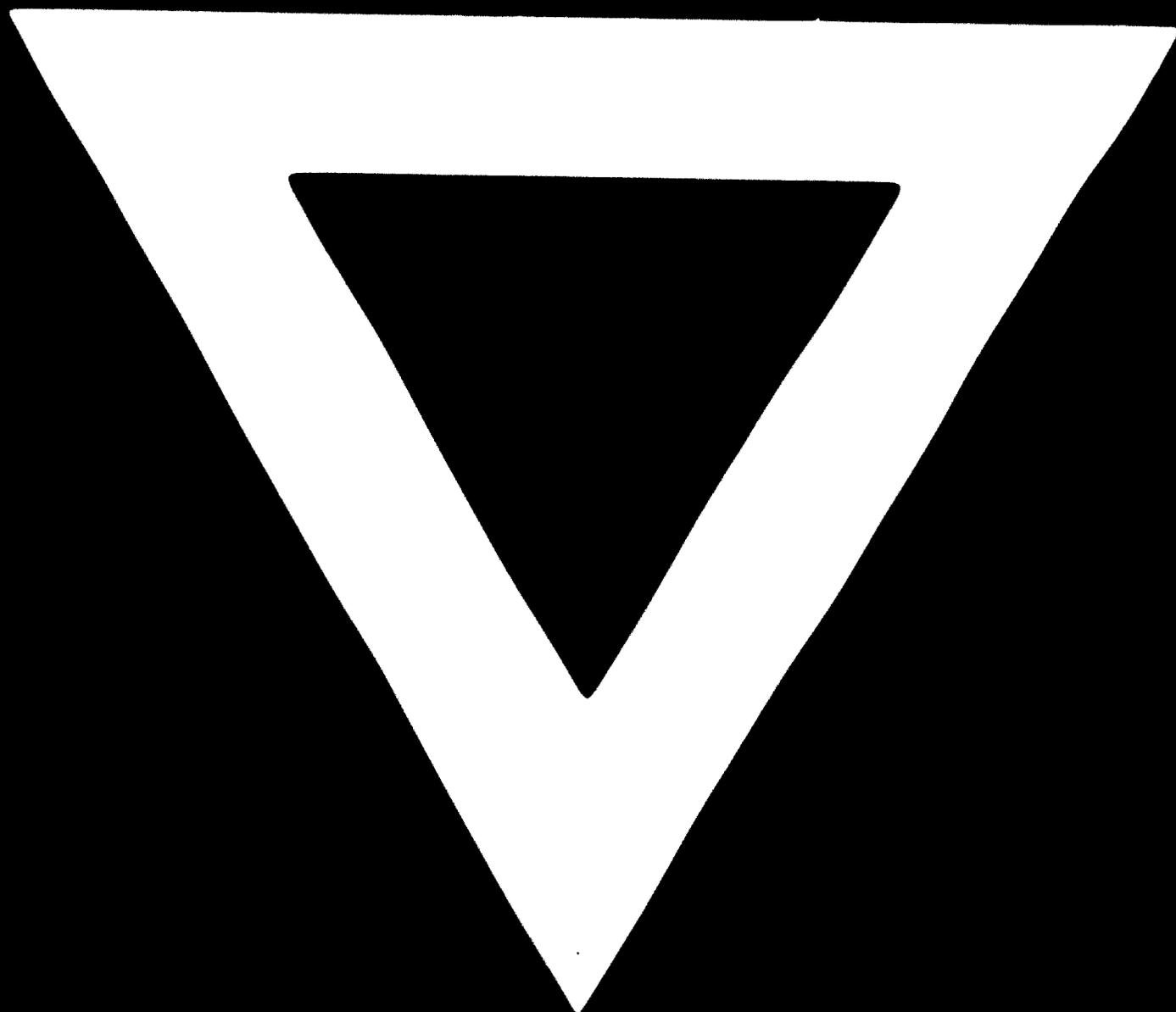


Figura IX. Junta de cantado de troncos



C - 279



77 .07.13