

**PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS TRONCOS DE
PALMAS ACEITERAS PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE
MADERA**

5 De acuerdo con los datos disponibles en este caso, la superficie mundial cultivada de palma aceitera supera los 20 millones de hectáreas y con una tendencia ascendente. Las llamadas plantaciones de palma aceitera se establecen a este respecto exclusivamente para la utilización del aceite de palma producido por las palmas en cuestión, que se utiliza preferentemente para la
10 producción de alimentos, pero también para cosméticos, materias primas químicas y combustibles. Dicho aceite de palma se extrae de la pulpa del fruto de la palma aceitera. El aceite de palma es muy demandado para la fabricación de alimentos, en particular porque está compuesto por más de un 50% de grasas saturadas.

15 La transformación del aceite de palma en productos de uso industrial se critica en particular porque la extracción del aceite de palma está en parte asociada con correspondientes talas de bosques naturales y, además, se sospecha que en este contexto se producen gases de efecto invernadero.

Dichas plantaciones de palma también son criticadas porque el
20 aprovechamiento de las palmas aceiteras se concentra exclusivamente en la extracción del aceite de palma, pero el material del tronco de la palma no se aprovecha materialmente cuando se planta una nueva plantación y generalmente se distribuye en forma picada en la plantación y se deja pudrir. Esto, a su vez, va acompañado de un aumento de la infestación de insectos y
25 hongos, que a su vez también infestan las nuevas plantaciones de palma

aceitera. La falta de aprovechamiento material del tronco de la palma representa un desperdicio significativo de biomasa y contribuye a problemas ecológicos.

En algunos casos, también se queman los troncos talados de las palmas aceiteras, lo que a su vez está asociado a la liberación de gases de efecto invernadero por la combustión y, además, contribuye de forma considerable a la contaminación atmosférica.

Partiendo de esta situación medioambientalmente destructiva, la solución de acuerdo con la invención propone un uso eficiente y material de los troncos de palma, más concretamente de la madera de palma aceitera.

10 En este contexto, ya se conoce un procedimiento para procesar la madera comprimida de la palma aceitera por el documento CN 109 822 704 A. A este respecto, la madera previamente comprimida de la palma aceitera se comprime aún más mediante un procedimiento de prensado en caliente, de tal modo que es posible un uso comercial de la madera de palma aceitera.

15 Por el documento WO 2019 017 772 A1 también es conocido que se pueden aserrar y comprimir troncos de palma, secarlos a continuación a alta temperatura y, a continuación, impregnarlos para obtener una madera de palma utilizable. Mientras que estos documentos muestran pasos de procesamiento básicos para la madera de palma, no abordan los desafíos específicos que surgen de la distribución heterogénea de la densidad del tronco de la palma aceitera, ni
20 ofrecen soluciones precisas para el uso sistemático de estas diferencias de densidad para la fabricación de productos a medida con propiedades consistentes.

Antes de abordar el procedimiento de acuerdo con la invención, es
25 conveniente en este contexto abordar algunas peculiaridades de las palmas

aceiteras.

En primer lugar, las palmas se diferencian de los árboles convencionales, como las coníferas y los árboles de hoja caduca, en que son plantas dicotiledóneas. En cambio, la palma aceitera es una planta monocotiledónea,
5 como las gramíneas o el bambú.

Así, las palmas aceiteras se diferencian de las coníferas y de los árboles caducifolios mencionados en que no tienen un crecimiento secundario de espesor que forme zonas de crecimiento o los llamados anillos anuales a través de una capa de cambium que se encuentre bajo la corteza.

10 Por el contrario, las palmas en cuestión presentan un crecimiento en longitud de abajo arriba, que parte del cono de brotación, así como un crecimiento del espesor de las paredes celulares a través de las llamadas capas de pared celular, lo que a su vez va acompañado de un aumento de la densidad en las células con el aumento de la edad de la palma. Además, las palmas no
15 tienen ramas.

Las llamadas hojas de palma se pierden durante el crecimiento longitudinal del tronco de la palma, de tal modo que en cada caso solo permanecen biológicamente activas o se mantienen las hojas del extremo superior de la palma. Así, el tronco de una palma crece principalmente de abajo
20 arriba y no tiene ramas.

La estructura del tronco de la palma es homogénea y consiste en cada caso en haces vasculares relativamente duros incrustados en una estructura celular blanda.

Otra característica especial de la estructura de la palma aceitera es que
25 tiene una distribución de la densidad diferente a la de un tronco de árbol clásico.

La distribución de la densidad de la madera es más alta en la zona inferior del tronco de la palma aceitera, disminuyendo esta al aumentar la longitud del tronco.

En una palma madura se pueden identificar tres zonas de densidad claramente definidas a lo largo del tronco, vistas de abajo arriba y de dentro a fuera. La densidad de los troncos oscila entre unos 180 kg/m³ y 650 kg/m³, dependiendo de la edad, el diámetro y el terreno de la plantación.

Se puede distinguir entre tres clases de densidad de la siguiente manera:

Clases de densidad en el tronco y sus proporciones:

Clases de densidad	Densidad	Proporción
I	> 350 kg/m ³	20 - 30 %
II	200 - 350 kg/m ³	30 - 40 %
III	< 200 kg/m ³	35 - 45 %

10

La indicación de la "proporción" en la anterior presentación tabular se refiere a la proporción de la respectiva clase de densidad en el tronco total de una palma aceitera.

A este respecto, una sección de hasta 12 m de la longitud total del tronco es apta para el posterior procesamiento y utilización del tronco de la palma aceitera.

Esta sección aprovechable del tronco de la palma aceitera se corta en secciones de tronco de entre 2,5 y 6,5 metros. Estas longitudes pueden ajustarse según los requisitos específicos del producto final y la calidad del tronco. Además, las secciones de tronco obtenidas de este modo se marcan con una marca que indica en cada caso la dirección de crecimiento de la sección de tronco. La

20

indicación de la dirección de crecimiento proporciona información sobre la disminución de la densidad y, por tanto, puede tenerse en cuenta en el posterior procesamiento de la madera del tronco. Esta marcación es crucial para asegurar una orientación consistente de los paquetes de madera y maximizar la

5 homogeneidad de la densidad dentro de los productos procesados.

Básicamente, los troncos se cortan de manera uniforme, es decir, en la dirección de crecimiento o en contra de la dirección de crecimiento, de manera que la dirección de crecimiento de un paquete de madera ya aserrada sea uniforme en cada caso. Esto contribuye a la homogeneidad de las propiedades mecánicas

10 de los productos posteriores.

A este respecto, se distinguen dos métodos diferentes de corte en los troncos, en concreto

- un corte rígido con clases de troncos preclasificadas según el diámetro del tronco, procesándose solo los diámetros de tronco de una clase de troncos, es decir, que las herramientas de corte no se ajustan durante
- 15 el corte,
- un corte flexible, con diámetros de tronco mezclados, mediante máquinas de aserrado ajustables en función del diámetro del tronco, midiéndose el diámetro del tronco en cada caso antes del corte y
- 20 ajustándose correspondientemente las máquinas de aserrado.

Independientemente del método de corte elegido, las zonas de densidad de las secciones del tronco se determinan antes del corte mediante ultrasonidos, medición de la frecuencia natural o tecnología de rayos X. A este respecto, no es necesario llevar a cabo dicha determinación de las respectivas zonas de

25 densidad para cada tronco individual de una palma. Por el contrario, se puede

suponer que las secciones de tronco que han crecido en una misma plantación y que presentan características comparables (diámetro, edad, condiciones de crecimiento), se pueden considerar sustancialmente idénticas o, al menos, similares, de tal modo que pocas mediciones correspondientes son suficientes para determinar la respectiva técnica de corte, al menos para una gran zona de la plantación.

- Corte rígido con clases de troncos preclasificadas según el diámetro del tronco, procesándose solo los diámetros de tronco de una clase de troncos, no ajustándose las herramientas de corte durante el corte
- Corte flexible, con diámetros de tronco mezclados, empleándose en este caso máquinas de aserrado ajustables para el procesamiento de diferentes diámetros de tronco, es decir, diferentes clases de tronco

A este respecto, para el corte de la madera de palma, pueden determinarse las zonas de densidad de las secciones de tronco mediante medición por ultrasonidos y/o medición de frecuencias naturales y/o tecnología de rayos X sin que para ello sea necesario realizar una incisión en la sección de tronco prevista para el procesamiento.

En primer lugar, se puede suponer a este respecto que las secciones de tronco con un diámetro comparable, que presentan en cada caso una edad comparable y proceden de la misma zona de cultivo, presentan distribuciones de densidad sustancialmente homogéneas. Esto significa que, para el corte, no es necesario determinar las zonas de densidad de cada tronco, sino que las zonas de densidad de troncos similares pueden determinarse mediante una única medición. Sin embargo, se puede utilizar un muestreo adicional para una mayor verificación.

A este respecto, la determinación de las zonas de densidad se supervisa repetidamente mediante un muestreo aleatorio y se perfecciona con nuevas evaluaciones. De este modo, se pueden determinar las correlaciones de las zonas de densidad a lo largo de la respectiva longitud del tronco para, por esta
5 vía, tener en cuenta la densidad decreciente del tronco, o más precisamente de la madera del tronco de una palma, a lo largo de la longitud del tronco. Como resultado, de esta manera se pueden determinar las diferentes zonas de densidad con la precisión necesaria.

Con la ayuda de esta información, se puede realizar el mencionado corte de los
10 troncos de la palma aceitera de manera orientada por la densidad. Esta precisa determinación de la densidad y clasificación difiere significativamente de los enfoques anteriores, ya que permite una clasificación sistemática y reproducible del material que va más allá de una simple separación visual o aproximada. Esto es crucial para la fabricación de productos con propiedades consistentes y
15 específicas que cumplen con los requisitos de la industria. Se distinguen a este respecto tres zonas de densidad diferentes, en concreto, baja densidad, densidad media y alta densidad.

Gracias al método de separación de las zonas de densidad descrito anteriormente, es posible, por tanto, cortar paquetes de madera con la misma
20 densidad. Estos paquetes de madera en cada caso con una densidad homogénea también pueden ser secados y procesados correspondientemente a sus propiedades.

Esta separación de las maderas según las zonas de densidad permite el posterior procesamiento de los paquetes de madera, en función de su respectiva
25 densidad. Así, se utilizan diferentes programas de secado con temperatura y

tiempo de secado individuales para cada zona de densidad. Esto conduce a un secado optimizado, reduce las pérdidas de material y asegura la calidad de la madera para su posterior procesamiento.

Como resultado, las piezas parciales recortadas se transforman en
5 productos acabados con diferentes propiedades específicas, es decir, en función del grado de densidad, en tableros ligeros con una densidad baja o en tablas macizos con una alta densidad o en productos de madera que se construyen a partir de diferentes capas como, por ejemplo, tableros de tres capas con densidad mixta media/alta (MD, HD), madera laminada con densidad mixta
10 media/alta (MD, HD) o madera contralaminada con capas alternas de tiras encoladas longitudinal y transversalmente de diferente densidad.

La invención se explica con más detalle a continuación con referencia a ejemplos de realización concretos representados en el dibujo, con respecto al procesamiento posterior de los troncos de palma aceitera.

15 Muestran:

la Figura 1: el tronco de una palma aceitera en sección transversal con diferentes zonas de densidad

la Figura 2: el tronco de una palma aceitera en sección transversal con diferentes zonas de densidad, así como el patrón de corte
20 para separar los tableros con alta densidad y para separar los tableros con densidad media en el llamado precorte

la Figura: 3: el tronco de una palma aceitera en sección transversal con los patrones de corte de acuerdo con la figura 2, complementados con los cortes para la separación de los
25 tableros de baja densidad en el llamado postcorte

Figura 4: el tronco de una palma aceitera con los patrones de corte de acuerdo con la figura 2, complementados con los cortes para la separación de maderas de densidad alta/media/baja en el llamado postcorte

5 la Figura 5: tronco cónico de una palma aceitera, con un curso de tronco cónico, así como un corte correspondiente orientado por la densidad y paralelo a la fibra a lo largo del respectivo contorno exterior del tronco de esta palma aceitera durante el precorte y el postcorte

10 La figura 1 muestra el tronco de una palma aceitera en sección transversal, pudiendo identificarse las diferentes zonas o clases de densidad de la palma aceitera sobre la base del diferente rayado de la sección transversal.

La madera exterior 1 de la palma aceitera, es decir, la zona de crecimiento exterior de la palma aceitera, presenta la mayor densidad (HD) vista sobre la sección transversal del tronco. Posee una densidad de $>350 \text{ kg/m}^3$. La
15 proporción de la madera de esta calidad en la palma constituye el 20-30 % de la madera del tronco.

La siguiente capa de madera (2) hacia el interior de densidad media (MD) de $250\text{-}350 \text{ kg/m}^3$, representa una proporción del 30-40 % del tronco de la palma
20 aceitera.

La mayor proporción del tronco de la palma aceitera, la representa la capa más interna del tronco. Posee una proporción del 35-45 % de la madera del tronco. Sin embargo, a este respecto también es la parte de la madera con menor densidad (ND). La densidad del tronco en esta zona es de $<200 \text{ kg/m}^3$ a 350 kg/m^3 .
25

Los datos anteriores solo deben entenderse a este respecto como ejemplos, ya que los valores, pueden variar en función de la respectiva edad de la palma, su diámetro y su zona de crecimiento. Los límites de densidad aquí definidos sirven como puntos de referencia técnicos para la clasificación y son el resultado de mediciones y análisis exhaustivos.

Partiendo del conocimiento de esta distribución de la densidad, los troncos de la palma aceitera se cortan a lo largo de su longitud, de 12 m, en secciones de tronco de entre 2,5 y 6 m.

Como preparación para el posterior procesamiento, se marca a este respecto en cada caso la dirección de crecimiento de la sección del tronco obtenida de este modo. La información sobre la dirección de crecimiento proporciona, por un lado, información sobre la dirección en la que disminuye la densidad de la madera del tronco y así puede tenerse en cuenta durante el procesamiento posterior.

Correspondientemente, los troncos se cortan en cada caso de manera uniforme, es decir, en la dirección de crecimiento o en contra de la dirección de crecimiento. Esto garantiza que los paquetes de madera obtenidos en cada caso puedan disponerse y almacenarse en una dirección de crecimiento uniforme.

Los paquetes de madera obtenidos de este modo se siguen cortando basándose en su clasificación de densidad, efectuándose, por tanto, un corte rígido con clases de troncos preclasificados según el diámetro del tronco, de tal modo que solo se procesan los diámetros de los troncos de una clase de troncos. Esto tiene la ventaja de que las sierras utilizadas no necesitan ser ajustadas durante el corte.

Alternativamente, también se puede realizar un corte flexible con

diámetros de tronco mixtos, debiendo emplearse en este caso máquinas equipadas con unidades de aserrado ajustables, de tal modo que el diámetro de tronco respectivo se pueda ajustar en función del espesor del tronco, y luego se realice el corte. Por lo general, para ello se mide previamente el diámetro de
5 cada tronco.

Por lo general, las unidades de aserrado utilizadas a este respecto ya están equipadas con los correspondientes instrumentos de medición.

En una etapa posterior, se determinan las diferentes zonas de densidad de las secciones de tronco mediante por ultrasonidos, medición de frecuencia
10 natural o mediante tecnología de rayos X. Utilizando secciones de tronco con la misma distribución de densidad, se puede realizar una determinación muy precisa de las zonas de densidad para cada sección de tronco individual, pudiendo mejorarse aún más la calidad de esta determinación mediante un correspondiente muestreo aleatorio. Como resultado, se dispone de secciones
15 de tronco con la densidad del predecesor para su posterior procesamiento.

A continuación, se realiza el corte de los troncos también en función de la densidad, de manera que se formen paquetes de madera con la misma densidad. También en este contexto se distingue de nuevo entre las 3 zonas de densidad, es decir, alta densidad (HD), densidad media (MD) y baja densidad
20 (ND).

Al identificar diferentes zonas de densidad, también se puede efectuar un subsiguiente secado térmico individual de la madera aserrada, así como un subsiguiente procesamiento individual de la madera.

Al definirse diferentes zonas de densidad, las piezas parciales recortadas
25 pueden transformarse en productos acabados con diferentes propiedades

específicas, es decir, por ejemplo, en tableros ligeros que presentan una baja densidad, tableros de madera maciza con una alta densidad o incluso paneles de tres capas con proporciones mixtas de densidad. En este sentido, se pueden fabricar productos de madera adaptados a los requisitos específicos del
5 respectivo fin previsto.

De acuerdo con la figura 2, se pueden distinguir tres zonas de densidad diferentes (1, 2 y 3) dentro de la sección de tronco que se va a procesar, concretamente, la parte exterior del tronco, de alta densidad (HD), así como la parte media del tronco, de densidad media (MD), así como la zona interior del
10 tronco, que es de baja densidad (ND).

Como cabe esperar, el primer corte en la madera del tronco se realiza en la zona exterior, de acuerdo con las líneas cerradas que se muestran en la figura 2, que, por lo tanto, representan las líneas de corte del respectivo corte en la sección del tronco.

15 A continuación, se cortan los tableros de densidad mixta, mostrándose las líneas de corte como líneas discontinuas en la figura 2. De este modo, se obtienen maderas de densidad alta o media. Queda un llamado modelo como material residual.

De acuerdo con la figura 3, la zona interior del tronco, es decir, la zona de
20 baja densidad según las líneas punteadas trazadas en la figura 3, también se corta del modelo de fuera a dentro o de dentro a fuera, es decir, se procesa en tableros.

En el caso de los cortes mencionados, los respectivos espesores del tablero se seleccionan de manera que, en la medida de lo factible, se garantice
25 una separación exacta de las zonas de densidad explicadas, es decir, que

permanezca una proporción mayor posible de las clases de densidad más altas en la respectiva sección transversal del tablero. Esto se entiende como el llamado corte orientado a la densidad de los troncos.

De acuerdo con la figura 4, los troncos se procesan primero desde el exterior, realizándose en este contexto primero cortes para separar los tableros de alta densidad (HD) y, a continuación, los de media densidad (MD).

Por último, la zona interior con menor densidad también se corta en tableros de acuerdo con las líneas de puntos (7), que presentan las tres clases de densidad (HD, MD, ND). A continuación, se recortan los tableros y se cortan en tiras. En este sentido, se separan las tres clases de densidad entre sí con la mayor precisión. Alternativamente, el tronco, como se muestra en la figura 4, también puede ser cortado en tableros de una sola pasada en un llamado corte afilado. A continuación, se recortan los tableros y se cortan en tiras. En este sentido, se separan las tres clases de densidad entre sí, de acuerdo con la figura 7 con la mayor precisión. En este sentido, también se generan tiras que contienen dos clases de densidad (HD y MD o MD y ND). Se dispone de un total de 5 clases de densidad (HD, HD/MD, MD, MD/ND, ND), en cada caso con diferentes propiedades elastomecánicas, para la transformación de las tiras en productos finales. El corte de los tableros en tiras de densidades puede efectuarse antes del secado o después del secado.

El resto del modelo restante ya mencionado también se corta en tableros de acuerdo con las líneas de puntos de la figura 3. Estos tableros también se clasifican según sus respectivos niveles de densidad, efectuándose a continuación una clasificación y apilamiento orientados por la densidad de los tableros así obtenidos.

Para obtener la máxima cantidad de madera compuesta por el llamado material HD/MD, el corte de acuerdo con la figura 5 también puede efectuarse teniendo en cuenta el curso cónico del tronco, realizándose el corte paralelamente a este curso cónico del tronco. De este modo, se pueden crear

5 zonas de densidad homogéneas en toda la longitud de la respectiva sección del tronco. De este modo, se obtiene una pieza residual cónica en baja densidad (ND) homogénea. A este respecto, se trata más o menos de una pieza residual cuya utilidad es cuestionable.

En contraposición, sin embargo, se obtienen mayores proporciones de

10 volumen en calidad HD/MD del tronco de la palma aceitera.

Las secciones de troncos cónicos generadas de este modo pueden cortarse a su vez de acuerdo con la figura 6 de nuevo en paralelo al curso cónico de tablero. De este modo se obtienen tiras cónicas que presentan un volumen máximo de material HD/MD y que, tras el secado de acuerdo con la figura 8, se

15 encolan para formar tablas con forma cónica y orientación de crecimiento alterna.

De acuerdo con la figura 7, los tableros pueden cortarse de tal manera que sean de alta densidad 1 en el lado del borde de la madera, mientras que más adentro, la madera es de densidad media 2, mientras que la madera interior del tablero es solo de baja densidad 3.

20 La figura 8 muestra, como ya se ha mencionado, tableros (8) cortados cónicamente en calidad HD/MD, que se encolan para formar tablas después de su secado.

La figura 9 muestra una pila correspondiente para el secado de la madera, en la que una capa de tiras de madera encoladas longitudinalmente (9) se

25 dispone alternativamente con una capa de tiras de madera encoladas

transversalmente interpuestas, a la que sigue otra capa (11) de tiras encoladas transversalmente que se apoya por el lado inferior sobre otra capa de tiras encoladas longitudinalmente (12).

- 5 Por último, la figura 10 muestra, de nuevo en una vista en perspectiva, una pila de tableros con capas de tableros superpuestas y ya encoladas entre sí.

LISTA DE REFERENCIAS

- 1 Zona de alta densidad (HD)
- 2 Zona de densidad media (MD)
- 3 Zona de densidad baja (ND)
- 4 Cortes para separar los tableros de alta densidad (HD)
- 5 Cortes para separar los tableros de densidad media (MD)
- 6 Cortes para separar los tableros de densidad baja (ND)
- 7 Cortes para la división del modelo de corte restante en tableros con las tres densidades (HD, MD, ND)
- 8 Tableros de corte cónico
- 9 Capa de tiras encoladas longitudinalmente
- 10 Capa de tiras encoladas transversalmente
- 11 Otras capas de tiras encoladas transversalmente
- 12 Otras capas de tiras encoladas longitudinalmente
- 13 Capas de tablero superpuestas y encoladas
- 14 Zona de densidad mixta (HD, MD)