



# DEFECTOS DE RUGOSIDAD Y OTRAS IMPERFECCIONES DE MECANIZADO EN LA MADERA

## WOOD ROUGHNESS AND MACHINING PROCESS DEFECTS

Vignote, S  
Villasante A.  
Martínez Rojas, I.  
Martínez Rojas, J.A.  
Laína R.

### Introducción

La rugosidad superficial de la madera es importante no solo, como es evidente, por el aspecto que produce, sino porque interfiere en procesos de encolado y barnizado. Cuanto mayor es la rugosidad mayor es su superficie y mayor es el gasto necesario en producto tanto de pegamento como de barniz.

El mecanizado de la madera, con sierras, cuchillas o lijas provoca defectos en mayor o menor medida en la superficie de la madera.

La primera máquina en procesar la madera es la sierra de banda o circular, esta máquina produce un corte basto en la superficie que se traduce en los siguientes defectos:

### Marcas de dientes

En la foto 1, se puede apreciar como cada 3 o 4 mm, correspondiente a la mordida programada de la sierra de banda se produce una marca de diente, pero además, cada 10 cm se produce una marca más pronunciada consecuencia de que la sierra tenía un diente desajustado de los demás.

### RESUMEN

Se analizan los principales defectos de mecanización de la madera y los factores de que dependen. Así mismo se establecen las principales técnicas de evaluación de la rugosidad de la madera, y como la tendencia busca desarrollar sistemas en tiempo real, de forma que de forma automática las piezas demasiado defectuosas sean rechazadas mientras que el resto sigan su proceso de acabado, aplicando la cantidad de producto adecuado a la calidad superficial individual de cada pieza o incluso de cada punto de la pieza.

### Abstract

*Machining of wood major issues is analyzed as well as their possible origins. Besides, main evaluations of roughness techniques are explained and how the market is developing real-time analyzing automated systems capable of separating below-standard frames. Quality passed ones would keep running in their finishing processes using the individually assigned optimal amount of product or even specifically for each area of the frame.*

### PALABRAS CLAVE:

Mecanización de la madera; Defectos de superficie, Rugosidad superficial  
Keywords: Machining of wood; Surface defects, surface roughness



Foto nº1: Marcas de dientes producidos por una sierra de banda (escala 1:4)

Por tanto, los defectos causados por los dientes dependientes de la mordida y de la calidad del afilado y triscado o trabado de los dientes. Naturalmente que si la mordida se diseña más pequeña, y si no existen dientes mal ajustados, la calidad de superficie mejora, tal como se

aprecia en la imagen 2, en donde los defectos anteriormente señalados se hacen menos patentes.



Foto nº2: Marcas de dientes producidos en una sierra de banda de mesa (escala 2:1)

Aun así, si se analiza esta superficie mediante una lupa de 6,4 aumentos, con luz lateral para realzar los defectos superficiales, el aspecto es el indicado en la foto 3.

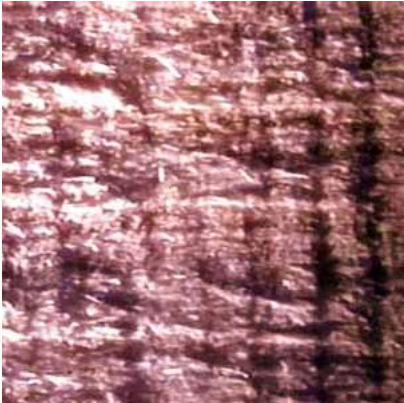


Foto nº3: Aspecto aumentado de la superficie trabajada con sierra: lupa 6,4, esc. 1/2

### Marcas de cuchillas

Estas irregularidades de superficie de la madera generada por las sierras, son inaceptables para la mayoría de los usos de esta por lo que, después del secado, las superficies se suelen ajustar mediante el corte con cuchillas, buscando, por una parte, enderezar la superficie y por otra mejorar la calidad de dicha superficie.



Foto nº4: Marcas de cuchillas provocadas por una cepilladora (escala 1,5:1)

En la imagen 4 se observa una mejor calidad de superficie, pero sigue apreciándose que regularmente cada cm se repite, a modo de ondas, el defecto del paso de la cuchilla sobre la superficie, que es mayor cuanto mayor es la velocidad de procesado y mayor es la profundidad de corte. A medida que aumenta la velocidad de avance de la madera, aumenta el paso de la ondulación y la apariencia del defecto. De la misma forma, aumentando la profundidad del corte, aumenta la irregularidad de la super-

ficie y se pierde calidad el trabajo.

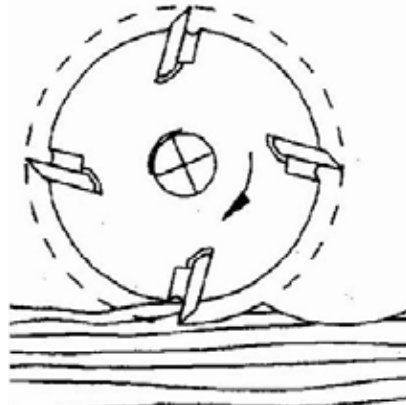


Figura nº1: Corte de la cuchilla. Vignote (2006)

Otro parámetro importante que determinará la calidad de la superficie es la profundidad de corte, que determina la profundidad de la onda, la cual es la entrada del filo de la cuchilla en la madera (Figura 1). Cuanto menor sea la entrada de la cuchilla en la madera mejor será la superficie de la pieza trabajada.

Las ondas con profundidades y largos pequeñas son deseables, pues provocan una menor rugosidad superficial, no obstante este mecanizado requiere mayor energía. Para generar una buena calidad superficial, la profundidad de la onda ideal que se ha obtenido de variados estudios es de 0,005 mm (Vignote, 2006).

En la foto 5 se analiza mediante lupa de 6,4 aumentos, la superficie generada por el corte de cuchilla en una conífera. En dicha foto se puede apreciar como la regularidad de la superficie ha mejorado con respecto a la que producía la sierra de banda, pero sigue siendo una superficie que ocasionaría un aspecto y una calidad de comportamiento poco aceptable

para usos de carpintería y mueble de la madera. En esta foto también se pone de patente la influencia de la calidad de filo de las cuchillas y como su irregularidad se transmite a la madera.

En la foto 6 se analiza mediante lupa de 6,4 aumentos la superficie generada por el corte de cuchilla en una frondosa. Puede verse la influencia que tiene los vasos en la calidad de superficie.

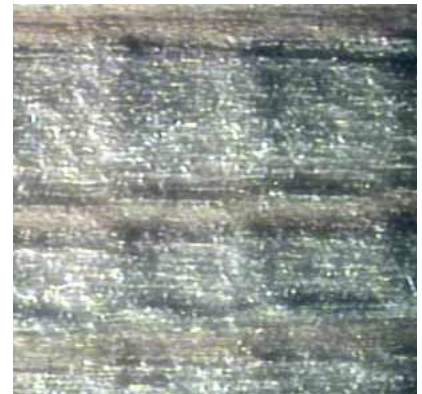
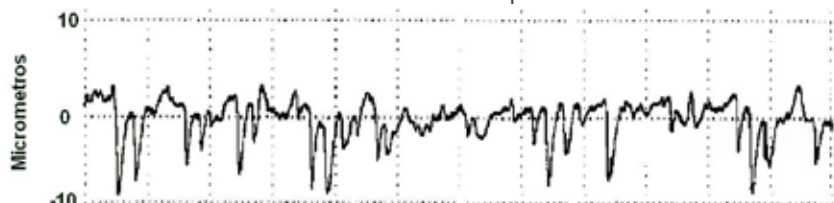


Foto nº5: Aspecto aumentado de la superficie de pino silvestre trabajada con cuchilla (lupa 6,4 aumentos, escala 1/2)



Foto nº6: Aspecto aumentado de la superficie de fresno trabajada con cuchilla (lupa 6,4 aumentos, escala 1/2)

Si se recorre la superficie de la madera con un micrómetro el resultado de las variaciones superficiales sería el del esquema 2.



Esquema 2: Medida de la rugosidad superficial (Magoos, 2008)

Este perfil, se aleja del teórico que se expone en el esquema 1, como consecuencia de las vibraciones de la máquina, que de alguna forma, irregulariza la secuencia teórica. Según Magoos, 2008, la variación de la rugosidad de la superficie de madera, depende de los siguientes factores:

o De la maquinaria y principalmente de las vibraciones de la máquina y de las vibraciones de los husillos portaherramientas.

o De la herramienta, tanto de su filo como del ángulo de ataque, que influye en la facilidad de rotura de la pared celular.

o De la tecnología del corte, tanto la velocidad de avance de la madera con respecto a la velocidad de la herramienta (cuanto mayor sea esta mayor es el tamaño de las ondulaciones) como la profundidad del corte.

cizallamiento en la madera situada entre ambas. De forma similar ocurre en las maderas de vasos visibles y dentro de estas es mayor las irregularidades, cuando los vasos están agrupados.

- De la fragilidad de la pared celular, fundamentalmente del espesor de la pared celular y por tanto de su densidad. Maderas frágiles poco densas se rompen más fácilmente originando más rugosidad.
- De la humedad de la madera. Valores demasiado secos, provocan problemas de fragilidad de la pared celular y por tanto irregularidades, mientras que valores demasiado altos de humedad, provocan efectos de desgarro de la pared celular y con ello también mayores irregularidades. Por tanto, la humedad idónea del procesamiento de la madera se sitúa en valores de alrededor del 9%.

En el esquema 4, se muestra la rugosidad superficial en  $\mu\text{m}$ , de 6 maderas, cuyas características de longitud de fibra y densidad son las siguientes (Wickremasinghe, 2006 y Bustamante 1970):



Esquema nº 3: Variación de la rugosidad superficial según la velocidad de corte



Esquema nº 4: Variación de la rugosidad superficial según el grano de la madera

o De las características de la madera, y dentro de esta:

- Del grano o tamaño de las células. El diámetro de los vasos, traqueidas y otros lúmenes celulares cortados durante el proceso de mecanizado origina profundidades acorde a su tamaño determinando la profundidad de las irregularidades.
- De la homogeneidad de la madera. Maderas irregulares como las coníferas, en donde la madera de otoño es claramente más dura que la primavera, provoca roturas por

Madera	Ébano	Haya	Chopo	Fresno	Roble	Pino silvestre
Homogeneidad	Elevada	Elevada	Elevada	Escasa	Escasa	Muy escasa
Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,1	0,73	0,38	0,69	0,77	0,50
Longitud de la fibra (mm)	0,38	0,53	0,5	0,91	0,57	3,6



Como ya se ha indicado, la calidad de superficie que proporciona la madera mecanizada con cuchillas es insuficiente para proporcionar acabados con la calidad requerida en la fabricación de muebles, incluso en carpintería, por lo que es necesario mejorarlo mediante el lijado. El lijado, como se describirá con posterioridad es una operación de corte a través de granos de lija, que arranca la superficie de la madera, provocando un arañazo en la madera. La superficie que deja el lijado, es una superficie, en donde los defectos provocados por las herramientas precedentes quedan eliminados, pero quedan las irregularidades de los arañazos, cuyo tamaño depende fundamentalmente del tamaño del grano de la lija.



Foto nº7: Superficie trabajada con lija (escala 1:1)

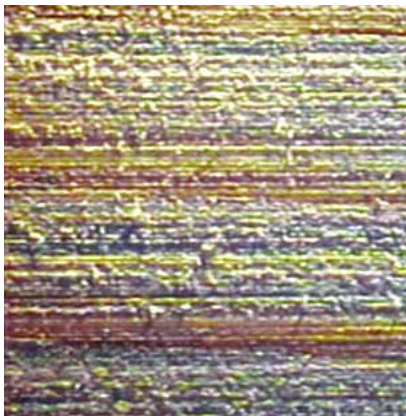


Foto nº8: Detalle de superficie de conífera trabajada con lija (aumento de lupa de 6,4, escala 1/2)

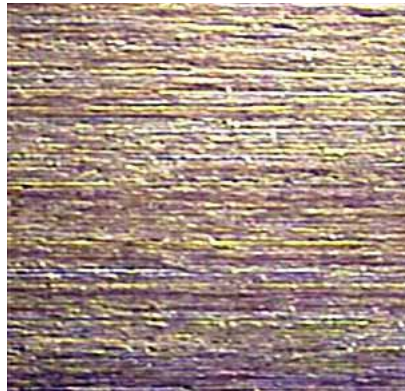


Foto nº9: Detalle de superficie de frondosa trabajada con lija (aumento de lupa de 6,4, escala 1/2)

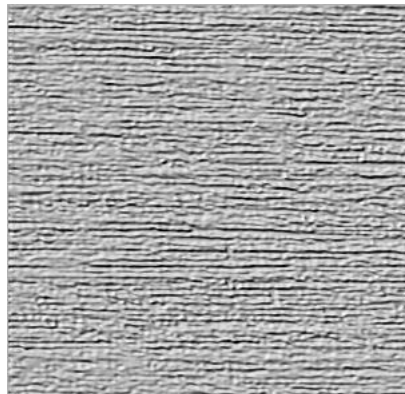


Foto nº10: Aspecto de la rugosidad superficial que produce la superficie trabajada con lija, en el detalle de la foto 9

## Evaluación de la rugosidad

La evaluación de la rugosidad de la superficie se realiza en muchos casos por inspección visual, aunque la percepción de cada operador, deja unos resultados un tanto aleatorios y en cualquier caso es poco científico. A mediados de los años 80 (Faust, 1987) empezaron a utilizarse perfilómetros mecánicos, con punta cada vez más fina y aunque sigue siendo el método científico más utilizado, es un método que posee bastantes limitaciones como son:

- poner en contacto, la punta con un radio no cero, y por tanto una escasa precisión,
- tener un recorrido lento
- interpretación de sus resultados, también muy lenta.



Foto nº11: Perfilómetro mecánicos de la rugosidad superficial (Mahr Metrology)

Roa, O.M.; 2011, evalúa la rugosidad de forma indirecta, pues correlaciona esta con el ruido emitido en la mecanización, es decir, que cuando una máquina produce más ruido del habitual, supone que produce super-

ficies más defectuosas.

En los últimos años se están desarrollando técnicas de medición sin contacto con el material, fundamentalmente métodos ópticos, desde perfilómetros ópticos (en su mayoría

basados en láser), microscopios, analizadores de imagen, espectrógrafos de formación de imágenes, interferómetros, transductores de fibra óptica, motas de luz blanca, de dispersión de láser, sistemas ópticos de seccionamiento de luz, etc. Algunas de las técnicas, por ejemplo, microscopios, sufren del hecho de que la velocidad de medición es bastante lento y por lo tanto no son adecuados para mediciones en proceso [S. Lee, et al 2002]. Además, el costo es prohibitivo a pesar de la gran precisión y ultra-fino de la resolución de estas sondas. Analizadores de imagen, etc son espectrógrafos enfoque muy costoso y sólo es adecuado para ciertas tareas y entornos de medición.

Los interferómetros ofrecen una excelente precisión, sino que requieren un arreglo complejo de componentes ópticos así como el control complicado y algoritmos de procesamiento de imágenes [Zhang and Cai, 1997]. El alto costo del hardware asociado también es un problema en este caso. En el caso de la luz óptica de corte, así como la luz blanca método speckle, alineación óptica muy precisa es una necesidad absoluta [Jackson, 2007]. Esto limita la flexibilidad global y la robustez del sistema.

Otro método común usado para la precisión de medición de superficie es el transductor de fibra óptica [Persson, 1999]. Mediciones muy finas se pueden llevar a cabo usando este método con una alta resolución. Los inconvenientes parecen ser el uso de hardware complejo, así como algoritmos de procesamiento de señal complicados. La fibra es muy delicada en la naturaleza y por lo tanto debe ser protegido con mucho cuidado en la configuración de la experimentación.

Una alternativa a los métodos sin contacto mencionados son los sensores ópticos DVD [Chu, et al, 2004; Fan, et al 2000; 2001 y 2003; Zhang

et al 2003 y 1997 y N. Islam et al 2011)); con los que se obtiene una alta resolución, pero que utilizan o requieren hardware complejo, procesamiento de imagen / señal de alta capacidad, y la disposición complicada que conduce a alto costo y baja flexibilidad.

Los trabajos previos realizados por el equipo mediante técnicas de moteado láser y su posterior procesado y análisis (M. Rojas et al, 2008), parece que proporcionan una elevada información, rápida, barata, flexible y fácil de usar que permitirían su aplicación industrial, pudiendo automatizar la aplicación óptima de productos de acabado sobre la superficie de la madera.

## Otros defectos de mecanización

- **Repelo o fibra encontrada:** Este defecto se caracteriza por presentar una superficie donde astillas pequeñas de madera se han roto o desgarrado. Ocurre cuando la cuchilla está cortando en contra de la dirección de la fibra de la madera. En el esquema 5 se representa el corte en dirección del hilo y en contra del hilo. Como puede apreciarse, cuando se corta en dirección contraria al hilo, la madera tiende a fisurarse, produciendo un defecto denominado repelo, que ocasiona muchas dificultades al realizar el acabado de la madera.

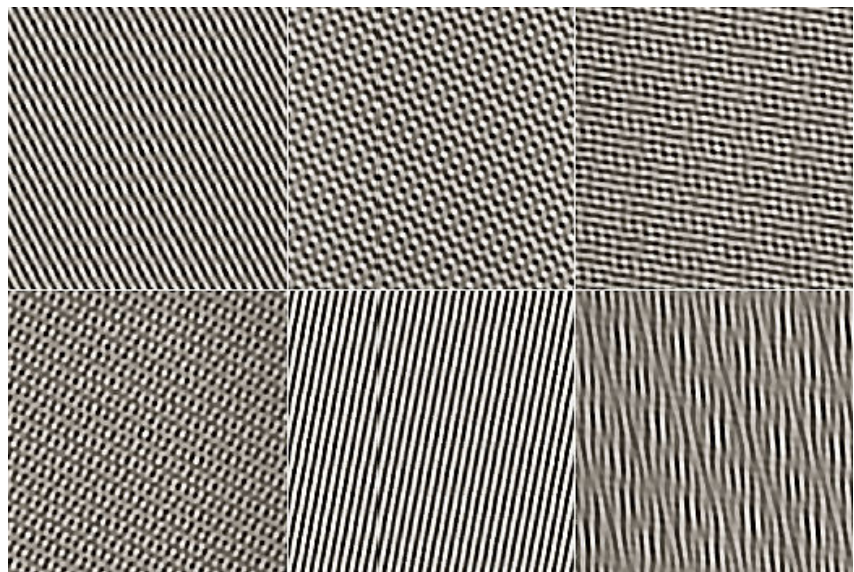
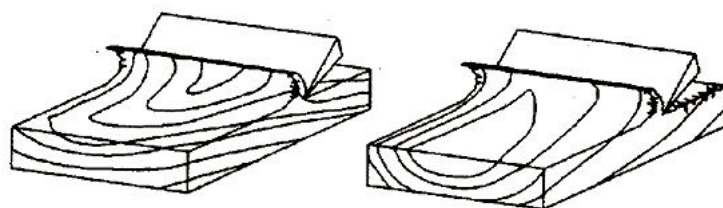


Foto 12: Seis imágenes del moteado láser de una muestra en diferentes zonas, después de seis iteraciones de auto correlación (Rojas, 2008).



Esquema nº5: Corte a favor y en contra del hilo mediante cuchilla. Vignote (2006)





Foto nº13: Repelo en madera de haya debido al nudo (escala 1:1)



Foto nº14: Detalle del repelo en madera de haya aumentado (lupa 6,3, escala 1/2)



Foto nº15: Repelo en madera con la fibra entrelazada (escala 1:2)



Foto nº16: Detalle de repelo en madera con la fibra entrelazada (escala 1:112,8)



Foto nº17: Fibra levantada (Pardo 2009)

- **Fibra levantada:** Las fibras levantadas se originan cuando la cuchilla empujan la madera densa de verano hacia las células de madera blanda de primavera. Generalmente las células más blandas se rompen al adquirir humedad después del maquinado y se expandirán para retomar su forma original, creando una superficie semejante a una tabla de lavado (Foto 17). Existen cuatro factores de maquinado que contribuyen a la generación de fibra levantada: el primer factor y de mayor importancia son las cuchillas desgastadas; insuficiente ángulo de incidencia y presión excesiva de los rodillos de alimentación, por último, un elevado contenido de humedad (20% o más aumentará el problema). Aguilera (2006) citado por Pardo 2009.

- **Quemaduras de herramientas:** Este defecto aparece como un área oscurecida quemada donde la made-

ra fue sobrecalentada, causada por una pausa en la alimentación de la pieza de madera, de manera que las cuchillas se frotan sobre la madera. Esto también puede ser causado por cuchillos desgastados que son forzados hacia la pieza. (Aguilera, 2006) citado por Pardo 2009.



Foto nº18: Aspecto de quemadura por herramienta (escala 1:2)

## Referencias y Bibliografía

- BING PAN, KEMAO QIAN, HUIMIN XIE AND ANAND ASUNDI; 2009 Twodimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. *Measurement Science and Technology* 20 (2009) 062001 (17pp)
- BUSTAMANTE E.; SERFATY, S.; 1970 Atlas de fibras para pasta de celulosa. IFIE, Madrid.
- BUCUR, V. 1995. "Wood acoustic characterization by ultrasound". *Proceedings of IEEE Ultrasonic Symposium*, pp. 615-623.
- CANALS, G.; 2010. Análisis comparado y evaluación de la cantidad de carbono secuestrado por el sector de los tableros en España bajo el marco contextual del protocolo de Kioto. Tesis doctoral. Universidad de Vigo.
- C.-L. CHU, K.-C. FAN, Y.-J. CHEN, 2004 A compensation method for the hysteresis error of DVD VCM, *Measurement Science & Technology* 15; (4) (2004) 734-740.
- FAN, K.C.; LIN, C.Y.; SHYU, L.H.; 2000 Development of a low-cost focusing probe for profile measurement, *Measurement Science & Technology* 11 (1) (2000) 1-7.
- FAN, K.C.; CHU, C.L.; MOU, J.L.; 2001 Development of a low-cost autofocusing probe for profile measurement, *Measurement Science & Technology* 12 (12) (2001) 2137-2146.
- FAN, K.C.; CHU, C.L.; LIAO, J.L.; MOU, J.L.;

2003 Development of a high precision straightness measuring system with DVD pick-up head, *Measurement Science & Technology* 14 (1) (2003) 47–54.

FAUST, 1987 Real time measurement of veneer roughness by image analysis. *Forest Prod. J.*, 37 (6) (1987), pp 34–40

FOREST PRODUCT LABORATORY; 1.999 “Wood handbook: Wood as an engineering material” Madison; US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, 463 p.

IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2 (3) (1997), pp. 213–216

N. ISLAM, N.; PARKIN, R.M.; JACKSON, M.R.; KESY, Z.; 2011 Development of a novel profile measurement system for actively planed surfaces. *Measurement* Volume 44, Issue 2, Pages 466–477.

JACKSON, M.; YANG, D.; PARKIN, R.; 2007 Analysis of wood surface waviness with a two-image photometric stereo method *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 221 (8) (2007), pp. 1091–1099

LEE, S.; MIYOSHI, T.; TAKAYA, Y.; TAKAHASHI, S.; 2002 Non-contact 3d edge profile measurement for die and mould model surface. *Journal of Materials Processing Technology*, 127 (2) (2002), pp. 286–291

LINDGREN, L.O., 1991. “Medical CAT-scanning: x-ray absorption coefficients, CT numbers and their relation to wood density”. *Wood Science. Technology*, 25, 341–349.

MAGOSS, E.; 2008 General Regularities of Wood Surface Roughness *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 4 (2008) 81–93

PARDO, EDER JOSUE 2009 Determinación de la calidad superficial del cepillado de *Pinus radiata* D. Don. Tesis doctoral Universidad austral de Chile <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/fifp226d/doc/fifp226d.pdf>

U. PERSSON, 1999 Fibre-optic surface-roughness sensor. *Journal of Materials Processing Technology*, 95 (1–3) (1999), pp. 107–111

M ROJAS, ; ALPUENTE, J; ESTEFANIA BOLIVAR, E.; LOPEZ-ESPI, P;

VIGNOTE, S.; MARTINEZ ROJAS, I. 2008 Empirical Characterization of Wood Surfaces By Means Of Iterative Autocorrelation Of Laser Speckle Patterns. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications (JEMWA) PIER 80*; 295–306

ROA, O.M.; 2011 Estudio experimental

de la relación entre la emisión sonora y la calidad superficial debido al corte en la madera. Tesis doctoral Universidad austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcir628e/doc/bmfcir628e.pdf>

ROSS, R. J. 2010. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material 2010*. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, USA

SANDAK, J; TANAKA, C.; 2003 Evaluation of surface smoothness by laser displacement sensor 1: effect of wood species *J Wood Sci* (2003) 49:305–311 The Japan Wood Research Society 2003 DOI 10.1007/s10086-002-0486-6

VENKATESH, M.S.; RAGHAVAN. G.S.V., 2005. “An overview of dielectric properties measuring techniques”. *Canadian Biosystems Engineering*, vol. 47, pp. 7.5–7.30.

VIGNOTE S.; 1.985 Tecnología para el aprovechamiento del pino insignis (*Pinus radiata* D. Don): Características físico-mecánicas Ed. AITIM, Madrid.

VIGNOTE, S.; MARTÍNEZ ROJAS, I. 2006. *Tecnología de la madera*. 3ªed. Madrid, Mundi-Prensa. 537 p

WENGERT, GENE, 1998 *Rx for Wood Machining Defects - Woodweb* [http://www.woodweb.com/knowledge\\_base/Rx\\_for\\_Wood\\_Machining\\_Defects.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Rx_for_Wood_Machining_Defects.html)

WICKREMASINGHE, B. K. L.; HERAT TISSA R. 2006 A comparative wood anatomical study of the genus *Diospyros* L. (Ebenaceae) in Sri Lanka. *Cey. J. Sci. (Bio.Sci.)* 35 (2):115-136.

ZHANG, J. H.; CAI, L. 1997 Autofocusing measurement system with a piezoelectric transducer

D. ZHANG, C. CHANG, T. ONO, M. ESASHI, 2003 A piezo driven XY-microstage Sens. *Actuators A, Phys.*, vol. 108, no. 1, pp. 230-233 ▲

## Hersan, primer distribuidor de aserraderos Wood-Mizer para España

A pesar de la crisis, existe una parte en el sector maderero que ha permanecido relativamente estable en toda Europa durante los últimos años, y muchas empresas de dicho sector han visto cómo sus ingresos aumentaban o se mantenían estables. Ello se debe a su modelo de negocio exclusivo: la utilización de aserraderos de cinta estrecha para el tratamiento primario de la madera. Este tipo de empresas utilizan un aserradero para producir madera sin tratamiento para cubiertas, palés o para el suministro de productos específicos bajo contrato. Muchas de ellas también se dedican a cortar productos de madera a medida para abastecer la demanda local o bien para la fabricación de productos finales como muebles, suelos, armarios y otros.

Debido al lugar exclusivo que ocupan los aserraderos en su producción, estas empresas han visto cómo ello les permite diversificarse y abrirse a otras categorías de producto, reducir costes y aumentar la rentabilidad de su negocio.

Wood-Mizer Industries es probablemente el fabricante de aserraderos de cinta estrecha más reconocido del mundo. Tras su creación en Estados Unidos en 1982, la empresa ha ido aumentando su red de representantes en todo el mundo.

Sin embargo, hasta este año, no existía un representante oficial de los aserraderos Wood-Mizer en España. Esto significa que, hasta ahora, era necesario comprar los aserraderos a través de la sucursal de Wood-Mizer en Francia. En noviembre de 2013, Wood-Mizer anunció que la empresa Hersan, situada en la provincia de Albacete (a unas dos horas y media de Madrid), había comenzado a dis-






La LT10 es el más asequible y básica aserradero del catálogo de Wood-Mizer

tribuir sus aserraderos para el sector maderero español.

Hersan es representante de una amplia gama de máquinas para la transformación secundaria de maderas y, con las soluciones exclusivas de Wood-Mizer para el tratamiento primario de maderas a pequeña y media escala, puede ofrecer una gama completa de soluciones integrales.

Hersan, una empresa familiar dirigida por Javier y Enrique Hernández, opera desde hace más de 25 años, proporcionando productos de gran calidad para el mercado español de la madera y dando soporte a sus clientes a través de su servicio de asistencia técnica. Aunque la marca Wood-Mizer es una novedad en su catálogo, ya comercializaban sierras de cinta, por lo que están familiarizados con esta tecnología. “Somos un equipo trabajador que aspira a ofrecer lo mejor a sus clientes. Nos gusta lo que hacemos y pienso que somos la empresa más adecuada para introducir la marca Wood-Mizer en el sector maderero español, donde no se conocen muy bien estos productos.” 

[www.woodmizer.es](http://www.woodmizer.es) y [www.hersanocr.com](http://www.hersanocr.com).



El LT20 puede ser configurado en tres formas diferentes, según las necesidades del cliente



Hersan, dirigida por Javier y Enrique Hernández, es la representante española de la empresa Wood-Mizer



El aserradero móvil LT40 es el modelo que hizo global a la empresa, y es todavía el más vendido