

Estimación de la Presión Específica de Corte en Madera de Pinus Radiata

Jorge A. Lobos y Mario A. Guzmán

Universidad de La Frontera, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Departamento de Ingeniería Mecánica, Avda. Francisco Salazar 01145, Temuco-Chile. (e-mail: jalobos88@gmail.com; mario.guzman@ufrontera.cl)

Recibido Jul. 9, 2018; Aceptado Sep. 24, 2018; Versión final Dic. 4, 2018, Publicado Abr. 2019

Resumen

Se estudió el comportamiento de las fuerzas y pares de taladrado al mecanizar madera de Pinus Radiata utilizando dos diferentes brocas, para uso en madera y para uso en metal, destacando como variables de interés el contenido de humedad de las probetas de madera y la orientación de la fibra del Pinus Radiata. Para la toma de datos se utilizó una plataforma dinamométrica que posee sensores piezoeléctricos de fuerza y par respectivamente. Para el análisis de los datos obtenidos por los sensores se utilizó el software LabVIEW, donde se modelaron las variables involucradas en los procesos de taladrado. Se estimó la presión específica de corte de las probetas para cada contenido de humedad y orientación de las fibras. En los resultados obtenidos se aprecia gráficamente el comportamiento de las distintas fibras al mecanizarlas con las distintas brocas donde la fibra de orientación tangencial presenta una resistencia mayor al corte, el cual se traduce en un aumento de la presión específica de corte en comparación a las otras orientaciones de la fibra

Palabras clave: madera de pinus radiata; presión específica de corte; taladrado; mecanizado en madera

Estimation of the Specific Cutting Pressure in Pinus Radiata Wood

Abstract

The behavior of the drilling force and torque when machining Pinus Radiata wood was studied, utilizing two different drills: one for wood and another for metal, highlighting as variables of great interest, the moisture content of the wood specimens and the granular orientation of the Pinus Radiata. Regarding data collection, a dynamic platform was used that has two piezoelectric force and torque sensors, respectively. For the analysis of the data obtained by the sensors, the LabVIEW software was used, where the variables involved in the drilling processes were modeled. The specific cutting pressure of the tests for each content of the safety and orientation of the fibers was estimated using the different types of cutting tools. Among the results, the behavior of the different fibers is specifically observed when machining them with the different drills, where the tangential orientation fiber has a greater resistance to the cut, which results in an increase of the specific cutting pressure in comparison with the other orientations of the fiber.

Keywords: pinus radiata wood; specific cutting pressure; drilling; machining wood

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de una mejor adaptación del uso de la madera conduce al estudio de nuevas técnicas de mecanizado. Una de ellas es el estudio de las fuerzas de corte en procesos de taladrado, esta técnica es la más utilizada en la elaboración de agujeros, ya que ofrece la mejor relación costo calidad. (Duck et al., 2009). Dentro de las materias primas más utilizadas en la industria Chilena destaca el Pinus Radiata, donde existen alrededor de 1.391.039 de hectáreas plantadas que corresponden al 57.6% del total de la superficie de plantaciones del país. (Infor., 2017).

Uno de los principales problemas de la industria en Chile es el desconocimiento de las condiciones adecuadas de mecanizado de las materias primas, en el caso de la madera, se trata de conocer bien sus características físicas como el contenido de humedad y densidad de la especie (Aguilera, Méausoone y Martin., 2000). En el área de la ingeniería mecánica es común estudiar el comportamiento de los materiales bajo condiciones de carga, esfuerzo entre otras. Los materiales más utilizados son los metales, estos materiales poseen una orientación granular homogénea en la mayoría de los caso (Diez., 2011) debido a esta razón no presentan mayor interés en cuanto a su orientación granular al momento de mecanizar. La madera tiene diferencias en comparación a los metales, en vez de poseer granos en su estructura, esta tiene fibras orientadas de forma lineal con cierto grado de aleatoriedad generando en algunos casos concentraciones fibrosas, además de variaciones de densidad y humedad a lo largo de su estructura, investigadores como (Méausoone et al., 2007) estudiaron como influye el ángulo del grano de la madera de Pinus Radiata al ser mecanizada. La combinación de dichos factores complica la estimación y cálculo de las fuerzas involucradas, por ende calcular la potencia de corte se torna una tarea no trivial, con respecto a la dirección del corte. En el mecanizado de maderas se pueden definir tres direcciones de la fibra, L (longitudinal), R (radial), y T (tangencial) (Ramos., 2003). En la figura 1, se aprecia los ejes de coordenadas definidos en el mecanizado de maderas.

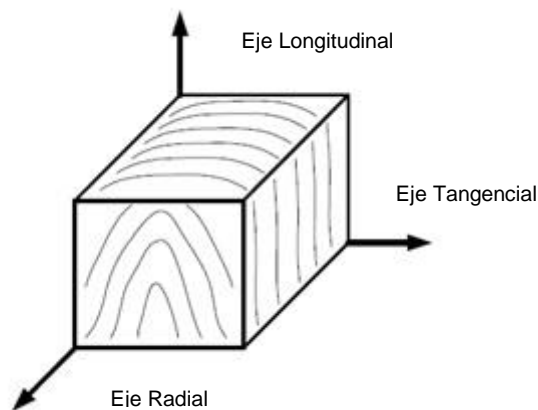


Fig. 1: Orientación de los ejes coordenados ortogonales longitudinales, radiales y tangenciales (Adaptada de Ramos, 2003)

En el área de la ingeniería existen muchas investigaciones sobre la presión específica de corte (Sandvik., 2008), (Gong et al., 2005), (Guzmán., 2010) y variaciones de la fuerza de corte en taladrado (Pirtini y Lazoglu, 2005), como también (Shaw y Oxford, 1957) donde una adecuada caracterización de dicha presión es indispensable para estimar de manera fiable las fuerzas de corte en cualquier proceso de arranque de viruta (Diez., 2011). La ecuación (1) permite calcular la fuerza de corte, la cual es proporcional a la sección de viruta no deformada y donde (K_C) es la presión específica de corte.

$$F_C = K_C * \left(a_p \frac{f_n}{2} \right) \quad (1)$$

En la industria de la madera existen investigaciones interesantes sobre el desgaste de las herramientas de corte y la variabilidad de la fuerza de corte (Aguilera et al., 2000) y (Muñoz., 2007). Las fuerzas de corte generadas en el proceso de mecanizado de madera varían dependiendo mayoritariamente de la orientación de la fibra y del grado de humedad como se puede ver en investigaciones de (Aknouche et al., 2009) y de (Eyma et al., 2004), motivo por el cual es de mucho interés poder estudiar, y estimar la presión específica de corte en un proceso de madera de Pinus Radiata un proceso de mecanizado determinado para las distintas sollicitaciones del mercado actual de la madera.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

El estudio del proceso de taladrado en maderas se realizó en un centro de mecanizado ubicado en un laboratorio del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de La Frontera. La toma de datos correspondientes al par y la fuerza involucradas en el proceso se captaron a través de una plataforma dinamométrica, estas variables físicas fueron transformadas en tensiones eléctricas de baja intensidad para luego ser procesadas en un software de adquisición de datos, donde fueron estudiadas según los requerimientos de la investigación. Dentro del equipamiento utilizado destaca lo siguiente, Centro de Mecanizado CNC, Mesa dinamométrica confeccionada con dos sensores piezoeléctricos, Tarjeta de adquisición de datos, Sistema de amplificación de dos canales, Computador, Software para el análisis y estudio de datos, Madera de Pinus Radiata con dos porcentajes de humedad, Juego de brocas para uso en madera y metales.

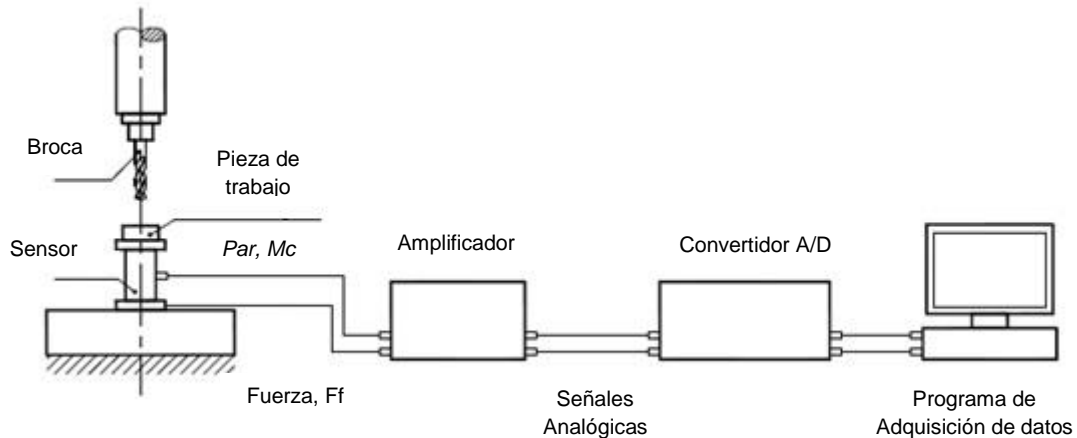


Fig. 2: Esquema del equipamiento experimental (Tomado, con autorización, de Guzman, 2014)

Para el estudio del proceso de taladrado, se realizaron varios pasos previos destacando la correcta estimación de condiciones de trabajo y adecuada configuración de los equipos físicos. Toda la operatoria relacionada con el taladrado se llevó a cabo en un centro de mecanizado CNC modelo Deckel-Maho DMC 1035v ec, donde se utilizó el husillo del equipo en forma vertical ascendente y descendente para todos los ensayos de taladrado. Las herramientas utilizadas fueron de dos tipos diferentes, broca para uso en madera y una broca para uso en metal, ambas fueron del mismo diámetro y número de filos.

El material utilizado para este estudio fue madera duramen de Pinus Radiata de edad juvenil, donde se acondicionaron probetas de forma cúbica de cuarenta milímetros por lado con dos contenidos de humedad diferentes pero conservando densidades similares. La forma física de las probetas permite una apreciación de las orientaciones de las fibras de la madera, pudiendo mecanizar en las fibras longitudinales, radiales y tangenciales.

El contenido de humedad es un factor significativo para el trabajo en maderas, por lo cual se dispusieron dos porcentajes de humedad para dichas probetas. En la literatura se puede encontrar que el porcentaje ideal para el maquinado de maderas debe ser menor al 12% C.H. (Pardo, 2009). Los contenidos de humedad medidos en las probetas fueron de un 11.8% y 13.1%, los cuales se obtuvieron a través de un xilohigrómetro

Las herramientas utilizadas en este estudio fueron de dos tipos diferentes, broca para uso en metales (HSS) con recubrimiento de zirconio con un ángulo (K_R) de 130 grados y una broca para uso en maderas (CrV) con un ángulo (K_R) de 140 grados, esta última con una punta de centrado (Center Point Drill Bit). Ambas herramientas poseen los mismos diámetros y longitudes. La diferencia más significativa es en la parte activa de la herramienta como se puede apreciar en la Figura 3 y Figura 4.



Fig. 3: Punta de la broca marca ALPEN para uso en maderas (Adaptada de ALPEN, 2015)



Fig. 4: Punta de la broca marca IZAR para uso en metales (Adaptada de IZAR, 2015)

Las condiciones de mecanizado fueron establecidas de acuerdo a la literatura acorde al taladrado y el maquinado de maderas, donde la programación del taladrado y estimación de los parámetros de corte fueron realizados con una serie de algoritmos matemáticos, luego los datos obtenidos se introducen en el panel de control del centro de mecanizado CNC. Para la estimación de los parámetros de corte se consideró la geometría de las brocas utilizadas, de acuerdo al diámetro de las herramientas se puede calcular el avance por filo y la velocidad de giro del husillo (Forn, 1976), (Guzmán y Caire, 2014).

$$f_z = 0.0159 * D^{1.0789} \quad (2)$$

$$n = 11245 * D^{-0.8353} \quad (3)$$

El cálculo de la velocidad de corte y velocidad de avance se realizó con los datos ya obtenidos del avance por filo y la velocidad de rotación de la herramienta. Destacando en la literatura (Gerling, 2002) y (Bartsch, 2003).

$$V_f = f_n * n \quad (4)$$

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (5)$$

Las condiciones de mecanizado fueron las mismas para ambas brocas, la herramienta para uso en metal y para uso en madera operaron bajo los mismos parámetros de corte. En la tabla 1 se muestran los parámetros de corte calculados para un mismo diámetro de herramientas.

Tabla 1: Parámetros de corte calculados para un mismo diámetro de herramientas

Parámetros	Diámetro (D)	Velocidad de corte (V _c)	Velocidad de avance (V _f)	Avance por revolución (f _n)	Velocidad de giro (n)
Para ambas herramientas	5	47 [m/min]	270 [mm/min]	0.090 [mm/rev]	3000 [RPM]

Los ensayos fueron realizados en su totalidad en el centro de mecanizado CNC, para obtener un estudio representativo del taladrado de las probetas se realizaron dos perforaciones con cada herramienta en cada una de las fibras longitudinales, radiales y tangenciales generando un total de doce operaciones por probeta de madera. Para poder realizar la toma de datos se utilizó una plataforma dinamométrica elaborada por el Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid, (Guzmán 2011). La cual dispone de forma conjunta dos sensores piezoeléctricos, un sensor de fuerza y otro de torque. En la Figura 5 se aprecia la disposición de los sensores dentro de la plataforma utilizada para los ensayos de taladrado.



Fig. 5: Plataforma dinamométrica utilizada en los ensayos

Los programas computacionales utilizados para la realización de todas las actividades necesarias en cuanto a la obtención de datos y estudio de las variables involucradas en un proceso de taladrado son los siguientes, LabView 2014, con este software se generó un programa para la adquisición y selección de datos, ManuWare V1.0.2, para la correcta configuración del sensor de fuerza y de torque. Microsoft Excel 2010, se utilizó para el manejo de los datos, generación de gráficas y almacenamiento de resultados obtenidos en el estudio. Para la correcta obtención de datos, es necesario utilizar el teorema de Nyquist-Shannon que aconseja que la frecuencia mínima de muestreo (f_s) debe ser al menos el doble de la frecuencia de la señal ($f_{m\acute{a}x}$). (Caire et al., 2014). Si se utiliza una frecuencia de muestreo menor a la recomendada se produce una distorsión de datos. En la ecuación (6) se aprecia la expresión que relaciona la frecuencia de muestreo con la frecuencia máxima.

$$f_s \geq 2 * f_{m\acute{a}x} \quad (6)$$

El software de obtención de datos fue configurado con una frecuencia de muestreo constante (f_s) de 500 muestras por segundo y un tiempo de muestreo de 4 segundos, generando una cantidad de 2000 muestras por ensayo. El trabajo con equipos computacionales, sensores piezoeléctricos, amplificadores de señales entre otros. Generan aspectos indeseables en la obtención, selección y estudio de los datos, destacando mayormente en este estudio el ruido generado en las señales eléctricas, para poder estudiar de mejor manera se utilizó un filtro de paso bajo de 5 Hz en la obtención de datos, cabe destacar que el filtro seleccionado no debe alterar en demasía la reproducción del proceso que se desea reproducir (Gyorki, 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Figura 6 se compara la fuerza de avance en un proceso de taladrado en madera de Pinus Radiata a un 11.8% de contenido de humedad en su fibra longitudinal, donde existe un claro aumento de la fuerza al utilizar una broca para uso en maderas marca ALPEN. Existe una zona constante de trabajo de la herramienta, donde se calcula el valor de la fuerza de avance, para este caso la fuerza de avance correspondiente a la broca para uso en maderas es de 5.99 [N] y para la herramienta para uso en metal es de 1.98 [N]. En la figura 7 se muestra una comparación de las fuerzas al mecanizar una probeta de madera con 13.1% de contenido de humedad en la fibra longitudinal, donde se aprecia que el comportamiento de la fuerza es mucho más homogéneo en comparación a la madera con menor porcentaje de humedad. Los valores de las fuerzas obtenidas al perforar dichas probetas correspondió a 23.51 [N] para la broca ALPEN recomendada para uso en maderas y, 4.09 [N] para la broca IZAR recomendada para uso en metales.

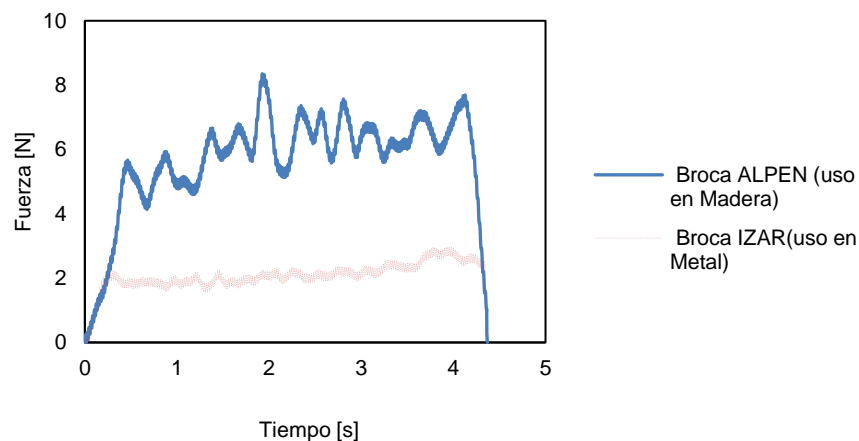


Fig. 6: Comparación de fuerzas en fibra longitudinal utilizando dos tipos de brocas a 11.8% de contenido de humedad

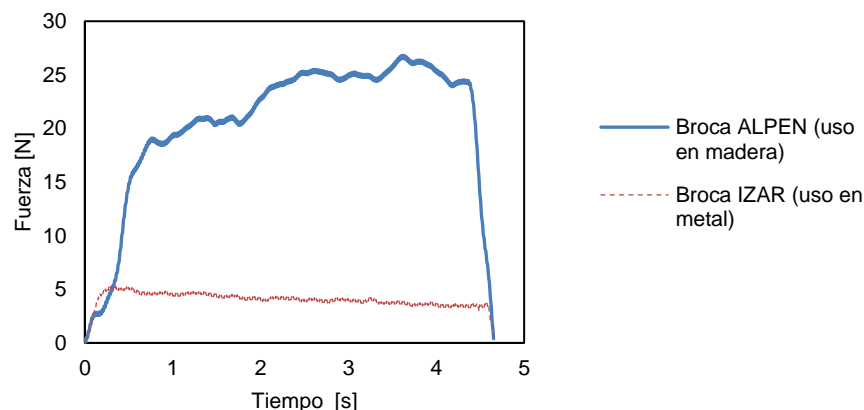


Fig. 7: Comparación de fuerzas en fibra longitudinal utilizando dos tipos de brocas a 13.1% de contenido de humedad

En la tabla 2 se muestran los valores de las fuerzas obtenidas cuando ambas brocas entraron en un régimen constante de trabajo, dicha condición fue igual para las tres orientaciones granulares y los dos porcentajes de humedad. Se puede apreciar que la fuerza de avance obtenida para cortar la madera es mayor al utilizar brocas para uso en madera.

Tabla 2: Fuerzas en régimen a distinta orientación de la fibra, humedad y herramientas

	<i>Fibra Longitudinal</i>		<i>Fibra Radial</i>		<i>Fibra Tangencial</i>	
Diámetro de 5 [mm]	Broca uso Madera	Broca uso Metal	Broca uso Madera	Broca uso Metal	Broca uso Madera	Broca uso Metal
11.8 % Contenido de Humedad	5.99 [N]	1.98 [N]	11.50 [N]	2.07 [N]	9.66 [N]	3.17 [N]
13.1 % Contenido de Humedad	23.51 [N]	4.09 [N]	10.48 [N]	3.26 [N]	13.39 [N]	2.72 [N]

Para poder estimar la presión específica de corte se analizó solo la parte activa del filo principal de ambas brocas es decir, se analiza cuando la herramienta entra en contacto con el material hasta que la fuerza de corte se empieza a mantener constante durante toda la operación de taladrado. En la figura 8 se puede apreciar la curva de la presión específica de corte para un proceso de taladrado en madera con un porcentaje de humedad de un 13.1% en su fibra longitudinal utilizando una broca para uso en metal marca IZAR de 5 [mm] de diámetro. Para poder calcular la presión específica de corte (K_s), se modelan las curvas con la expresión descrita en la ecuación (7). Donde (y) es la función de la presión específica de corte y (z) es la altura del filo de la herramienta. Luego se construye una curva corregida con la ecuación (7), la cual se puede apreciar en la figura 9.

$$y = 912,75 \cdot (z)^{-0,84} \tag{7}$$

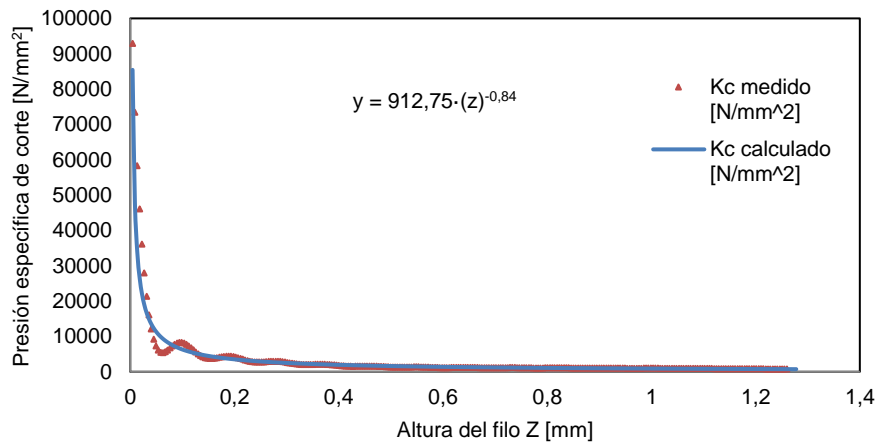


Fig. 8: Curva de la presión específica de corte de una madera a 13.1% CH en su fibra longitudinal

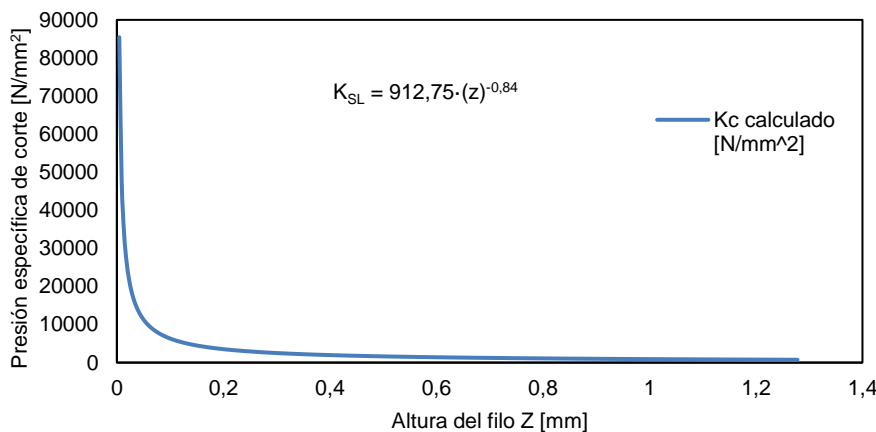


Fig. 9: Curva corregida de la presión específica de corte

Para poder corroborar el comportamiento de la ecuación (7), se modela la fuerza (F), donde esta debe ser el producto de la multiplicación de la presión específica de corte (K_s) por el área de corte (A_c), como se describe en la ecuación (8).

$$F_c = K_s * A_c \tag{8}$$

Como se muestra en la figura 10 se puede apreciar el comportamiento de la curva modelada con respecto a la obtenida en un proceso de taladrado. Se realizó el mismo procedimiento para obtener las expresiones de la presión específica de corte para los dos diferentes contenidos de humedad medidos en las probetas de madera y para las tres orientaciones fibrosas del Pinus Radiata.

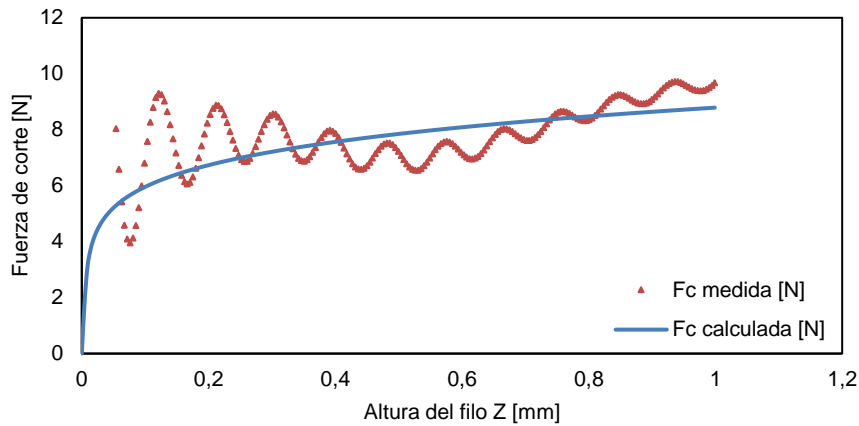


Fig. 10: Comparación de la Fuerza corregida con respecto a la obtenida en un proceso de taladrado

En la figura (11), figura (12) y figura (13), se modela el comportamiento de la presión específica de corte obtenida al taladrar la madera de Pinus Radiata con una broca de 5 [mm] de la marca ALPEN recomendada para el uso en maderas. Además se puede visualizar gráficamente como es el comportamiento de la energía involucrada en el corte cuando varía el porcentaje de humedad y la orientación granular de la madera.

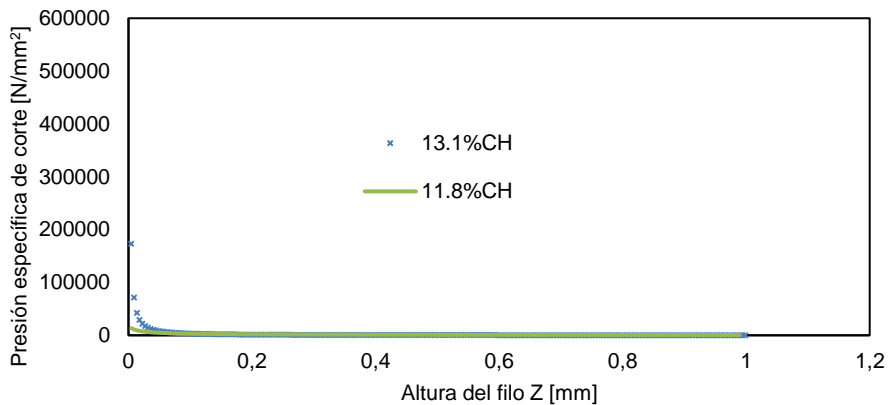


Fig. 11: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras longitudinales la broca ALPEN

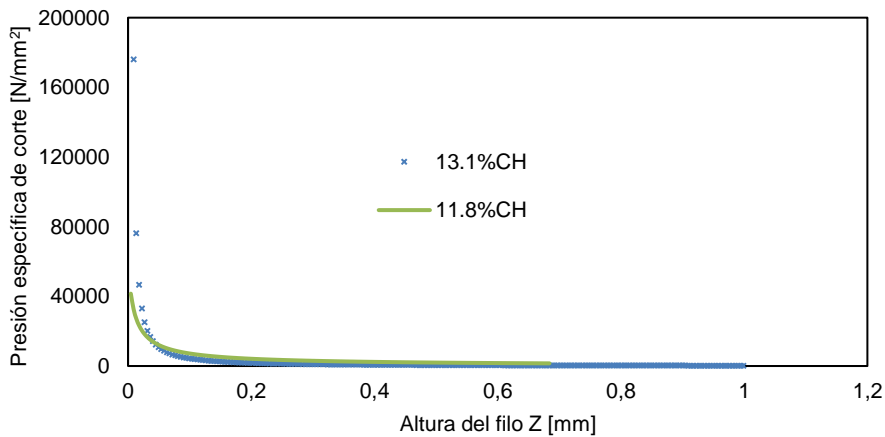


Fig. 12: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras radiales utilizando la broca ALPEN

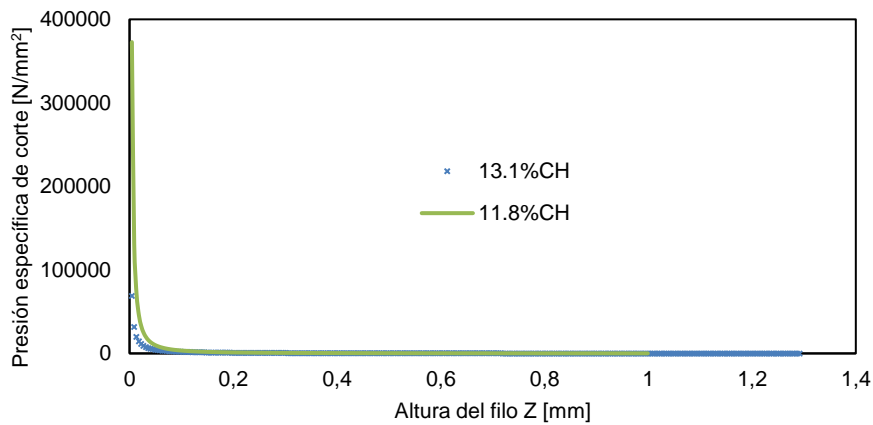


Fig. 13: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras tangenciales utilizando la broca ALPEN

También se realizó un estudio comparativo de la presión específica de corte utilizando la broca de 5 [mm] de la marca IZAR recomendada para uso en metales. En la figura (14), figura (15) y figura (16) se muestra el comportamiento de las curvas (K_s) a diferentes porcentajes de humedad y diferentes orientaciones fibrosas.

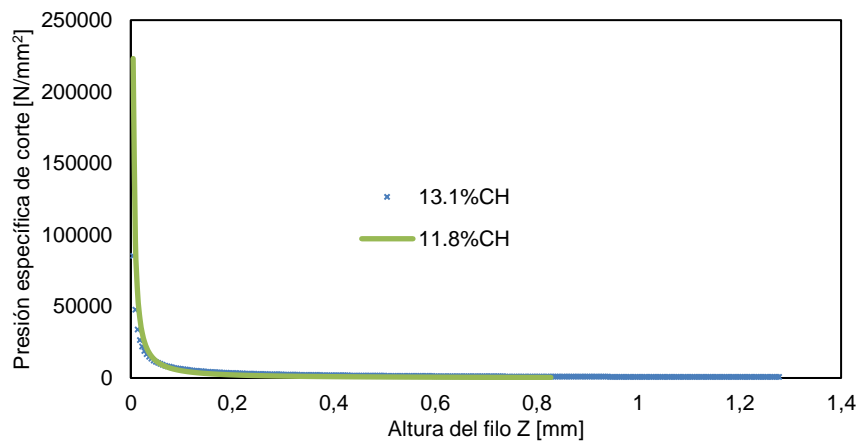


Fig. 14: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras longitudinales utilizando la broca IZAR

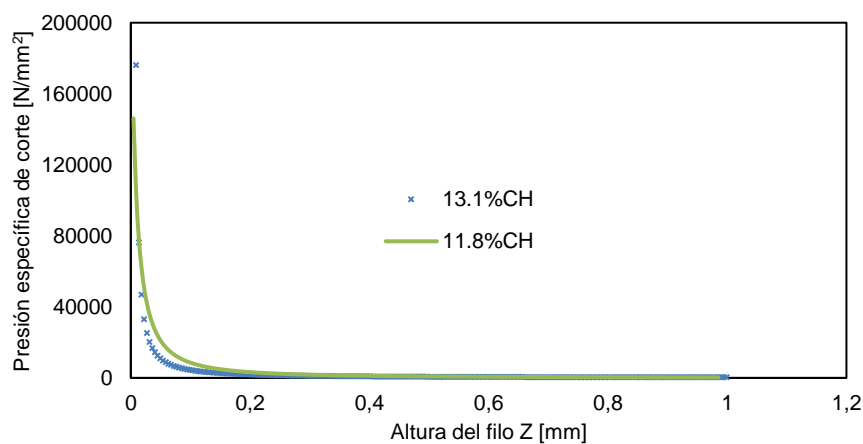


Fig. 15: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras radiales utilizando la broca IZAR

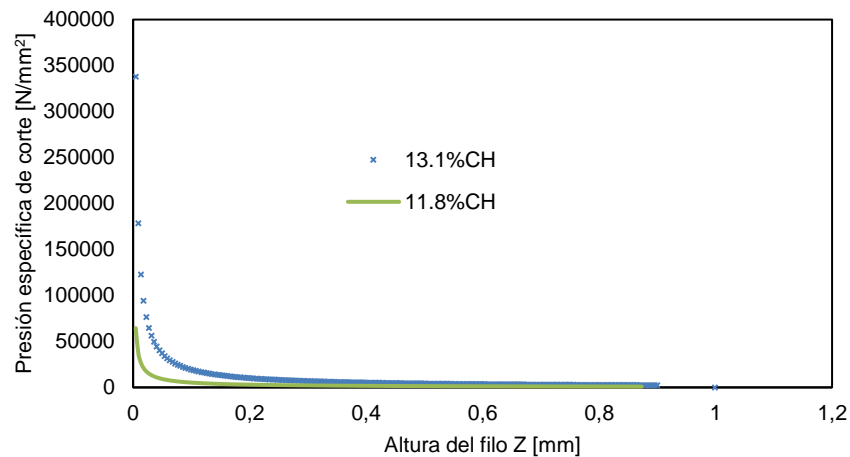


Fig. 16: Comparación de la presión específica de corte a distintos porcentajes de humedad en fibras tangenciales utilizando la broca IZAR

En la figura (17) y figura (18) se puede observar el comportamiento que tiene un material anisotrópico con respecto a su orientación granular sometido a las mismas condiciones de corte pero manteniendo el mismo contenido de humedad.

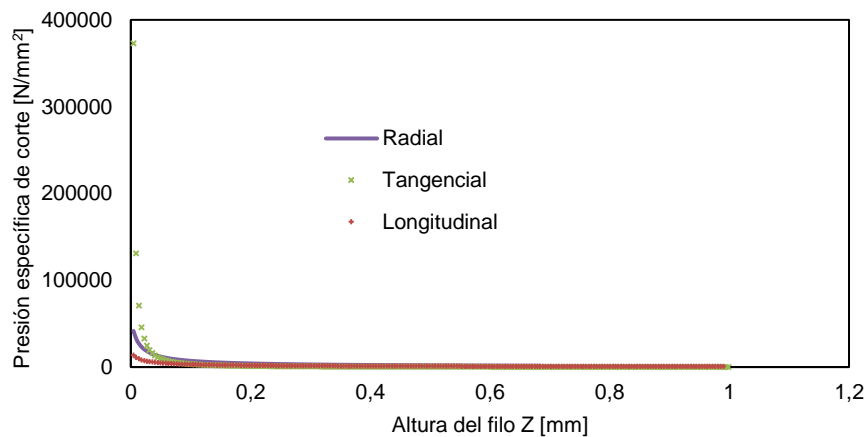


Fig. 17: Comportamiento del material taladrado en sus diferentes orientaciones fibrosas con un 11.8% C.H, utilizando la broca ALPEN

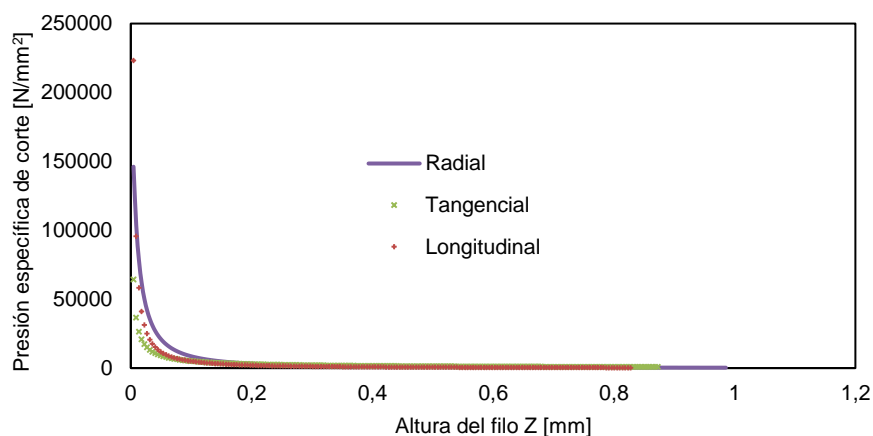


Fig. 18: Comportamiento del material taladrado en sus diferentes orientaciones fibrosas con un 11.8% C.H, utilizando la broca IZAR

Dentro de lo observado se puede hacer una relación entre el trabajo de corte con el espesor de viruta, donde a menor espesor de viruta el trabajo es mayor (Aguilera, 2011), de modo similar, para determinadas alturas del filo (Z) cuando el espesor de viruta es menor la presión específica de corte es mayor.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al taladrar las tres orientaciones de la fibra, donde se obtuvo una función de la presión específica de corte longitudinal (K_{SL}), presión específica de corte radial (K_{SR}) y presión específica de corte tangencial (K_{ST}) a distintos contenidos de humedad y con diferentes tipos de herramientas.

Tabla 3: Función de la presión específica de corte para todas las condiciones de corte estudiadas en cuanto al contenido de humedad y orientación de las fibras de la madera de Pinus Radiata.

<i>Presión Específica de corte (K_s) [N/mm^2]</i>				
	<i>Broca ALPEN para uso en madera</i>		<i>Broca IZAR para uso en metal</i>	
Orientación	11.8 % de contenido de humedad	13.1 % de contenido de humedad	11.8 % de contenido de humedad	13.1 % de contenido de humedad
Longitudinal	$K_{SL} = 640.6 * (z)^{-0.71}$	$K_{SL} = 171.6 * (z)^{-1.28}$	$K_{SL} = 305.9 * (z)^{-1.22}$	$K_{SL} = 912.75 * (z)^{-0.84}$
Radial	$K_{SR} = 1117 * (z)^{-0.84}$	$K_{SR} = 258.96 * (z)^{-1.207}$	$K_{SR} = 300.5 * (z)^{-1.54}$	$K_{SR} = 643.37 * (z)^{-0.862}$
Tangencial	$K_{ST} = 106.6 * (z)^{-1.51}$	$K_{ST} = 162 * (z)^{-1.12}$	$K_{ST} = 810.2 * (z)^{-0.81}$	$K_{ST} = 2107 * (z)^{-0.94}$

CONCLUSIONES

Al comparar las distintas humedades y herramientas con respecto a la orientación de las fibras de las probetas de madera, se observa experimentalmente que las fibras longitudinales y radiales donde se está mecanizando poseen un comportamiento similar, es decir a una humedad de 11.8% la energía necesaria para cortar el material es mayor en estas fibras en comparación a la orientación tangencial utilizando la broca IZAR.

Las fibras de madera de Pinus Radiata orientadas de forma Tangencial poseen un comportamiento diferente con respecto a las fibras Longitudinales y Radiales, la probeta con mayor contenido de humedad presentó un esfuerzo de corte mayor en comparación a las probetas de madera con menos porcentaje de humedad, dicho fenómeno fue válido solo para la herramienta IZAR

Una determinada orientación de las fibras de las probetas de madera pueden generar presiones específicas de corte con valores de hasta treinta veces unas con respecto a las otras, destacando la fibra radial donde esta orientación de la fibra fue mayor en todos los ensayos, este factor es válido para los diferentes contenidos de humedades estudiados y herramientas utilizadas, lo que se traduce en un aumento significativo en la energía necesaria para realizar el maquinado.

AGRADECIMIENTOS

Se desea agradecer al programa de Postgrado Departamento de Magister en Ciencias de la Ingeniería mención Ingeniería Mecánica y al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de La Frontera, por facilitar todos los equipos e insumos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

REFERENCIAS

- Aguilera, A., Energía de corte y rugosidad de la superficie en medio de la densidad fiberboardrip asierra, doi: 10.1007/s00107-009-0396-z, Springer-Verlag, 69, 11-18 (2011)
- Aguilera, A., P. Meausoone y P. Martin, Optimización de las condiciones de corte en el maquinado de madera, Estimación del desgaste del elemento de corte en fresado, Bosque, 21(2), 127-135 (2000)
- Aguilera, A., M. Vega y P. Méausoone, Effects of grain angle on the amplitudes of acoustic emission and surface roughness in Wood machining, DOI:10.7007/s00226-006-0117-2, Wood SciTechnol, 41, 373-381 (2007)
- Aguilera, A. y H. Muñoz, Rugosidad Superficial y potencia de Corte en el Cepillado de Acacia Melanoxylon y Seguioia Sempervirens, Maderas: Ciencia y tecnología 13(1), 19-28 (2011)
- Aknouche, H., A. Outahyon, C. Nouveau, R. Marchal, A. Zerizer y J. Butaud, Tool wear effect on cutting forces: In routing process of Aleppo pine Wood, Elsevier, 209, 2918-2922 (2009)
- Bartsch, W., Herramientas Máquinas Trabajo, Editorial Reverté, S.A., Barcelona (2003)
- Diez, E., Control de las Fuerzas de Fresado Mediante Actuadores Piezoeléctricos, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería y Fabricación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España (2011)
- Duck, W., S. Young, S. Mind, M. Park y N. Chong, Tool life improvement by peck drilling and thrust force monitoring during deep-micro hole drilling of Steel, Elsevier, 49, 246-255 (2009)

- Eyma, F., P. Méausoone y P. Martin, Strains and cutting forces involved in the solid Wood rotating cutting process, Elsevier, 148, 220-225 (2004)
- Forn, R., Herramientas de corte: Condiciones de empleo, Ediciones Ceac., 2ª Ed., Barcelona (1967)
- Gerling, H., Alrededor de las máquinas-herramienta, 3ª Ed., Editorial Reverté S.A., Barcelona (2002)
- Gong, Y., C. Lin y K. Ehmman, Dynamics of initial Penetration in Drilling: Part 1-Mechanistic Model for Dynamic Forces, Doi:10.1115/1.1852569, ASME, 127(2), 280-288 (2005)
- Guzmán, M., Análisis del proceso de taladrado considerando nuevas geometrías de herramientas, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España (2011)
- Guzmán, M. y F. Caire, Estudio de las fuerzas de avance en un proceso de taladrado utilizando brocas con geometría mejorada, doi: 10.4067/S0718-07642014000100003, Información Tecnológica, 25(1), 15-22 (2014)
- Gyorki, J.R., Signal Conditioning & PC-Based Data Acquisition, Iotech, Inc., USA. (2004)
- INFOR, El sector forestal Chileno (2017)
- Muñoz, P., Calidad superficial de molduras de Pinus Radiata D. Don y su relación con las condiciones óptimas para el maquinado, Tesis de Titulación, Universidad Austral, Valdivia, Chile (2007)
- Pardo, E., Determinación de la calidad superficial del cepillado de Pinus radiata D. Don. Tesis de Titulación, Universidad Austral, Valdivia, Chile (2009)
- Pirtini, M. e I. Lazoglu, Forces and Quality in Drilling, International Journal of Machine Tools & Manufacture, (45), 1271-1281 (2005)
- Ramos, M., Procesos de Corte, Apuntes del Curso, Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile (2003)
- Sandvik., Guía técnica de mecanizado (2008)
- Shaw, M. y C. Oxford, On the Drilling of Metals 2- The Torque and Thrust in Drilling, Transactions of the ASME, (79), 139-148 (1957)

