

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Estimación del desgaste de cuchillas
en el cepillado de madera de Congona
(*Brosimum alicastrum Sw.*) mediante el
consumo de energía y la rugosidad
superficial**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Nicolás José Cedrón Flores

Lima – Perú
2009

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. NICOLÁS JOSÉ CEDRÓN FLORES, intitulado “ESTIMACIÓN DEL DESGASTE DE CUCHILLAS EN EL CEPILLADO DE MADERA DE CONGONA (*BROSIMUM ALICASTRUM* SW.) MEDIANTE EL CONSUMO DE ENERGÍA Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 20 de Julio de 2009

.....
Ing. Florencio Trujillo Cuellar
Presidente

.....
Ing. Julio Canchucaya Rojas
Miembro

.....
Ing. Moisés Acevedo Mallque
Miembro

.....
Ing. Miguel Meléndez Cárdenas
Patrocinador

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa el consumo de energía, la rugosidad superficial y el desgaste de cuchillas durante el cepillado de la madera de Congona *Brosimum alicastrum Sw.* en sus tres planos de corte, bajo condiciones normales de trabajo. Asimismo se estima el desgaste de cuchillas a partir del consumo de energía y de la rugosidad superficial generados en la operación aludida.

Mediante registros de intensidad de corriente eléctrica neta y de rugosidad superficial para 3000 metros cepillados de Congona y 300 metros cepillados de Mashonaste *Clarisia racemosa R. y P.* así como estimaciones del desgaste del filo a partir de microfotografías se establecen regresiones lineales y cuadráticas de consumo de energía y de rugosidad superficial en función de la longitud cepillada. Asimismo se analiza la influencia del plano de corte y de la longitud cepillada sobre la intensidad de corriente eléctrica y la rugosidad superficial. También se compara el desgaste del filo obtenido para la Congona con el del Mashonaste.

Se encontró que la madera de Congona proveniente de selva central (La Merced) en contraste con la madera de Mashonaste, no permite estimar el desgaste del filo de la cuchilla mediante el consumo de energía y la rugosidad superficial en el cepillado por los tres planos de corte. Asimismo, la limitación para estimar el desgaste de las cuchillas en el cepillado de la madera de Congona, a partir del consumo de energía y la rugosidad superficial, responde a su escasa abrasividad atribuida al bajo contenido de sílice y dureza lateral media.

Se determinó que en la madera de Congona estudiada tanto el plano de corte como la longitud cepillada influyen sobre la intensidad de corriente eléctrica mas no sobre la rugosidad superficial y que sus tres planos de corte generan intensidades de corriente eléctrica diferentes y rugosidades superficiales similares.

Finalmente la madera de Mashonaste estudiada indica que podría estimarse el desgaste del filo de la cuchilla en función del consumo de energía.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE ESTUDIADA	2
2.1.1 IDENTIFICACIÓN	2
2.1.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	2
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA	2
2.2 CONSIDERACIONES SOBRE CEPILLADO DE LA MADERA	4
2.2.1 GENERALIDADES	4
2.2.2 ABRASIVIDAD Y DUREZA	6
2.2.3 DESGASTE DEL FILO	6
2.2.4 CONSUMO DE ENERGÍA	9
2.2.5 RUGOSIDAD SUPERFICIAL	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	13
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	13
3.2.1 MATERIALES	13
3.2.2 EQUIPO	14
3.3 METODOS Y PROCEDIMIENTOS	15
3.3.1 SELECCIÓN DE TABLONES	15
3.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA	16
3.3.3 SECADO DE LA MADERA	16
3.3.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	16
3.3.5 CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS	16
3.3.6 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	17
3.3.7 ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO COMPLEMENTARIO	20
3.3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 DESGASTE DE CUCHILLAS	23
4.2 CONSUMO DE ENERGÍA	29
4.2.1 REGRESIONES LINEALES Y CUADRÁTICAS DE CONSUMO DE ENERGÍA	32
4.2.2 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA	37
4.3 RUGOSIDAD SUPERFICIAL	42
4.3.1 REGRESIONES LINEALES Y CUADRÁTICAS DE RUGOSIDAD	43
4.3.2 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL	48
5. CONCLUSIONES	50
6. RECOMENDACIONES	51
ANEXO 1	55
CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA DE CONGONA	55

ANEXO 2	56
CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA DE MASHONASTE	56
ANEXO 3	57
FACTOR DE CONVERSIÓN DE LAS LECTURAS DE LA REGLILLA MICROMÉTRICA A MICRAS SEGÚN EL NÚMERO DE AUMENTOS UTILIZADO	57
ANEXO 4	58
RESULTADOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y RUGOSIDAD SUPERFICIAL	58
ANEXO 5	60
RESULTADOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE Y RUGOSIDAD POR TRAMO CEPILLADO CON CONGONA Y MASHONASTE CON CONGONA.....	60
ANEXO 6	61
FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	61
ANEXO 7	62
FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE TENSIÓN ELÉCTRICA.....	62
ANEXO 8	63
FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL	63
ANEXO 9	64
FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE DESGASTE DEL FILO DE CUCHILLA.....	64
ANEXO 10	65
EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA DE LOS ENSAYOS DE DESGASTE DEL FILO REALIZADOS CON LAS MADERAS DE CONGONA Y MASHONASTE.....	65
ANEXO 11	74
ANVA DE REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE PARA MASHONASTE DE SECCIÓN OBLICUA	74
ANEXO 12	75
ANVA DE LAS REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE RUGOSIDAD MEDIA PARA LA MADERA DE CONGONA	75
ANEXO 13	76
ANVA DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LA MADERA DE CONGONA.....	76
ANEXO 14	77
ANVA DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LA MADERA DE MASHONASTE.....	77
ANEXO 15	78
ANVA DE LAS REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA MADERA DE CONGONA.....	78
ANEXO 16	79
COEFICIENTES DE CORRELACIONES ENTRE DOS VARIABLES AL NIVEL 0,05	79

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE CONGONA Y DE MASHONASTE PROCEDENTES DE PUCALLPA.....	3
CUADRO 2 DESGASTE RELATIVO DEL FILO (μM) POR PLANO DE CORTE EN EL CEPILLADO DE CONGONA.....	24
CUADRO 3 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA INHERENTES AL DESGASTE DEL FILO PARA DOS ESPECIES FORESTALES.....	28
CUADRO 4 TASA PROMEDIO DE INCREMENTO DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA (%).....	31
CUADRO 5 COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN (%) DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE.....	33
CUADRO 6 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CEPILLADO DE CONGONA DE 1 A 1500 M.....	37
CUADRO 7 PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA DE 1 A 1500 M CON MADERA DE CONGONA.....	38
CUADRO 8 PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA DE 1 A 1500 M CON MADERA DE CONGONA.....	39
CUADRO 9 VARIABILIDAD DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA (A) CON LA MADERA DE DOS ESPECIES FORESTALES.....	40
CUADRO 10 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ENTRE PROBETAS CON DEFECTO DE ENCORVADURA Y LIBRES DEL MISMO.....	41
CUADRO 11 VARIABILIDAD DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL CEPILLADO DE CONGONA POR PLANO DE CORTE.....	43
CUADRO 12 COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN (%) DE REGRESIONES SIGNIFICATIVAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN CONGONA.....	44
CUADRO 13 ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA EN EL CEPILLADO DE LA MADERA DE CONGONA DE 1 A 1500 M.....	48

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	DIVISIÓN DE LA CUCHILLA PARA LOS TRES PLANOS DE CORTE Y SUS PATRONES RESPECTIVOS.17
FIGURA 2	DIVISIÓN DE LA CUCHILLA PARA LOS TRES PLANOS DE CORTE Y SUS PATRONES RESPECTIVOS.19
FIGURA 3	COMPARACIÓN DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA PRODUCIDA POR EL CEPILLADO DE MADERA DE CONGONA SEGÚN EL PLANO DE CORTE.....30
FIGURA 4	LÍNEA DE REGRESIÓN LINEAL CALCULADA A PARTIR DE DATOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA CON LA MADERA DE MASHONASTE DE SECCIÓN OBLICUA.36
FIGURA 5	LÍNEA DE REGRESIÓN LINEAL CALCULADA A PARTIR DE DATOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA CON LA MADERA DE CONGONA DE SECCIÓN OBLICUA.36
FIGURA 6	INTERACCIÓN ENTRE PLANO DE CORTE Y LONGITUD CEPILLADA SOBRE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA.39
FIGURA 7	COMPARACIÓN DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA CONSUMIDA POR LAS MADERAS DE CONGONA Y MASHONASTE.41
FIGURA 8	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA RUGOSIDAD MEDIA (RA) CON LA LONGITUD CEPILLADA EN LA MADERA DE CONGONA DE SECCIÓN TANGENCIAL PARA EL TRAMO DE 1 A 1500 M.47
FIGURA 9	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA RUGOSIDAD MEDIA (RA) CON LA LONGITUD CEPILLADA EN LA MADERA DE CONGONA DE SECCIÓN RADIAL PARA EL TRAMO DE 1 A 1500 M.47
FIGURA 10	INTERACCIÓN DEL PLANO DE CORTE CON LA LONGITUD CEPILLADA SOBRE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL.49

1. INTRODUCCIÓN

El incremento mundial de las exportaciones de muebles y productos elaborados con madera ha permitido el ingreso de la Congona *Brosimum alicastrum Sw.* a mercados de Europa, Norteamérica y Asia. En la actualidad la Congona ocupa el 10mo lugar en cuanto a volumen de madera aserrada, representando entre 2 y 3% de la producción nacional.

A pesar que todo este panorama es muy favorable, las ventajas actuales tan sólo son oportunidades temporales y si no se toman las medidas necesarias no se podrá competir frente a los principales productores de maderas tropicales procesadas.

Por ello es conveniente realizar investigaciones dirigidas a obtener productos más competitivos a través de procesos eficientes y económicos, que reduzcan significativamente los costos de producción y los plazos de entrega y así mismo generen productos de mejor calidad.

La Congona es una especie forestal de la Amazonía que se caracteriza por su abrasividad a causa de su contenido silicoso, el cual genera un gran desgaste de los elementos de corte al momento de procesarla.

El cepillado es una de las operaciones más importantes del maquinado de la madera y en ese sentido la presente investigación pretende estimar el desgaste de las cuchillas en el cepillado de la Congona a partir de su consumo de energía y rugosidad superficial, estableciendo para ello relaciones entre las variables estudiadas que permitan sentar las bases para el cambio o afilado oportuno de cuchillas.

El presente trabajo tiene por objetivos: evaluar el consumo de energía, la rugosidad superficial y el desgaste de cuchillas durante el cepillado de la madera de Congona en sus tres planos de corte, bajo condiciones normales de trabajo; así como estimar el desgaste de cuchillas a partir del consumo de energía y de la rugosidad superficial generados en la operación aludida.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE ESTUDIADA

2.1.1 IDENTIFICACIÓN

Según la Cámara Nacional Forestal (1999) actualmente la Manchinga en el Perú se comercializa con el nombre de “Congona”. El Missouri Botanical Garden (2003) reporta que existen 17 sinonimias. A continuación se listan algunas: *Brosimum alicastrum* Swartz; *Brosimum bernadetteae* Woodson; *Brosimum bolivarense* (Pittier) Romero; *Brosimum columbianum* S.F. Blake; *Brosimum konzattii* Standl.; *Brosimum gentlei* Lundell; *Brosimum latifolium* Standley; *Brosimum terrabanum* Pittier; *Brosimum uleanum* Mildbraed.

2.1.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La Cámara Nacional Forestal (1999) señala que la Congona habita en las formaciones ecológicas del bosque tropical húmedo y bosque tropical seco, prefiriendo los terrenos aluviales, aunque no desprecia las colinas. Se distribuye desde Panamá, a través de los Andes, hasta abarcar toda la Amazonía y la cuenca del Orinoco. En el Perú se encuentra en los departamentos de Amazonas, Cusco, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali.

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

Según el Instituto de Innovación Agraria (1996) el tronco recién cortado presenta la albura de color amarillo similar al duramen, no observándose entre ambas capas contraste en el color. En la madera seca al aire la albura se torna de color amarillo pálido HUE 8/42,5 y el duramen amarillo HUE 8/6 10 YR (Munsell Soil Color Charts). También destaca su olor no distintivo,

su sabor no característico, brillo medio a alto, vetado en arcos superpuestos con franjas claras; bandas angostas encontradas con reflejos dorados por contraste de radios.

Aróstegui *et al.* (1975) proponen el empleo de la madera preservada de Congona: en estructuras (armaduras, columnas, vigas, viguetas, pilotes), durmientes, construcciones pesadas (puentes, puntales de minas, bóvedas, costillas de torres, envases pesados y parihuelas). Aróstegui (1982) también recomienda su uso en mangos de herramientas, y mueblería. Aróstegui *et al.* (1975) reportan las características de la Congona y del Mashonaste que se compendian en el cuadro 1.

Cuadro 1 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE CONGONA Y DE MASHONASTE PROCEDENTES DE PUCALLPA

CARACTERÍSTICA	CONGONA <i>Brosimum alicastrum Sw.</i>	MASHONASTE <i>Clarisia racemosa R. y P.</i>
Contenido de Humedad (%)	52	94
Densidad Básica (g/cm ³)	0,68	0,59
Densidad Anhidra (g/cm ³)	0,78	0,64
Dureza Lateral (kg/cm ²)	741	690
Contenido de Sílice (%)	0,38	0,93
Contenido de Cenizas (%)	2,99	2,03
Grano	Entrecruzado	Entrecruzado

En relación a la madera de Mashonaste (*Clarisia racemosa R. y P.*) el MINAG (1997) señala que se trata de una madera de difícil aserrío, considerada como una madera silícea y por lo tanto abrasiva, cuyo efecto de desafilado es alto y de trabajabilidad buena al cepillado. Asimismo su densidad básica es media, su dureza media, su grano es recto a entrecruzado, clasificada como muy estable, resistente al ataque de hongos xilófagos, de secado natural moderadamente lento.

Cayo *et al.* (2005) indican que solo para el corredor norte, el volumen mensual de madera de Congona es de 10000 pt y de madera de Mashonaste es de 12000 pt. Asimismo señala que ambas especies se encuentran en la lista de especies principales del departamento de San Martín de acuerdo al censo e inventarios del año 2003 y 2004.

2.2 CONSIDERACIONES SOBRE CEPILLADO DE LA MADERA

2.2.1 GENERALIDADES

Ninin (1986) señala que en el corte de la madera se persiguen generalmente cinco metas fundamentales:

- Obtener calidad de superficies y precisión en los cortes.
- Limitar las pérdidas de materia prima.
- Eficiencia en la operación.
- Limitar el desgaste de los filos.
- Limitar el consumo de energía.

Zavala (1997) precisa que el cepillado es considerado, después del aserrío, la operación más importante del maquinado de la madera, debido a que prácticamente la mayoría de las piezas tienen que ser reducidas a dimensiones en grosor más o menos precisas y de superficies tersas antes de ser destinadas a un uso final. Agrega que los factores relacionados directamente con las características de las máquinas y herramientas de corte son: velocidad de corte de las cuchillas, ángulo de corte de las cuchillas, material o tratamiento de las cuchillas, profundidad del corte en la madera por las cuchillas y sistema de remoción de astillas en el cabezal del cepillo.

Vignote y Martínez (2006) resaltan el problema del ajuste de los ángulos complementarios de una herramienta de corte, por lo que debe existir un ajuste variable de los ángulos libre, de hierro y de corte según sea el tipo de herramienta, la dureza, dirección de corte de la madera, velocidad de avance de la madera y de la herramienta.

Ninin (1983) afirma que el ángulo de corte es uno de los parámetros que se pueden modificar con mayor facilidad para las operaciones de corte periférico. Sato (1976) agrega que el ángulo de la cuchilla requiere un mínimo de 38° para que el filo sea fuerte y rígido, y que el ángulo

libre en la práctica requiere valores mínimos de 10° a 20° para permitir el desgaste del filo. Asimismo el autor antes aludido indica que el número de marcas/cm dependerá de los requerimientos de calidad de la superficie; cuando la apariencia no es importante tres marcas/cm darán una superficie aceptable, pero cinco a seis marcas/cm son requeridas por lo general para trabajar en encolado, acabado y ebanistería. Pero como generalmente es lijado, entre cuatro a diez marcas/cm serán necesarias, dependiendo de la severidad de la siguiente operación.

García *et al.* (2002) señalan que en el cepillado los movimientos de la herramienta y de la pieza a mecanizar están siempre en oposición. Al principio la herramienta rechaza el corte hasta alcanzar un espesor suficiente; cuando éste se alcanza, se inicia el corte: ese intervalo que pasa entre dos aristas de corte consecutivas durante una rotación, se denomina paso de la herramienta. También recomienda realizar un correcto reglaje y hacer que las cuchillas sobresalgan de la porta cuchillas una altura comprendida entre 0,8 y 1 mm para limitar las vibraciones no deseadas.

Según Ninin (1983) en los ensayos de cepillado puede observarse una mayor diferencia de comportamiento y calidad de superficie entre el plano tangencial y el radial de una misma especie que entre varias especies, sobre todo, si son de densidades cercanas. La distribución y orientación de los elementos de baja resistencia juegan un papel preponderante.

Sato *et al.* (1978) en un estudio con muestras de madera seca al aire de diez árboles de Congona, determinaron para el plano radial una regular calidad de cepillado a favor del grano, con un ángulo de corte de 35° y velocidad de alimentación de 10 m/min, condiciones que generaron como defecto dominante el grano arrancado. Añade que la madera de Congona debe cepillarse húmeda por tratarse de una especie abrasiva.

2.2.2 ABRASIVIDAD Y DUREZA

Zavala (1997) considera como factores relacionados directamente con las propiedades tecnológicas de la madera y que afectan la calidad del cepillado a los siguientes: peso específico de la madera, orientación del hilo, textura de la madera, tipo de porosidad y sus características y variación en los anillos de crecimiento, específicamente la variación entre la madera de primavera y la madera de verano.

Según Ninin (1986) el contenido silicoso de la madera trae como consecuencia un desgaste rápido de las herramientas hasta el punto de que el aserrado de algunas especies con técnicas inadecuadas resulta antieconómico. Agrega que la abrasividad de una especie puede ser muy variable, hasta en proporción de 1 a 15 y que puede también aparecer en especies no típicamente abrasivas, como en el caso de la *Ceiba pentandra*. El mismo autor afirma que la dureza de lados es la propiedad más determinante de la resistencia al corte de la madera. También influyen la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción paralela al grano, tenacidad, resistencia al cizallamiento longitudinal. Sin embargo, a partir de la densidad y la dureza se pueden agrupar las especies con suficiente precisión en cuanto a su resistencia al corte.

Honorato y Hernández (1998) señalan que algunos autores consideran que un contenido de sílice entre 1 y 3% representa problemas para la transformación de la madera, principalmente en el desafilado de las herramientas de corte, pero la mayoría coincide en un porcentaje de 0,5%. Agregan que sin embargo los valores de contenido de sílice son especulativos ya que no ha habido estudios cuantitativos directos que correlacionen el contenido de sílice y el desgaste de las herramientas de corte. Los mismos autores concluyen que para las cinco especies de encinos estudiadas no se presentó una diferencia estadística significativa entre el contenido de sílice hallado en la albura y en el duramen dentro de cada una de las especies.

2.2.3 DESGASTE DEL FILO

Aguilera *et al.* (2000) sostienen que los problemas de determinación del desgaste del elemento de corte residen en la dificultad de poder cuantificarlo. Asimismo señalan que la industria mecánica utiliza el modelo de Taylor, pero que la determinación de ciertas constantes es muy

difícil para el caso de la madera; aunque se utilizan métodos prácticos como el proyector de perfil y el láser, éstos difícilmente permiten cuantificar el valor del desgaste. Agregan que la cuantificación del desgaste del elemento de corte tiene una gran importancia en el trabajo de la madera, pues en efecto el desgaste progresivo genera un aumento del consumo de potencia de las máquinas y un deterioro de la superficie de la pieza.

Gaviria (1988), precisa que el desgaste del filo por abrasión consiste en la remoción mecánica de partículas finas del elemento cortante por la fricción entre la herramienta y las fibras de madera. Asimismo señala que el desgaste del filo por corrosión involucra procesos químicos y electrolítico-químicos en que el material del elemento cortante es atacado por los ácidos de la madera.

Ninin (1986) concluye que si la madera está seca, su capacidad de desgaste de los filos y sus requisitos energéticos son mayores. También explica que una madera dura con contenido de sílice moderado puede resultar más abrasiva que una madera blanda con mayor contenido de esta sustancia mineral. De allí que la determinación de la abrasividad por medio de un ensayo específico, rápido y sencillo sea mucho más útil que el simple conocimiento de los contenidos silicosos.

Ninin (1983) señala que el ángulo de hierro es el que le da la resistencia al filo por lo tanto no debe tener valores inferiores a los críticos, si no el filo sufre desde el primer contacto con la madera.

García *et al.* (2002) afirman que la pérdida del poder cortante de la herramienta va acompañada de un progresivo aumento del esfuerzo de corte y de la obtención de una superficie en la que aparecen defectos de mecanizado. Por ejemplo trazos de quemado, por la pérdida de la arista cortante y, en consecuencia, el aumento progresivo de superficie de contacto entre la herramienta y la madera.

Dalois (1990) sostiene que el esfuerzo de corte depende mucho de la calidad del filo y aumenta considerablemente a medida que el filo se desgasta. Es una de las razones por las cuales jamás se debería seguir cortando con una cuchilla completamente desafilada.

Ninin (1986) precisa que el control del tiempo de trabajo y del límite económico así como la calidad del afilado son determinantes en el desgaste del filo. Agrega que el desgaste del filo por abrasión es una función inversa del espesor de viruta con que se corta la madera y que el mal afilado de herramientas también genera un proceso de desgaste acelerado.

Sato (1976) precisa que para cualquier cepilladora el número de cuchillas en la porta cuchilla y la velocidad de rotación generalmente es fija por fabricación, por tanto el número de marcas de cuchillas es debido a la velocidad de alimentación. Añade que cuando se efectúa muchas marcas de cuchilla por centímetro, cada corte no será capaz de producir un significativo espesor de viruta, por tanto, el filo de corte tenderá a raspar sobre la madera y se desgastará la cuchilla rápidamente.

Bernui (1990) indica que a mayor velocidad de giro, menor será el tiempo de enfriamiento de los filos al salir de la madera; por consiguiente se incrementará el desgaste de las cuchillas.

Ninin (1969) afirma que en el caso de maderas abrasivas, puede existir una velocidad límite que depende de la calidad del acero y sus posibilidades de enfriamiento. García *et al.* (2002) agregan que el acero, formado por una aleación de hierro y carbono, este último en una proporción máxima de 2,06% es el material más utilizado en la fabricación de elementos de corte; así mismo mejorado con la adición de cromo, níquel, vanadio, titanio, tungsteno, etc., aumentan sus características físicas y mecánicas como resistencia al desgaste, dureza, resistencia a la corrosión, etc.

García *et al.* (2002) señalan que los aceros más utilizados para el elemento cortante son: aceros al cromo, aceros rápidos y aceros subcarburoados. Todos ellos tienen una respuesta negativa frente a la temperatura provocada por el rozamiento contra la madera, modificándose por ello su respuesta mecánica.

Wikipedia (2009) precisa que el cromo se emplea en cantidades diversas desde 0,30% a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidableidad (con concentraciones superiores al 12%), etc. Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura.

También indica que el vanadio posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.

Según la tabla de influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero propuesta por Bohler (2009) el cromo es el elemento que le otorga mayor dureza al acero mientras que el vanadio le proporciona mayor resistencia al desgaste.

2.2.4 CONSUMO DE ENERGÍA

Koch citado por Ninin (1983) sostiene que existe una relación prácticamente lineal entre la potencia neta exigida y las profundidades de corte a partir de 1,6 mm. Precisa que los cortes en las mayores profundidades son generalmente más favorables y que cuando el número de cuchillas es elevado (p. ej. 12), el requisito de potencia queda considerablemente por debajo del doble a pesar de que la profundidad de corte se ha duplicado.

Ninin (1983) y Bernui (1990) indican que cuando se duplica la profundidad de corte los requisitos de potencia no llegan a duplicarse.

Según García *et al.* (2002) cuando se aumenta el ángulo de ataque disminuye el esfuerzo de corte, sin embargo, existe un valor a partir del cual, un aumento del primero produce un aumento del esfuerzo por deformación de la arista del diente, éste se sitúa en torno a los 40°.

Sato (1976) explica que es preferible cortar con el ángulo de 35° por consumir menos potencia y agrega que a medida que se reduce el ángulo de corte la necesidad de potencia aumenta.

Ninin (1986) señala que la resistencia que ofrece la madera al corte está íntimamente relacionada con su dureza, resistencia al cizallamiento longitudinal y tenacidad pero, principalmente con su dureza y consecuentemente con su densidad. Asimismo considera que las especies se pueden clasificar en seis grupos de requisitos energéticos para el aserrío, utilizando la clave para la asignación de grupos energéticos basada en la densidad seca al aire y la dureza de lados JANKA:

Grupo	Densidad (g/cm ³)	Dureza (kg/cm ²)
- I	0,2 – 0,5	150 – 300
- II	0,5 – 0,6	300 – 500
- III	0,6 – 0,7	500 – 700
- IV	0,7 – 0,85	700 – 900
- V	0,85 – 0,9 (1.0)	900 – 1300
- VI	1 – 1	1300 – 1800

Koch citado por Ninin (1983) afirma que el ángulo de corte influye sobre los requisitos energéticos, sobre la calidad y por lo tanto sobre la eficiencia y cita que trabajando con el pino Douglas Fir seco, con un ángulo de corte de 15° se requiere apenas el 50% de potencia que con un ángulo de 0°; pero por otra parte, el doble de lo que se necesita con 30°. Afirma que cuando se trabaja esa madera verde con un ángulo de 25° se requiere aproximadamente la mitad de la potencia que con 0°.

Ninin (1986) considera evidente que la velocidad de la herramienta tiene una influencia directamente proporcional sobre la potencia neta, puesto que esta puede calcularse a partir del esfuerzo de corte y la velocidad en cuestión.

Según Ninin (1983) desde el punto de vista de consumo de energía es evidente que mayores velocidades de giro y mayores números de cuchillas igualadas generan mayores consumos pero en el segundo caso el aumento de las velocidades de alimentación puede ser mayor.

2.2.5 RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Aguilera y Vega (2004) señalan que el ajuste inadecuado de las condiciones de maquinado en cepilladora además de generar una calidad superficial inapropiada, desgastará inútilmente las herramientas de corte, con un consumo de energía excesivo. Los mismos autores añaden que una mayor rugosidad superficial está asociada a una mayor demanda de potencia de corte.

Hinojosa y Reyes (2001) indican que el método más usado en la industria para cuantificar la rugosidad se basa en el registro de perfiles de alturas mediante un rugosímetro o perfilómetro (donde una aguja recorre los picos y valles del perfil). Añade que los equipos para medir la rugosidad se clasifican en equipos de contacto (rugosímetro y microscopio de fuerza atómica) y de no contacto (equipos ópticos e interferómetros).

González (1995) afirma que la rugosidad, está formada por surcos o marcas dejadas por el agente de ataque durante el proceso de fabricación y se encuentra superpuesta a un perfil de ondulado, producido por deficiencias en los movimientos de la máquina o tensiones residuales resultantes de procesos anteriores.

Muammer y Kerem (1997) señalan que en la industria maderera, la rugosidad de superficie depende en gran medida de varios factores, entre los cuales están: las estructuras anatómicas, el coeficiente de humedad, los defectos de la madera de ciertos árboles, el desbarbado con telas de esmeril o con herramientas que combinen el esmeril, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de aserrado y el afilado de los dientes o de las cuchillas. Los mismos autores aclaran que cuando la aguja de sondeo del rugosímetro entra en los intersticios de la madera, esto permite calcular la rugosidad de superficie de la madera hasta cierto punto. Hinojosa y Reyes (2001) agregan que no pueden detectarse con alta precisión valores de rugosidad menores al radio de la punta y que una punta burda o desgastada resulta en valores de rugosidad más bajos que los obtenidos usando puntas finas.

González (1995) indica que la rugosidad media (R_a) es la media aritmética ponderada de las distancias registradas por el rugosímetro desde una línea media hacia los puntos más altos de los picos y los puntos más bajos de los valles generados en el perfil de rugosidad, dentro de un recorrido dado. Añade que las ventajas del R_a es que es el más utilizado en todo el mundo y los saltos superficiales inherentes al proceso de fabricación, no alteran substancialmente los valores de seguridad. El valor de la rugosidad obtenido con este proceso, coincide con la curva de Gauss que caracteriza la distribución de amplitud.

González (1995) señala que cuando un perfil es periódico como en el caso del cepillado y la distancia dejada entre marcas de cuchillas es mayor que 0,32 mm hasta 1 mm el valor de la longitud de muestreo (conocida como Cutoff) será de 2, mm y será recomendable un curso mínimo de cinco veces (5x) el valor de Cutoff, o sea 12,5 mm.

González (1995) define la rugosidad máxima (R_y) como el mayor valor de las rugosidades parciales que se presentan en el curso de medición; la altura media del perfil (R_z) corresponde a la media aritmética de los cinco valores de rugosidad parcial, definiéndose por rugosidad parcial a la suma de los valores absolutos de las ordenadas de los puntos de mayor diferencia, por arriba y por debajo de la línea media, existentes dentro de una longitud de muestreo (Cutoff); el desvío medio cuadrático (R_q) está definida como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las ordenadas del perfil efectivo, en relación a la línea media en el curso de medición y profundidad total de la rugosidad (R_t) corresponde a la distancia vertical entre el pico más alto y el valle más profundo dentro de la longitud de evaluación, independientemente de los valores de rugosidad parcial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

Los ensayos de cepillado se llevaron a cabo en el Taller de Trabajabilidad de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, así como las mediciones de rugosidad de las probetas, intensidad de corriente eléctrica y tensión eléctrica que registró la cepilladora durante su trabajo.

La medición del perfil de la cuchilla se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIALES

A) MADERA

Probetas para ensayos de desgaste del filo preparadas con madera procedente de la selva central (La Merced) de las siguientes especies:

- Congona, Manchinga (*Brosimum alicastrum* Sw.).
- Mashonaste, Tulpay (*Clarisia racemosa* R. y P.).

B) CUCHILLA PARA CEPILLADORA

De acero reforzado con cromo y vanadio al 2%, con un ángulo de hierro de 45° y un ángulo libre de 10°.

3.2.2 EQUIPO

A) PARA PREPARACIÓN DE PROBETAS

- Sierra circular marca Wadkin Bursgreen provista de 1 disco de 16" de diámetro.
- Garlopa mecánica marca Wadkin Bursgreen provista de tres cuchillas de acero al carbón.
- Lupas de 10x; cuchilla retráctil y wincha.

B) PARA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE ABRASIVIDAD

- Cepilladora de una cara marca Wadkin Bursgreen de 6 HP con porta cuchillas de 100 mm de diámetro y ángulo de corte de 35°, velocidad de alimentación de 5m/min, velocidad de giro de 5000 rpm y ancho de mesa de 300 mm.
- Tres mascarillas
- Tres orejeras
- Tres lentes de protección

C) PARA MEDICIÓN Y CONTROL

- Vernier digital marca Mitutoyo, modelo Absolute con precisión de 0,01 mm.
- Calibrador de cuchillas.
- Tacómetro digital marca Mitutoyo, modelo D-Tach con precisión de 1rpm.
- Pinza amperimétrica digital marca Amprobe modelo ACD-6 TRMS Pro con precisión de 0,1 amperios.
- Pinza amperimétrica digital marca Amprobe modelo ACD-11, con precisión de 0,1 voltios.
- Rugosímetro digital de detección de aguja Mitutoyo, con precisión de 0,01 μm .

- Higrómetro de pines marca Gottert modelo Moistec con precisión de 0,1%
- Microscopio compuesto marca Olympus con ocular de 15x y objetivos de 4x, 10x y 40x.
- Microscopio de gama marca Olympus modelo BH-2 con ocular de 15x y objetivos de 4x, 10x y 40x con cámara digital incorporada marca Canon modelo Power Shot S50 con zoom óptico de 12x y de 5 MP.
- Cámara digital marca Canon, modelo Power Shot A640 con zoom óptico de 4x y de 10 MP.

D) PARA PROCESAMIENTO DE DATOS E IMÁGENES

- Computadora Pentium III con programas Microsoft Office y Minitab.

3.3 METODOS Y PROCEDIMIENTOS

El ensayo de abrasividad se basó en las estipulaciones propuestas para maderas tropicales por la JUNAC (1976) en lo referente a ángulo de corte, revoluciones por minuto de la cepilladora y longitud de las probetas. Asimismo se consideró el ensayo por el canto a favor del grano, con dos cuchillas de contrapeso y por el lugar de la cuchilla asignado a cada plano de corte.

3.3.1 SELECCIÓN DE TABLONES

La materia prima adquirida en una maderera de Lima, fue seleccionada en el Taller de Trabajabilidad de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM en los volúmenes requeridos de 130 pt de Congona y 10 pt de Mashonaste, teniendo en cuenta su plano de corte, grano, apariencia (sin defectos como nudos, rajaduras, acebolladuras, arista faltante, pudrición, médula, albura).

3.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA

La identificación de las maderas se hizo en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, cuyas constancias se adjuntas en los ANEXOS 1 y 2.

3.3.3 SECADO DE LA MADERA

La madera se dejó secar al aire libre en el taller de Trabajabilidad de la Madera aludido hasta un contenido de humedad promedio de 17,5% para la madera de Congona y 11,7% para la madera de Mashonaste, ambos contenidos de humedad correspondientes a La Molina.

3.3.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Para el estudio del desgaste del filo se utilizaron en una primera etapa 90 probetas de Congona (30 probetas por cada plano de corte), de las siguientes dimensiones: 2,5 cm x 12 cm x 100 cm. Adicionalmente, en una segunda etapa se elaboraron 26 probetas de corte oblicuo (20 de Congona y seis de Mashonaste), con el fin de establecer un patrón de desgaste del filo respecto a la madera estudiada.

3.3.5 CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

Cada probeta se identificó con un código legible compuesto de dos letras seguidas de un número de dos dígitos, donde: las letras correspondieron al plano de corte (Tg para tangencial, Rd para radial y Ob para oblicuo) y los dígitos del 1 al 30 indicaron el número de probeta dentro del plano de corte. Dicho código fue escrito en la sección transversal que ingresó primero en la cepilladora e indicó el sentido del cepillado a favor del grano.

3.3.6 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Se cepillaron 1800 m de Congona por el canto de las probetas tanto en corte tangencial como radial. En una segunda etapa del estudio se continuó cepillando únicamente las probetas de corte oblicuo hasta llegar a 3000 m cepillados. Luego se procedió a cepillar 300 metros por el canto de seis probetas de Mashonaste de corte oblicuo. De acuerdo a la división de la cuchilla mostrada en la figura 1, se conservaron intactas varias secciones del filo para que sirvieran de testigos. Se cepilló únicamente un canto de las probetas, a favor del grano, con una profundidad de corte de 1,3 mm, una velocidad de alimentación de 5 m/min, un tamaño de marca de cuchilla de 1 mm y 10 marcas de cuchilla/cm.

A) EVALUACIÓN DEL FILO DE LA CUCHILLA

Se procedió a dividir la cuchilla de 30 cm de longitud tal como se indica en la figura 1. El desgaste del filo se midió para las secciones de cuchilla correspondientes a los planos de corte tangencial, oblicuo y radial, mediante una reglilla micrométrica (en μm) dispuesta en un microscopio compuesto con aumentos de 60, 150 y 600 veces. Se colocó sobre el ocular la cámara digital y se fotografiaron las secciones de cuchilla empleadas en los cortes aludidos, cada 60 cepilladas cubriendo 0,3 cm de un total de 2,5 cm. Cuando el desgaste del filo fue más severo, como sucedió con el Mashonaste, se dejó de utilizar el microscopio y se procedió a medirlo mediante el calibrador de cuchillas, fotografiando la cavidad dejada por el desgaste del filo.

Testigo	Congona Sec. Tg 1800 m	Testigo	Congona Sec. Ob 3000 m	Testigo	Congona Sec. Rd 1800 m	Testigo	Mashonaste Sec. Ob 300 m	Testigo
3 cm	2,5 cm	4,5 cm	2,5 cm	5 cm	2,5 cm	4,5 cm	2,5 cm	3 cm

Figura 1 División de la cuchilla para los tres planos de corte y sus patrones respectivos.

Por encima de la cavidad producida en la cuchilla se colocó una lámina de espesor similar al utilizado en un calibrador de cuchilla o una tarjeta de débito cuya medida se obtuvo con un vernier. En la fotografía se midió la misma tarjeta y la altura del desgaste del filo para luego por regla de tres simple calcular su profundidad en micrómetros.

Cabe acotar que en la estimación del desgaste del filo todas las medidas dadas en micrómetros tuvieron que ser convertidas debido a que existe un factor de conversión específico en función del tipo de ocular y el objetivo del microscopio que se utilice. En el ANEXO 3 se detalla el factor de conversión utilizado para hallar el número de micrómetros reales y en el ANEXO 9 se muestra el formato usado para la toma de datos.

B) MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y DE LA TENSIÓN ELÉCTRICA

Durante el cepillado de cada probeta se midió la intensidad de corriente eléctrica empleando una pinza amperimétrica, antes del corte y durante el mismo para hallar por diferencia la intensidad de corriente eléctrica neta y así estimar el consumo de energía. De igual modo se midió la tensión eléctrica en la toma de corriente para registrar posibles fluctuaciones de ella durante el transcurso de la investigación que alteren las lecturas de la intensidad de corriente eléctrica. En los ANEXOS 6 y 7 se muestran los formatos usados para la toma de datos.

En el caso de la intensidad de corriente eléctrica los promedios que se presentan son el resultado de la media aritmética por cada 60 lecturas de intensidad de corriente eléctrica neta.

C) MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE LAS PROBETAS CEPILLADAS

Con ayuda del rugosímetro se hicieron tres lecturas de rugosidad perpendiculares a la fibra. En una segunda fase del estudio se tomaron cinco lecturas de rugosidad por considerarse que representaba de una manera más exacta el promedio de la misma, debido a que a simple vista los promedios obtenidos con cinco lecturas no diferían mucho de los tomados hasta con diez

lecturas. Posteriormente, luego de un análisis estadístico de los promedios obtenidos a partir de tres lecturas y de cinco lecturas utilizando un diseño experimental de clasificación simple (ANVA) se determinó que las medias son similares y por lo tanto es indiferente realizar tres lecturas o cinco. Los parámetros de rugosidad medidos en cada punto fueron: rugosidad media (Ra), rugosidad máxima (Ry), altura media del perfil (Rz), desvío medio cuadrático (Rq) y profundidad total de la rugosidad (Rt). En el ANEXO 8 se muestra el formato usado para la toma de datos mientras que los puntos en los cuales se tomaron los datos de rugosidad se indican en la figura 2.

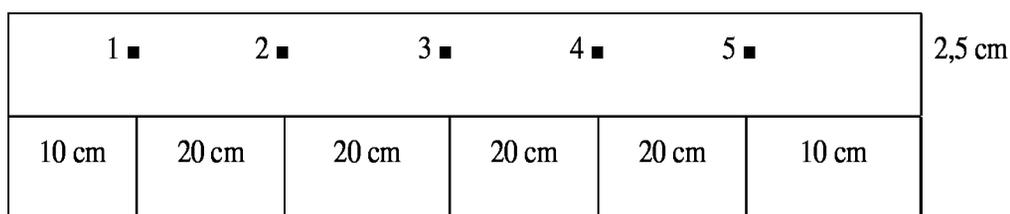


Figura 2 División de la cuchilla para los tres planos de corte y sus patrones respectivos.

En la primera fase se tomaron las lecturas en los puntos 1, 3 y 5. Posteriormente se tomaron en los cinco puntos. El total de lecturas se promedió entre tres y cinco datos según correspondió. Al inicio se tomó la rugosidad cada diez cepilladas. A partir de los 1500 m cepillados se tomó la rugosidad cada 60 cepilladas hasta llegar a los 1800 m cepillados. Es por ello que el análisis estadístico que compara el efecto del plano de corte se hace sólo con los datos provenientes de tres lecturas por cada 60 m cepillados hasta los 1500 m. Los promedios que se presentan para la rugosidad superficial difieren de la forma de tomar los promedios para la intensidad de corriente eléctrica. Para la rugosidad superficial se toman tres lecturas por cada probeta y se obtiene una media aritmética de esas tres lecturas. De esa forma se obtienen promedios cada 10 m. Luego se agrupan estos promedios de a seis y se calcula su media aritmética con lo que finalmente se obtiene un promedio de rugosidad superficial por cada 60 m.

Debido a que el perfil producto del cepillado es periódico y la distancia dejada entre marcas de cuchillas es hasta 1 mm, el valor de la longitud de muestreo (conocida como Cutoff) fue de 2,5 mm con un recorrido mínimo de cinco veces (5x) el valor de Cutoff, o sea 12,5 mm.

3.3.7 ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO COMPLEMENTARIO

Se calculó el contenido de humedad promedio para las probetas de ambas especies, al inicio y al final de los ensayos, los cuales se promediaron. Se confeccionaron diez cubos de 2 cm de lado para cada especie; se secaron, se pesaron y se saturaron para estimar sus densidades básicas y anhidras en función al volumen desplazado por el cubo al introducirlo en el agua.

Durante los ensayos de cepillado se tomaron seis muestras de 3 g de polvo de aserrín de Congona y Mashonaste para calcular su contenido de cenizas y sílice. El grano se determinó con la ayuda de una cuchilla. Finalmente se elaboraron diez probetas de 3 x 3 x 15 cm, para determinar la dureza lateral de ambas especies mediante una prensa universal de ensayos.

3.3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinaron los promedios, rangos, desviación estándar, variancia, coeficientes de variación para la intensidad de corriente neta así como para la rugosidad superficial. Con los datos de rugosidad (de sus cinco parámetros) y de intensidad de corriente neta se estudió el grado de asociación existente entre dichas variables en función al trabajo controlado en metros cepillados de madera.

En las correlaciones realizadas se comparó el r obtenido con el r tabular según los coeficientes utilizados por Calzada (1982) que se presentan en el ANEXO 16. De acuerdo con Freese (1978) la correlación se considera significativa cuando el r obtenido supera al r tabular. La calificación de las correlaciones significativas se realizó siguiendo el criterio de Calzada (1982) de considerar aceptable un tamaño de muestra mayor a 30 para calificar el valor de r , al nivel de 0,05 de probabilidad, de acuerdo a la siguiente escala:

De $r = 0,2$ a $r = 0,3$, se trata de un coeficiente muy bajo.

De $r = 0,4$ a $r = 0,5$, se trata de un coeficiente bajo.

De $r = 0,6$ a $r = 0,7$, se trata de un coeficiente alto.

De $r = 0,8$ a $r = 1,0$, se trata de un coeficiente muy alto.

En el caso de tamaño de muestras menores a nueve, Calzada (1982) propone los siguientes valores:

Para $n = 4$ o menos, corresponde a un $r(0,05)$ igual a cero.

Para $n = 5$, corresponde a un $r(0,05)$ igual a 1.

Para $n = 6$, corresponde a un $r(0,05)$ igual a 0,886

Para $n = 7$, corresponde a un $r(0,05)$ igual a 0,75

Para $n = 8$, corresponde a un $r(0,05)$ igual a 0,714

Se realizaron regresiones lineales y regresiones cuadráticas de ambas variables con sus respectivos análisis de variancia, para determinar el grado de asociación y el tipo de regresión (lineal o cuadrática) que mejor se ajusta al comportamiento de la longitud cepillada en cada uno de los tres planos de corte.

Se han graficado las ecuaciones de regresión cuyos coeficientes de determinación resultaron con un calificativo de muy alto. El resto de las ecuaciones significativas se detallan en los ANEXOS del 11 al 14. Asimismo, se calculó el coeficiente de determinación y se compararon los resultados al inicio, a la mitad y al final de los ensayos para detectar algún tipo de variación.

Conforme avanzó el deterioro de los filos de la cuchilla se relacionó el desgaste de los mismos con el consumo de energía y la rugosidad superficial. Los análisis de intensidad de corriente eléctrica se efectuaron agrupando los promedios de datos registrados antes de los 1080 m y luego de los 1080 m, considerando la longitud cepillada en que se realizó el primer ajuste de pernos.

Para determinar el modelo que mejor describa el tipo de correlación entre la intensidad de corriente eléctrica neta y la longitud cepillada se realizaron análisis de regresión simple y cuadrática con la información registrada para cada plano de corte. Se hicieron una serie de pruebas con los datos de la intensidad de corriente eléctrica neta obtenidos, tanto con los promedios por cada 60 m cepillados, como con algunos promedios por cada 30 m cepillados,

así como con todos los datos de forma individual. Estas regresiones se hicieron en varios tramos o secuencias del ensayo con el fin de comparar los resultados y encontrar algún tipo de patrón.

En las ecuaciones de regresión lineal y cuadrática se utilizó R para referirse a rugosidad, I para referirse a intensidad de corriente eléctrica y L para referirse a longitud cepillada.

Posteriormente se realizaron los análisis de variancia para el consumo de energía y la rugosidad superficial, utilizando un diseño completo al azar con arreglo factorial 3A x 5B donde además de tomar en cuenta el plano de corte se consideró como segundo factor la longitud cepillada.

De acuerdo a los diseños utilizados se plantearon las siguientes hipótesis:

Hp 1: Los efectos del plano de corte en la intensidad de corriente eléctrica son similares.

Hp 2: Los efectos del plano de corte en la rugosidad superficial son similares.

Hp 3: Los efectos de interacción entre la longitud cepillada y la intensidad de corriente eléctrica son similares.

Hp 4: Los efectos de interacción entre la longitud cepillada y la rugosidad superficial son similares.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESGASTE DE CUCHILLAS

La madera de Congona proveniente de selva central (La Merced) resultó ser muy poco abrasiva. Esta escasa abrasividad generó un desgaste del filo poco apreciable para medirlo, pero las microfotografías registradas durante los primeros 1800 m, permitieron tener una idea más exacta del proceso de desgaste de la cuchilla evaluada. La reducida escala que se requiere para hacer la medición del desgaste del filo y tomar la fotografía no permitió conservar una línea base que sirviese de referencia para comparar el desgaste del filo progresivo y acumulativo que fue experimentando la cuchilla a lo largo de los ensayos. Además se tuvo el inconveniente de no poder ubicar el mismo punto de medición en el perfil de la cuchilla, luego de cierto número de metros cepillados.

Visto al microscopio, la cuchilla de fábrica presentó antes de iniciar los ensayos un perfil bastante heterogéneo, con secciones bastante planas y otras con muchas irregularidades, tal como puede apreciarse en el ANEXO 10.

Se encontraron secciones del perfil donde la altura entre el pico más alto y el valle más profundo miden 4 μm y otras donde miden 13 μm , dando un promedio de 9,5 μm .

A medida que la cuchilla se somete al cepillado dicho perfil varía de manera irregular, incluso de milímetro a milímetro de cada sección y no presenta ningún patrón de desgaste del filo, sino algo muy variable. Por momentos el mismo perfil se aplanan y luego presenta varias irregularidades, pero ningún perfil guarda relación con el avance del desgaste del filo y la longitud cepillada.

Además, cabe resaltar que el lado de la cuchilla observado en todo momento al microscopio es la cara anterior, que a simple vista resulta “plana”. Sin embargo a medida que el desgaste del filo progresa, en el perfil de la cuchilla se forma un micro bisel como se puede observar en el ANEXO 10.

Para tener una idea más exacta del proceso de desgaste del filo y de la diferencia de alturas que se podían generar por cada plano de corte, se escogieron las microfotografías que presentaron mayores diferencias entre el pico más alto y el valle más profundo del perfil observado. Estas alturas máximas (medidas en micrómetros) se muestran para cada plano de corte en el cuadro 2, con la salvedad que únicamente en el plano oblicuo los ensayos se prosiguieron hasta completar los 3000 m y por esta razón no se registran más datos para los planos tangencial y radial.

Cuadro 2 DESGASTE RELATIVO DEL FILO (μm) POR PLANO DE CORTE EN EL CEPILLADO DE CONGONA

LONGITUD CEPILLADA (m)	PLANO E CORTE		
	TANGENCIAL	OBLICUO	RADIAL
900	13	-	-
1320	-	-	20
1500	13	19	-
2520		45	
3000		51	

Cabe indicar que las alturas medidas son aproximaciones, puesto que no hubo una línea base con la cual se puedan comparar y afirmar que se trata del desgaste total sufrido por dicha sección (por eso se utiliza el término de desgaste relativo). Se debe tener en cuenta que el pico de dicha sección también sufrió un recorte en su tamaño el cual no fue posible medirlo.

A partir del cuadro 2 se aprecia en la sección tangencial dos momentos en que se registra una altura máxima de 13 μm pasados los 900 y los 1500 m cepillados, mientras que para la sección oblicua suben a 19 μm y se registra luego de los 1500 m cepillados. Finalmente, en la sección radial se registra una altura máxima de 20 μm luego de los 1320 m cepillados. Debido a la falta de materia prima para continuar los ensayos, se continuó trabajando sólo con la sección oblicua pasados los 1800 m hasta llegar a los 3000 m cepillados.

Prácticamente durante todo el transcurso de los ensayos, el perfil de la cuchilla parece mantenerse sin cambio alguno a simple vista. Sin embargo, en el rango de cepillado de 1800 a 2520 m se manifestaron los primeros signos de un desgaste del filo mayor. Se trata de tres puntos muy pequeños ubicados fuera del centro de la sección (la parte central de la sección de

2,5 cm mide 3 mm y era continuamente fotografiada). Por su tamaño se pueden ver a simple vista en forma de marcas dejadas por un lápiz cuando se le apoya, denominadas despostilladuras, las cuales varían en forma y tamaño.

Se optó por medir dos de estas tres despostilladuras, la de menor intensidad que genera la mayor altura entre el pico más alto y el valle más profundo, y la de mayor intensidad que genera una zona con deterioro inicial de la cuchilla que al microscopio se observa seriamente comprometida y denota un desgaste del filo superficial que sobrepasa ampliamente la línea tope del valle hasta donde se mide la altura.

La despostilladura de mayor intensidad presenta un desgaste del filo que compromete una zona de hasta 115 μm , tal como se puede observar en el ANEXO 10. Aunque esta zona todavía permanece en la cuchilla, es muy probable que si se continúa cepillando, se desprenda e inicie una despostilladura aún mayor.

En términos generales, el perfil de la despostilladura presentó un desgaste irregular del filo a lo largo de todo el borde, motivo por el cual la despostilladura de menor intensidad registró una altura máxima (profundidad) de 45 μm para una longitud cepillada de 2520 m y de 51 μm para una longitud de 3000 m, conforme se aprecia en el ANEXO 10.

La fácil ubicación de estas despostilladuras permitió volver a ubicar un mismo punto con relativa facilidad luego de una serie de metros cepillados, con lo cual se pueda calcular la tasa de desgaste del filo. A partir de un desgaste promedio absoluto de seis micrómetros luego de 480 m cepillados, se estimó una tasa de desgaste del filo de 0,013 μm por metro cepillado.

Es oportuno destacar que la tasa de desgaste del filo obtenida fue generada por una mezcla de probetas con distintos planos de corte (tangencial, radial y oblicuo) al no disponer de más material, para elaborar más probetas que pasaran por las distintas secciones.

Considerando la tasa de desgaste del filo y el ensayo de cepillar 1800 m por la sección tangencial, 1800 m por la sección radial y 3000 m por la sección oblicua, en teoría se deberían haber desgastado, 23 μm y 39 μm respectivamente, lo que a simple vista es imperceptible.

Cabe indicar que en los ensayos se prefirió utilizar una cuchilla de acero reforzada con cromo y vanadio al 2%, en lugar de la cuchilla de acero corriente por ser más comercial en la actualidad. La existencia de investigaciones preliminares sobre el grado de desgaste con una cuchilla de acero corriente suponía un desgaste del filo a los 500 m cepillados por lo que se previó madera para 600 m. Sin embargo hasta el cepillado de 1800 m aún no presentaba un desgaste del filo significativo ni éste se veía reflejado en el consumo de corriente eléctrica.

Al finalizar los ensayos no se obtuvo el desgaste del filo esperado para la Congona, que según la bibliografía figuraba como una especie muy abrasiva y considerando que se ha utilizado una cuchilla de acero reforzado con mayor resistencia al desgaste que la cuchilla de acero corriente se probó con la madera abrasiva de Mashonaste (*Clarisia racemosa*) para comparar resultados y establecer la influencia de la madera en el desgaste del filo previsto.

Los resultados alcanzados reflejan una gran diferencia en el tipo de desgaste del filo y en la magnitud del mismo para cada especie. Mientras que el desgaste del filo con la Congona fue difícil de medir y necesitó la ayuda de un microscopio, el desgaste del filo producido por la madera del Mashonaste fue tan severo que se observó a simple vista. Este desgaste del filo literalmente afectó todo el borde de la cuchilla y generó tanto calor que produjo quemaduras tanto en la cuchilla como en las superficies cepilladas. Los defectos producidos fueron tan severos que el rugosímetro no logró medir las irregularidades en dichas superficies. El desgaste de la cuchilla generado por el cepillado de la madera de Congona y Mashonaste se pueden observar en el ANEXO 10, así como los defectos en la madera cepillada de ambas especies.

El proceso de desgaste del filo con el Mashonaste se resume como sigue: luego de 150 m cepillados el desgaste del filo respecto a una línea base de referencia fue de 592 μm . Luego de 300 m cepillados el desgaste del filo acumulado fue de 1726 μm . Con esta información se pudo calcular una tasa de desgaste del filo con Mashonaste para la primera etapa de 3,95 μm por metro cepillado y para la segunda etapa de 7,56 μm por metro cepillado, prácticamente el doble. Mientras que la tasa de desgaste del filo acumulada desde el inicio hasta el final de los ensayos con Mashonaste fue de 5,75 μm por metro cepillado. Este comportamiento demuestra que en una madera abrasiva o muy abrasiva, la tasa de desgaste del filo no se mantiene constante sino que se incrementa de manera apreciable.

Comparando ambas tasas de desgaste del filo se aprecia que la tasa de desgaste del filo del Mashonaste supera ampliamente a la tasa de desgaste del filo generada por la madera de Congona. La relación es de 303 a 1, de 581 a 1 y de 442 a 1, dependiendo de la tasa de desgaste del filo que se compare y la longitud cepillada, respectivamente.

También se observa una gran diferencia entre el desgaste del filo acumulado causado por la Congona y el Mashonaste. Mientras que luego de 3000 m cepillados la Congona tan solo logra desgastar 51 μm de la cuchilla, en un décimo de la longitud cepillada (300 m) el Mashonaste logra desgastar 1726 μm de la cuchilla, lo cual determina una relación de 33 a 1.

Estas diferencias de características entre ambas especies se muestran en el cuadro 3, donde son comparadas con datos bibliográficos. La densidad fue clave para el comportamiento de ambas especies. Teóricamente la Congona es más densa que el Mashonaste, sin embargo resultó todo lo contrario. Otro aspecto importante es el escaso contenido de sílice que presentó la Congona frente al elevado contenido de sílice del Mashonaste. En el caso de la dureza lateral también ocurrió algo similar pues teóricamente la dureza lateral de la Congona es mayor que la del Mashonaste, sin embargo la dureza lateral del Mashonaste resultó mucho mayor que la de la Congona. Ambas especies procedentes de selva central (La Merced) experimentaron un comportamiento al desgaste del filo por abrasión muy diferente de lo reportado en la bibliografía para las mismas especies pero de la zona de Pucallpa. Las diferencias encontradas pueden explicarse en parte con la edad de los árboles y la calidad de sitio, las cuales no pudieron controlarse en el estudio.

Cabe resaltar que cuando la madera es muy poco abrasiva y por lo tanto el desgaste del filo es mínimo, como en el caso de la Congona, las mejores fotografías se tomaron con un aumento de 150x y haciendo uso del máximo zoom óptico de la cámara (4x) con la resolución máxima de diez mega píxeles (10 MP). El zoom óptico de la cámara digital no alteró el factor de conversión a micrómetros.

Cuadro 3 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA INHERENTES AL DESGASTE DEL FILO PARA DOS ESPECIES FORESTALES

CARACTERÍSTICA	CONGONA <i>Brosimum alicastrum Sw.</i>		MASHONASTE <i>Clarisia racemosa R. y P.</i>	
	<i>La Merced</i>	<i>Pucallpa (1)</i>	<i>La Merced</i>	<i>Pucallpa (1)</i>
Contenido de Humedad (%)	18	52	12	94
Densidad Básica (g/cm ³)	0,55	0,68	0,70	0,59
Densidad Anhidra (g/cm ³)	0,76	0,78	0,87	0,64
Dureza Lateral (kg/cm ²)	544	741	876	690
Contenido de Sílice (%)	0,02	0,38	0,65	0,93
Contenido de Cenizas (%)	1,57	2,99	1,12	2,03
Grano	Recto	Entrecruzado	Entrecruzado	Entrecruzado
<i>Fuente: (1) Aróstegui (1975).</i>				

Se optó por el zoom óptico de la cámara y no por el digital para que la fotografía no perdiera demasiada resolución, es decir que la imagen fuese más nítida. Las ventajas de usar fotografías digitales es que se puede hacer un zoom luego de haberla tomado para verificar que ésta salió bien y además se puede hacer el mismo zoom una vez que se ha descargado a la computadora y así realizar una mejor observación de la medida en caso ésta requiera de dicho acercamiento.

Es importante precisar que a pesar que la madera de Congona no generó el desgaste del filo esperado durante los ensayos se pudieron apreciar una serie de defectos en la madera, sobre todo en el plano radial, que son propios de las variables del cepillado y no son producto del desgaste del filo. Los defectos encontrados en los tres planos de corte se muestran en el ANEXO 10.

Por último, se debe tener en cuenta que debido a la forma como se realizaron los ensayos el calor influyó de manera parcial en los resultados. Cada día se cepillaron 60 m de probetas con orientación tangencial, luego 60 m con orientación oblicua y por último 60 m con orientación radial, 30 m en la mañana y 30 m en la tarde por cada plano de corte. Eso significa que una misma sección de cuchilla sólo experimentaba al día dos fricciones constantes de 30 m cada 6

horas. Estas condiciones difieren mucho de las condiciones habituales del cepillado industrial, por lo que no fue posible cuantificar de alguna manera el efecto del calor y la fricción constante durante un día de trabajo de ocho horas, 16 horas o 24 horas (tres turnos diarios).

4.2 CONSUMO DE ENERGÍA

El consumo de energía eléctrica se analizó en base a un registro de 13800 lecturas: 6900 de intensidad de corriente eléctrica (en amperios) y 6900 de tensión eléctrica (en voltios).

Antes de mostrar los resultados en los ANEXOS 4 y 5 es oportuno destacar los siguientes puntos:

- La cepilladora posee dos motores: uno para la velocidad de alimentación de la madera y otro para la velocidad de corte de las cuchillas, por lo tanto las lecturas de intensidad de corriente corresponden a la cepilladora en su conjunto.
- La intensidad de corriente eléctrica se vio modificada aparentemente por el continuo ajuste de los pernos de la cepilladora para evitar la caída de los mismos debido a las constantes vibraciones de la máquina, como sucedió luego de los 1080 m cepillados. De allí que el aumento significativo de la intensidad de corriente eléctrica se puede atribuir más al ajuste de los pernos que al desgaste del filo.
- La investigación buscó detectar que se dispare el consumo de energía como consecuencia del desafilado de la cuchilla, evento que nunca sucedió a pesar de haber cepillado 3000 m de madera de Congona. Cabe mencionar que durante el transcurso de los ensayos se pudo verificar que la variación de la tensión eléctrica no influyó en la intensidad de corriente eléctrica de manera considerable por lo que su influencia se descartó.

La tensión eléctrica promedio medida por las mañanas fue de 211,91 voltios y por las tardes fue de 211,68 voltios. La mayor diferencia entre las lecturas promedio de la mañana y de la tarde para un mismo día fue de seis voltios. Los valores mínimo y máximo registrados durante el transcurso de los ensayos fueron 206 voltios y 216 voltios, respectivamente. En base a estas lecturas y a la verificación realizada al momento de digitar los datos de la intensidad de

corriente eléctrica y compararlos con los máximos y mínimos de la tensión eléctrica para indagar su influencia, se estableció que dichas fluctuaciones registradas en la tensión eléctrica no tuvieron mayor influencia en la intensidad de corriente eléctrica.

A continuación se muestra en la figura 3 el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica neta promedio por cada 60 m cepillados para los tres planos de corte hasta los 1800 m. Como se observa en la figura 3, luego de cepillados 1080 m se registra un aumento en la intensidad de corriente eléctrica que se debe al primer ajuste de los pernos de la cepilladora y no al desgaste del filo. Luego se aprecia un comportamiento para los tres planos de corte sin ninguna tendencia marcada a simple vista.

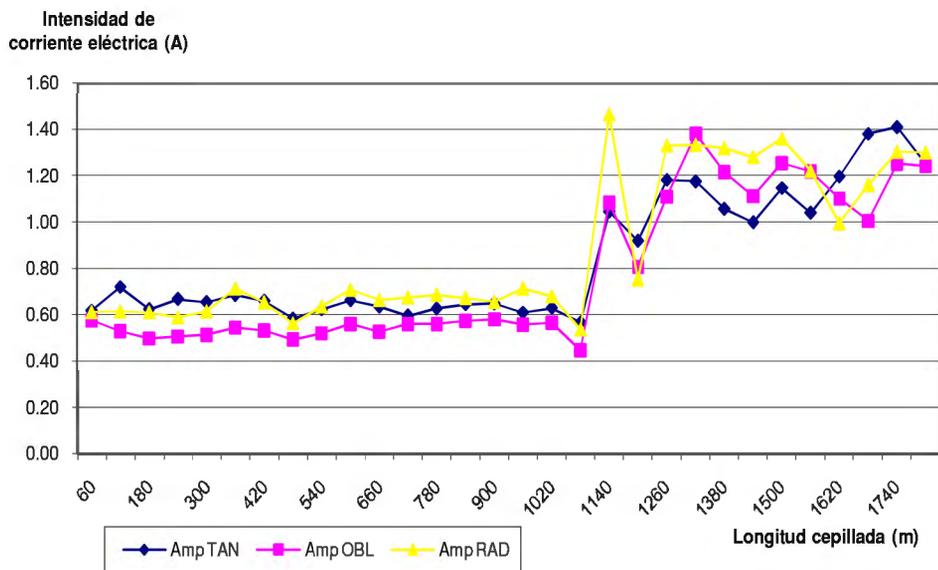


Figura 3 Comparación de la intensidad de corriente eléctrica neta producida por el cepillado de madera de Congona según el plano de corte.

Desde el inicio de los ensayos, se trabajó con la cepilladora sin hacer el ajuste de los pernos que tensan la cadena para la alimentación de la madera. Al no estar firmemente anclada a su base, las continuas vibraciones ocasionaron que los pernos que tensan la cadena se fueran soltando hasta que a una longitud cepillada de 1080 m uno de los pernos de la máquina se desprendió, lo cual obligó a realizar el primer ajuste de todos los pernos, producto del cual la intensidad de corriente eléctrica aumentó apreciablemente. Mediante un estudio de comparación de tasas de crecimiento de la intensidad de corriente eléctrica antes del ajuste de pernos y luego del mismo se determinó la tasa promedio de incremento de la intensidad de corriente eléctrica para cada tramo y cada sección. En el cuadro 4 se puede apreciar el cambio de signo de la tasa de incremento de la intensidad de corriente eléctrica.

Cuadro 4 TASA PROMEDIO DE INCREMENTO DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA (%)

LONGITUD CEPILLADA (m)	PLANO DE CORTE		
	TANGENCIAL	OBLICUA	RADIAL
Primer tramo: De 1 a 1079	- 3,51	- 23,46	- 8,12
Segundo tramo: De 1080 a 1800	27,07	38,25	37,40

En la primera etapa, en las tres secciones de corte, la tasa de incremento de la intensidad de corriente eléctrica neta es negativa siendo más evidente en la sección oblicua con un $- 23,46\%$ y en la segunda etapa en las tres secciones es positiva y mucho más elevada también en la sección oblicua con un $38,25\%$. La primera etapa demuestra que el consumo de energía de la cepilladora era menor en la parte correspondiente al motor para la alimentación de la madera, debido a una velocidad de alimentación menor a la fijada en un inicio al no estar ajustados los pernos para el tensado de la cadena del sistema de alimentación.

4.2.1 REGRESIONES LINEALES Y CUADRÁTICAS DE CONSUMO DE ENERGÍA

En el cuadro 5 se muestran los resultados significativos que permiten afirmar que de alguna manera la variable longitud cepillada es importante para predecir el valor de la variable intensidad de corriente eléctrica neta.

Los resultados de las regresiones cuadráticas mostraron un coeficiente de determinación superior al de las regresiones lineales en 20% y se presentan en el cuadro 5 por considerarse un aumento sustancial para cambiar del modelo lineal al modelo cuadrático.

Del cuadro 5 se desprende que el 90,91% (20) de los resultados revelan que el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica neta frente a la longitud cepillada se ajusta más a un modelo de tipo lineal que a uno de tipo cuadrático.

El 68,18% (15) de las ecuaciones provienen de regresiones a partir del 100% de los datos lo cual afianza la variable longitud cepillada como importante para predecir el valor de la variable intensidad de corriente eléctrica, mientras que el 31,82% (siete) de las regresiones significativas se obtuvieron a partir de datos promedios.

El comportamiento teórico de la longitud cepillada para predecir la variable intensidad de corriente eléctrica neta, debería de cumplirse en todo momento, tanto en tramos largos como cortos, pero sobre todo en tramos cortos por constituir una forma práctica de verificar en cualquier momento la existencia de la relación de dependencia entre dichas variables.

Las regresiones lineales y cuadráticas se realizaron tomando los siguientes tramos en metros para la longitud cepillada de: 1-300, 301-600, 601-900, 901-1200, 1201-1500, 1501-1800, 1801-2100, 2101-2400, 2401-2700, 2701-3000, 1-1080, 1-1800, 1-3000, 1081-1380, 1081-1800, 1081-3000 y 1801-3000. De 148 posibles regresiones (entre lineales y cuadráticas) el 14,86% (22) fueron significativas y tan sólo dos regresiones cuadráticas resultaron con mejores coeficientes de determinación que sus respectivas regresiones lineales para ser incluidas.

Cuadro 5 COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN (%) DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

TRAMO CEPILLADO (m)		PLANO TANGENCIAL		PLANO OBLICUO		PLANO RADIAL	
		<i>Lineal</i>	<i>Cuadrática</i>	<i>Lineal</i>	<i>Cuadrática</i>	<i>Lineal</i>	<i>Cuadrática</i>
1-1800	Prom.	69,4	N.S	70,4	N.S	63,9	N.S
	Indiv.	50,5	N.S	55,9	N.S	51,2	N.S
1-1080	Prom.	22,1	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
1081-1380	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	5,0	N.S	13,4	N.S	N.S	N.S
1081-1800	Prom.	50,1	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	14,9	N.S	5,7	N.S	N.S	N.S
1-300	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	8,6	N.S	N.S	N.S
301-600	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
601-900	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
901-1200	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
1201-1500	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
1501-1800	Prom.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	10,6	N.S	4,4	N.S	7,8	N.S
1-3000	Prom.			N.S	56,1		
	Indiv.			24,6	N.S		
1081-3000	Prom.			N.S	N.S		
	Indiv.			N.S	N.S		
1801-3000	Prom.			N.S	43,8		
	Indiv.			N.S	N.S		
1801-2100	Prom.			N.S	N.S		
	Indiv.			N.S	N.S		
2101-2400	Prom.			N.S	N.S		
	Indiv.			N.S	N.S		
2401-2700	Prom.			N.S	N.S		
	Indiv.			7,4	N.S		
2701-3000	Prom.			N.S	N.S		
	Indiv.			9,2	N.S		

N.S = no significativa. Prom. = Usando datos promedios. Indiv. = Usando datos individuales.

Se esperaban regresiones significativas sobre todo en el plano oblicuo el cual se ajusta más a las condiciones de trabajo de la industria maderera aunque en realidad se obtuvieron más regresiones no significativas. Si se hubiera realizado únicamente la regresión al tramo completo

de 1800 m, se hubiera concluido de que sí se puede predecir el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica a través de la longitud cepillada, incluso se hubiera concluido que existía una buena asociación lineal entre la intensidad de corriente eléctrica y la longitud cepillada debido a que se encontró un coeficiente de determinación superior al 50% y en un caso superior al 70%.

Cuando las regresiones comprenden tramos cepillados de 300 m, el número de resultados significativos es mínimo. En la sección tangencial y radial sólo se obtuvo resultado significativo en el tramo final de 1501 a 1800 m y ni siquiera usando los datos promedios cada 60 m sino usando los datos individuales. En la sección oblicua las regresiones con resultados significativos son discontinuas, en el primer y último tramo, haciendo uso también de los datos individuales.

Como se desprende del cuadro 5 ninguno de los tres planos de corte presenta un patrón definido en el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica con la longitud cepillada. En líneas generales se observa que el 31,82% (siete) de las regresiones significativas corresponden al plano tangencial, el 54,55% (12) corresponden al plano oblicuo y el 13,63% (tres) al plano radial. Asimismo, de las nueve regresiones con un coeficiente de determinación alto (superior al 40%), el 44,45% (cuatro) corresponden al plano oblicuo, el 33,33% (tres) corresponden al plano tangencial y el 22,22% (dos) al plano radial.

Analizando el tramo cepillado de 1800 a 3000 m para el plano oblicuo, se observa que en los tramos cortos las regresiones sólo resultan significativas cuando se utilizan los datos individuales y no así al usar los datos promedios y en los tramos más largos (de 1 a 3000 m y de 1801 a 3000 m) las regresiones resultan significativas usando los datos promedios cuando son cuadráticas, lo que significa que el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica neta frente a la longitud cepillada se ajusta más a un modelo de tipo cuadrático que a uno de tipo lineal, para los tramos aludidos.

Analizando el Cuadro 5 en función de los tramos, se puede observar que el 27,27% (seis) de las regresiones significativas correspondieron al tramo de los primeros 1800 m; asimismo un 13,63% (tres) para los tramos de 1081 a 1800 m y de 1501 a 1800 m, respectivamente; También un 9,09% (dos) para los tramos de 1081 a 1380 m, de 1 a 3000 m y de 1801 a 3000 m

respectivamente; y finalmente un 4,55% (una) de regresiones resultaron significativas para los tramos de 1 a 1080 m, de 1 a 300 m, de 2401 a 2700 m y de 2701 a 3000 m, respectivamente. No se obtuvieron regresiones significativas para los tramos cepillados de 301 a 600 m, de 601 a 900 m, de 901 a 1200 m, de 1201 a 1500 m, de 1081 a 3000 m, de 1801 a 2100 m y de 2101 a 2400 m.

Cabe indicar que cuando la regresión en un tramo seleccionado resulta significativa tanto haciendo uso de los datos promedios como haciendo uso de los datos individuales, siempre el coeficiente de determinación proveniente de los valores promedios será mayor que el coeficiente de determinación proveniente del uso de los valores individuales. Esto es comprensible debido a que los datos promedios presentan menos variabilidad entre los mismos.

A pesar que los datos no son muy favorables para la práctica de control del desgaste del filo en el cepillado de la Congona, considerando que sólo muestran cierta dependencia en algunos tramos o en tramos demasiado amplios (figura 5), por el comportamiento obtenido con el Mashonaste, no se debe descartar la existencia de dependencia y continuidad para especies más abrasivas que la Congona utilizada en los ensayos descritos.

En el caso del Mashonaste, la variable longitud cepillada demostró ser importante para predecir el comportamiento de la variable intensidad de corriente eléctrica neta, teniendo en cuenta la significancia de las regresiones lineales no así las cuadráticas. La significancia fue muy alta al hacer uso de los datos promedios por cada 30 m (y no así por cada 60 m) mostrando un coeficiente de determinación superior al 80%, lo que evidencia la existencia de una excelente asociación lineal entre las variables aludidas (figura 4).

Sin embargo esta significancia fue baja al hacer uso de los datos individuales (ANEXO 11). No obstante aún faltan más estudios para determinar si este comportamiento inicial se mantiene después de una longitud cepillada superior a los 300 m y en tramos aún más largos (superiores a los 3000 m).

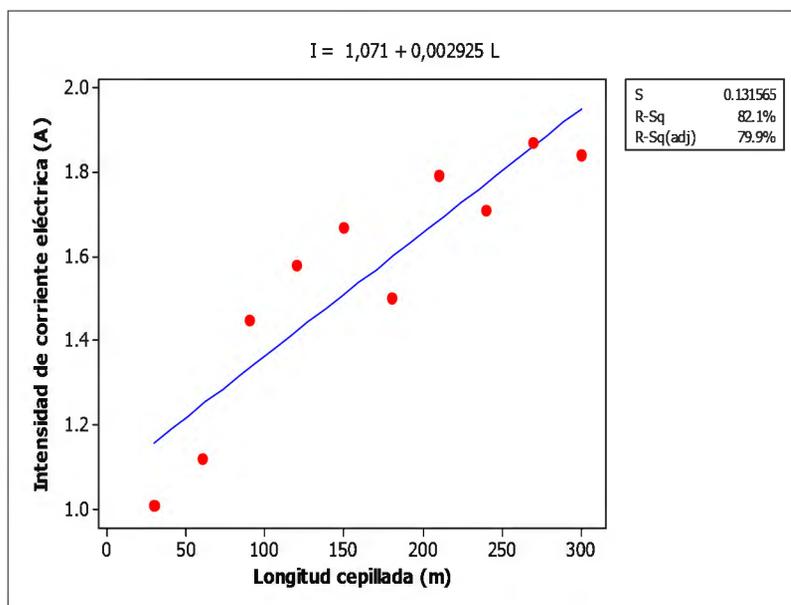


Figura 4 Línea de regresión lineal calculada a partir de datos promedios de intensidad de corriente eléctrica con la madera de Mashonaste de sección oblicua.

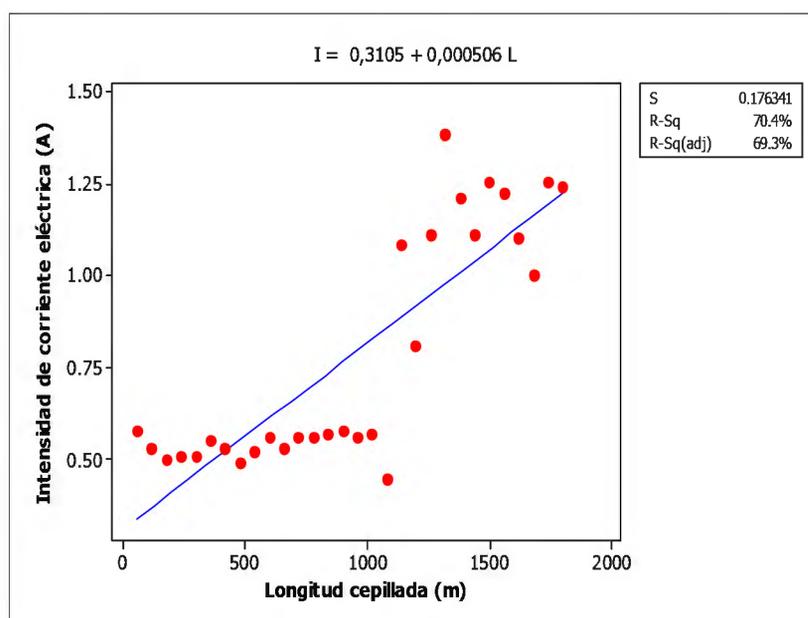


Figura 5 Línea de regresión lineal calculada a partir de datos promedios de intensidad de corriente eléctrica con la madera de Congona de sección oblicua.

4.2.2 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA

En el cuadro 6 se muestra el grado de significancia de consumo de energía según el plano de corte y la longitud cepillada. La interacción que existe entre el plano de corte y la longitud cepillada se interpreta como un efecto combinado sobre la intensidad de corriente eléctrica. En la figura 5 se confirma su grado de interacción mediante los distintos entrecruzamientos.

Cuadro 6 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CEPILLADO DE CONGONA DE 1 A 1500 M

<i>Fuente de Variabilidad</i>	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio del error</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Significancia</i>
Plano de corte	2	1,0012	0,5006	57,27	Significativo
Longitud cepillada	4	25,5893	6,3973	731,83	Significativo
Interacción	8	0,6407	0,0801	9,16	Significativo
Error	435	3,8026	0,0087	-	-
Total	449	31,0338	-	-	-

Analizando el cuadro 6 se observa que la longitud cepillada y el plano de corte no sólo influyen sobre la intensidad de corriente eléctrica, sino que también interactúan entre ellas. Esto demuestra que al menos uno de los tramos cepillados es diferente a los otros, así como uno de los planos de corte difiere del resto. Para determinar las similitudes entre los tramos cepillados así como entre los planos de corte se realizó la prueba de Tukey, cuyos resultados se muestran en los cuadros 7 y 8.

El análisis del cuadro 7 es algo complejo pues toma en cuenta las consideraciones expresadas al inicio del ítem 4.2. A simple vista se observa que existe una similitud entre las medias de los tres primeros tramos (A, B y C) formando una categoría inferior, seguida de una categoría intermedia (D) que difiere de A, B y C así como de E y finalmente existe una categoría superior (E), cuyas medias son mucho mayores que de las categorías anteriores.

La interpretación estadística de estos resultados permite detectar un crecimiento gradual en la intensidad de corriente a partir del tramo D que luego aumenta de tal manera que el último tramo (E) es mayor que los tres primeros y el cuarto, lo cual sería un indicador de un desgaste significativo de la cuchilla. Sin embargo esto no es así, porque a partir del tramo D (de 901 a 1200 m) en que se realiza el ajuste de los pernos de la cepilladora, se dispara el consumo de

energía de manera abrupta y se mantiene al proseguir con los ensayos. De allí que los valores promedios de intensidad de corriente eléctrica son una mezcla de valores sin ajuste y con ajuste de pernos. El comportamiento en el tramo E se explica debido a que los valores promedios tienen la influencia del ajuste de pernos, por lo que se mantienen elevados y difieren significativamente del tramo D. Esta afirmación se puede corroborar al no encontrar evidencia alguna de desgaste en el filo de la cuchilla, ni defectos de quemado en la madera producto del supuesto desgaste significativo.

Cuadro 7 PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA DE 1 A 1500 M CON MADERA DE CONGONA

TRAMO CEPILLADO	Intervalos de confianza al 95%			SIGNIFICANCIA
	Valor Inferior	Valor Central	Valor Superior	
A – B	- 0,02808	0,01267	0,05342	No significativo
A – C	- 0,01586	0,02489	0,06564	No significativo
A – D	0,12292	0,16367	0,20442	SIGNIFICATIVO
A – E	0,58714	0,62789	0,66864	SIGNIFICATIVO
B – C	- 0,02853	0,01222	0,05297	No significativo
B – D	0,11025	0,15100	0,19175	SIGNIFICATIVO
B – E	0,57447	0,61522	0,65597	SIGNIFICATIVO
C – D	0,09803	0,1388	0,1795	SIGNIFICATIVO
C – E	0,56225	0,6030	0,6437	SIGNIFICATIVO
D – E	0,4235	0,4642	0,5050	SIGNIFICATIVO

A = 1-300 m; B = 301-600 m; C = 601-900 m; D = 901-1200 m; E = 1201-1500 m.

En el cuadro 8 se aprecia que los tres planos de corte presentan resultados significativos, de donde se deduce que son grupos no comparables y que sus medias son diferentes. Las diferencias entre las medias de los tres planos de corte se deben básicamente a la estructura interna de la Congona. La disposición de sus elementos xilemáticos, en especial la de los radios genera un mayor consumo de energía cuando se cepilla el plano radial y un consumo menor cuando se cepilla el plano tangencial. La diferencia entre ambos planos es considerable por lo que el plano oblicuo, al ser un plano intermedio entre el radial y tangencial, se manifiesta como una interacción que forma una categoría propia con medias no comparables con los planos extremos radial y tangencial.

Cuadro 8 PRUEBA DE TUKEY PARA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA DE 1 A 1500 M CON MADERA DE CONGONA

PLANO DE CORTE	Intervalos de confianza al 95%			SIGNIFICANCIA
	Valor Inferior	Valor Central	Valor Superior	
Oblicuo – Radial	0,08840	0,11547	0,14253	SIGNIFICATIVO
Oblicuo – Tangencial	0,03420	0,06127	0,08833	SIGNIFICATIVO
Radial – Tangencial	- 0,08127	- 0,05420	- 0,02713	SIGNIFICATIVO

La figura 6 muestra los entrecruzamientos tanto entre los distintos tramos cepillados como entre los tres planos de corte, lo cual corrobora la existencia de un efecto combinado entre el plano de corte y la longitud cepillada sobre la intensidad de corriente eléctrica. El detalle de los análisis de variancia con sus pruebas de Tukey, para la intensidad de corriente eléctrica y la rugosidad superficial, se presentan en los ANEXOS 11 al 14.

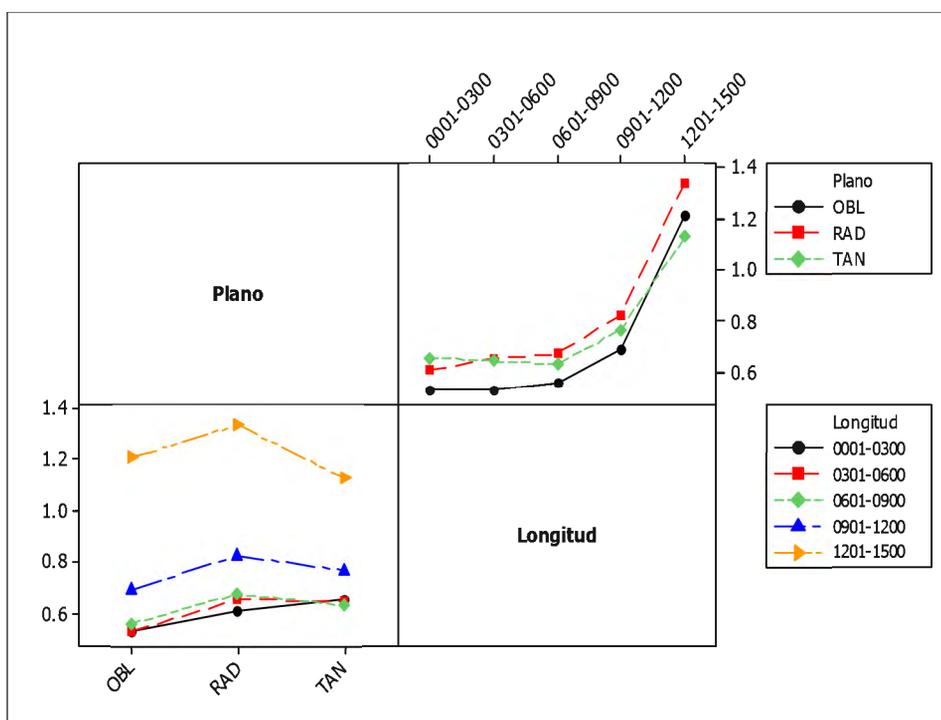


Figura 6 Interacción entre plano de corte y longitud cepillada sobre la intensidad de corriente eléctrica.

En el cuadro 9 se aprecia una referencia del comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica neta en los tres planos de corte, con la salvedad que el tramo seleccionado para la Congona es más amplio que para el Mashonaste, porque abarca el cepillado de 1 a 1800 m.

Cuadro 9 VARIABILIDAD DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA NETA (A) CON LA MADERA DE DOS ESPECIES FORESTALES

PARÁMETRO ESTADÍSTICO	CONGONA			MASHONASTE
	Tangencial hasta 1800 m	Oblicuo hasta 1800 m	Radial hasta 1800 m	Oblicuo hasta 300 m
N	1734	1775	1785	360
Promedio	0,82682	0,78017	0,88090	1,5542
Moda	0,60	0,50	0,60	1,10
Valor Máximo	1,80	2,10	2,00	2,80
Valor Mínimo	0,10	0,30	0,20	0,50
Variancia	0,09187	0,129989825	0,126266012	0,1837
Desviación Estándar	0,30309	0,36054	0,35534	0,4286
Coficiente de Variación (%)	36,65	46,21	40,38	27,58

La intensidad de corriente eléctrica neta en promedio es mayor en el plano radial, seguido por el plano tangencial y el plano oblicuo. De otro lado, comparando solo el plano oblicuo, se aprecia que la intensidad de corriente eléctrica neta del Mashonaste duplica a la intensidad consumida por la Congona. Asimismo los consumos de la Congona, son más variables que los del Mashonaste, siendo su consumo en el plano tangencial menos variable que en sus planos radial y oblicuo. Una mejor idea del comportamiento del consumo de corriente eléctrica neta de la Congona en comparación al Mashonaste se puede tener observando la figura 7.

En relación al consumo de energía es oportuno precisar que durante el cepillado de las probetas por el mismo canto, dos de las 30 probetas de corte tangencial empezaron a sufrir deformaciones excesivas de encorvadura, por las tensiones internas de la madera, motivo por el cual ambas probetas generaron un consumo ligeramente mayor a las demás. Esta anomalía se hizo más evidente a partir del cepillado de 1080 m, por el consumo de energía mucho mayor que las del resto. Aunque estos datos se descartaron del análisis de resultados, vale la pena recalcar que la madera tensionada ocasionará un mayor consumo de energía.

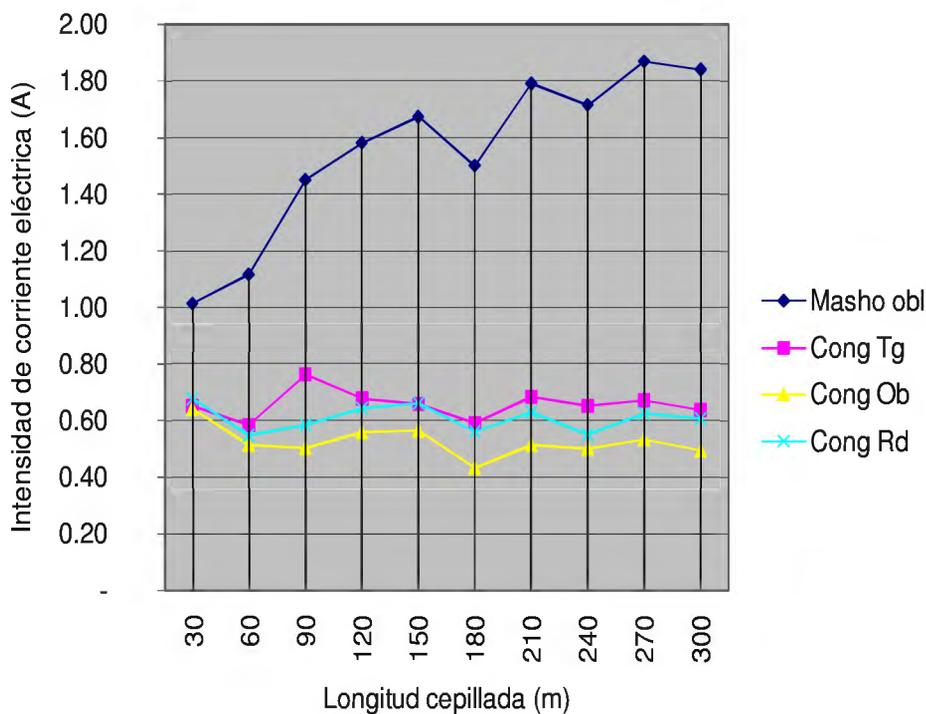


Figura 7 Comparación de la intensidad de corriente eléctrica neta consumida por las maderas de Congona y Mashonaste.

En la práctica industrial estas probetas no se seguirían cepillando debido a la severidad del defecto, sin embargo, se pudo mantener un registro del alto consumo generado por las mismas y hacer una comparación con el resto de las probetas sin defectos, la cual se puede apreciar en el cuadro 10, en donde el incremento en la primera etapa no es nada despreciable y luego de realizar el ajuste de los pernos el incremento supera el 50 %.

Cuadro 10 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ENTRE PROBETAS CON DEFECTO DE ENCORVADURA Y LIBRES DEL MISMO

PLANO TANGENCIAL CONGONA	Intensidad de Corriente Eléctrica (A)		Incremento de corriente eléctrica	
	Con probetas libres de defecto	Con probetas encorvadas	(A)	(%)
Primer tramo	0,64	0,75	0,11	17,18
Segundo tramo	0,84	1,33	0,49	58,60

4.3 RUGOSIDAD SUPERFICIAL

En cuanto a los resultados de la rugosidad superficial (ANEXOS 4 y 5), cabe mencionar que fue crucial determinar el parámetro de rugosidad a medir en los ensayos (R_a , R_y , R_z , R_q o R_t) por su utilidad para evaluar la calidad de superficie de la Congona, así como el de mejor interacción con las variables consumo de energía y desgaste del filo.

En el cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos para los distintos parámetros de rugosidad de la Congona en sus tres planos de corte, teniendo en cuenta que no existió mayor desgaste del filo de la cuchilla. Cabe mencionar que para el caso del Mashonaste debido a la pésima calidad de superficie, no fue necesario medir la rugosidad. A partir de este cuadro se puede ver que hay cierta similitud entre los valores de R_a y R_q , así como entre los valores de R_y y R_t , siendo R_z el que posee valores intermedios.

El promedio de la rugosidad es mayor en el plano radial, lo cual coincide con el comportamiento de la intensidad de corriente eléctrica neta, seguido por el plano oblicuo y el plano tangencial. Los datos mantienen una variabilidad bastante cercana entre los distintos parámetros de rugosidad pero comparados con la variabilidad de la intensidad de corriente eléctrica neta se puede afirmar en términos generales que los datos de rugosidad tienen menos variabilidad que los datos de la intensidad de corriente eléctrica neta.

Una consideración importante para la rugosidad superficial es la naturaleza de la madera de caracterizarse por un perfil bastante variable y heterogéneo que dificulta la lectura de un rugosímetro bien calibrado y bastante exacto en sus mediciones; además de ser muy sensible por la medida de rugosidad en micrómetros que detectará cualquier variación, por más pequeña que sea reflejándose en la rugosidad.

Al colocar el rugosímetro en un mismo punto y sin moverlo en lo absoluto, se hicieron varias lecturas y todas presentaron cierta variación. Si además de ello, después de cada lectura se levantaba el rugosímetro con la intención de colocarlo nuevamente en el punto donde se había registrado la lectura anterior, pues la variación era mayor; y si se movía el rugosímetro para ponerlo en sentido contrario al de la primera lectura, la variación aumentaba aún más. Cuando se colocaba el rugosímetro en otro lugar del canto de la probeta pues la variación aumentaba mucho más.

Cuadro 11 VARIABILIDAD DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL CEPILLADO DE CONGONA POR PLANO DE CORTE

PARÁMETRO ESTADÍSTICO	TANGENCIAL					OBLICUO					RADIAL				
	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt
Media (µm)	5,01	68,19	48,29	7,52	70,63	5,19	67,55	48,34	7,63	70,55	5,64	69,28	48,01	8,12	72,22
Moda (µm)	4,97	55,32	46,98	7,77	69,39	4,89	70,09	44,85	6,6	67,73	4,8	73,2	45,47	7,82	78,39
Valor máximo (µm)	8,62	115,5	81,16	13,69	128	9,23	130,4	93,13	13,23	130,4	10,37	129,8	91,3	15,7	129,8
Valor mínimo (µm)	2,4	25,33	22,81	3,19	26,13	2,65	28,9	24,28	3,71	29,55	2,99	25,01	20,77	3,99	26,31
Variación	0,92	175,98	95,6	2,42	178,14	1,56	155,75	98,69	2,82	163,83	1,11	187,18	83,45	2,38	190,75
Desviación estándar	0,96	13,27	9,78	1,56	13,25	1,25	12,48	9,93	1,68	12,8	1,05	13,68	9,14	1,54	13,81
Coef. de variación (%)	19	19	20	21	19	24	18	21	22	18	19	20	19	19	19

Todo esto confirma la gran sensibilidad del rugosímetro al utilizarlo en una misma probeta. Se puede inferir que si esto ocurre en una misma probeta, es muy probable que la variabilidad sea mayor cuando las probetas provengan de árboles distintos así como de lugares distintos.

Se debe tener en cuenta que por motivos de la investigación se decidió tomar las lecturas de rugosidad en las probetas 10, 20 y 30 por cada sección de corte, para reducir la variabilidad propia de la madera, lo cual tiene sus ventajas y desventajas. La ventaja es que al disminuir esta variabilidad, se puede tratar de encontrar algún tipo de patrón o interacción existente entre la variable rugosidad y las otras dos variables (desgaste del filo y consumo de energía). La desventaja es que obtenido algún tipo de patrón, será muy difícil de replicarlo en la práctica, debido a que cepillar una misma probeta varias veces es algo que solo se hace en forma experimental pero no sucede en la práctica diaria.

4.3.1 REGRESIONES LINEALES Y CUADRÁTICAS DE RUGOSIDAD

Para determinar el tipo de correlación existente entre rugosidad superficial y longitud cepillada se procedió a realizar un análisis de regresión simple con los datos hallados para cada plano de corte.

Estas regresiones se hicieron en varios tramos o secuencias del ensayo con el fin de comparar los resultados y encontrar algún tipo de patrón. También se hicieron regresiones cuadráticas para determinar la regresión que se ajustaba mejor al modelo. En el cuadro 12 se muestran únicamente los valores de los resultados significativos.

Para el caso de la rugosidad superficial no resultaron significativas las regresiones cuadráticas pues ninguna llegó a superar el coeficiente de determinación de las regresiones lineales en más de 20%, por lo tanto todos los resultados presentados en el cuadro 12 corresponden a regresiones lineales ordenadas en función del plano de corte y tramo cepillado.

Cuadro 12 COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN (%) DE REGRESIONES SIGNIFICATIVAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN CONGONA

TRAMO CEPILLADO (m)		TANGENCIAL					OBLICUO					RADIAL				
		Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt
1- 1500	Prom	45,7	21,3	24,8	32,1	20,5	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	32,3	26,5	19,8	25,9	20,1
	Indiv.	9,3	N.S	N.S	6,0	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	5,7	5,0	N.S	4,1	N.S
1-300	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
301- 600	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
601- 900	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
901- 1200	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
1201- 1500	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
1501- 1800	Prom	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
	Indiv.	N.S	N.S	67,3	71,5	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
		N.S = No significativa					Prom. = Usando datos promedios.					Indiv. = Usando datos individuales.				

Analizando el cuadro 12 se puede apreciar que todos los resultados significativos encontrados provienen de regresiones lineales, lo que significa que el comportamiento de los cinco parámetros de rugosidades frente a la longitud cepillada se ajusta más a un modelo de tipo lineal que a uno de tipo cuadrático.

En teoría, si la variable longitud cepillada es importante para predecir el valor de la variable rugosidad en cualquiera de sus cinco parámetros, esto debería de cumplirse en todo momento, tanto en tramos largos como cortos pero incluso más importante sería que se cumpla en tramos cortos, debido a que es una forma práctica de verificar en cualquier momento si existe o no relación de dependencia entre dichas variables.

Por esta razón se realizaron regresiones lineales y cuadráticas tomando distintas longitudes de cepillado en metros para los siguientes tramos: 1-300, 301-600, 601-900, 901-1200, 1201-1500, 1501-1800 y 1-1500. De 210 posibles resultados significativos de regresiones lineales tan sólo 17 (18,1%) fueron significativos. También se realizaron 210 regresiones cuadráticas pero los resultados significativos obtenidos, al no superar en 20% el coeficiente de determinación de sus respectivas regresiones lineales, no justificaron el cambio de modelo.

Se esperaba obtener resultados significativos sobre todo en el plano oblicuo que es el trabajado comúnmente bajo condiciones de trabajo industrial, pero no se registró ningún resultado significativo para este plano. Si se hubiera realizado únicamente la regresión al tramo completo de 1500 m, tanto para el plano tangencial como para el radial, se hubiera concluido que se puede predecir el comportamiento de los distintos parámetros de rugosidad a través de la longitud cepillada, incluso se hubiera concluido que existía una buena asociación lineal entre la rugosidad superficial y la longitud cepillada debido a que se encontró un coeficiente de determinación superior al 30% y en un caso superior al 40%.

El 58,82% (diez) de las ecuaciones provienen de regresiones a partir de los datos promedios, lo cual no proporciona confiabilidad a la variable rugosidad superficial para predecir a la variable intensidad de corriente eléctrica, mientras que el 41,18% (siete) de las regresiones significativas se obtuvieron a partir de datos individuales.

En los tres planos de corte, las regresiones de los tramos cepillados de 1 a 300 m, de 301 a 600 m, de 601 a 900 m, de 901 a 1200 m y de 1201 a 1500 m, resultaron no significativas. En la sección tangencial como radial los cinco parámetros de rugosidad presentan resultados significativos en el tramo de 1 a 1500 m, pero en tramos más cortos no existe un patrón definido. Como puede deducirse a partir del cuadro 11, en ninguno de los tres planos de corte se encontró un patrón definido. En términos generales se observa que de las regresiones significativas encontradas el 52,94% (nueve) corresponden al plano tangencial y el 47,06% (ocho) al plano radial mientras que ninguna corresponde al plano oblicuo. Asimismo, de las tres regresiones con un coeficiente de determinación superior al 40%, el 100% corresponden al plano tangencial.

El comportamiento poco favorable de los datos, que muestran cierta dependencia en algunos tramos y no en todos, no ayuda para su utilización práctica. A pesar de ello no se debe descartar esta dependencia y continuidad cuando se trabaje con especies más abrasivas que la Congona utilizada en estos ensayos, debido a que una madera abrasiva si generaría un mayor desgaste del filo y éste a su vez generaría una peor calidad de superficie factible de medirse, lo cual sólo se pudo observar al inicio con las probetas de Mashonaste pero luego de cepillar varias veces el canto, éste resultó con grano astillado lo que descartó su medición.

Del análisis del 100% de las regresiones con resultados significativos presentadas en el cuadro 11 se desprende que el 88,24% (15) correspondieron al tramo de 1 a 1500 m y el 11,76% (dos) correspondieron al tramo entre 1500 y 1800 m.

De los cinco parámetros de rugosidad utilizadas (Ra, Ry, Rz, Rq y Rt), respondieron mejor Ra (con el 23,53% de las regresiones significativas) y Rq (con el 29,41%) siendo Ra el que obtuvo mayor valor en su coeficiente de determinación y se impuso en todo momento, mostrando mayor practicidad para el tipo de estudio realizado. En las figuras 8 y 9 se muestran las respectivas ecuaciones de regresión lineal del parámetro de rugosidad media (Ra) por ser el más sensible para este tipo de estudio y proporcionar una mejor idea de su comportamiento. En las figuras aludidas se aprecia Ra con sus respectivos coeficientes de determinación según el tramo cepillado y el tipo de dato utilizado.

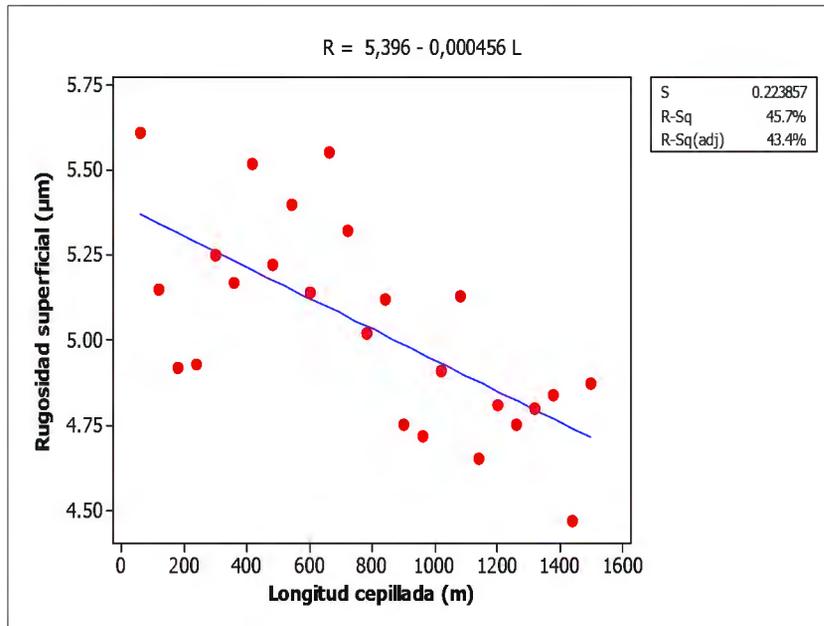


Figura 8 Línea de regresión de la rugosidad media (Ra) con la longitud cepillada en la madera de Congona de sección tangencial para el tramo de 1 a 1500 m.

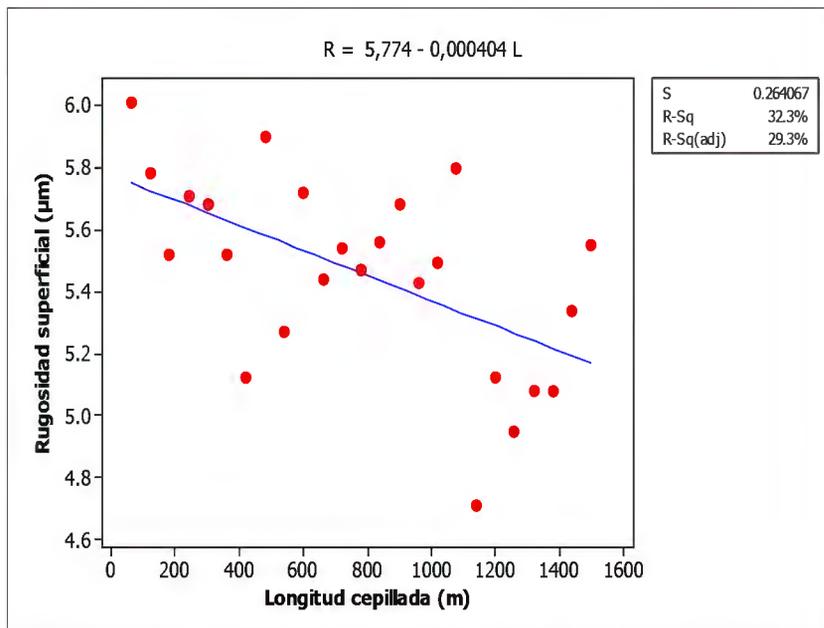


Figura 9 Línea de regresión de la rugosidad media (Ra) con la longitud cepillada en la madera de Congona de sección radial para el tramo de 1 a 1500 m.

4.3.2 ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL

A partir de las regresiones lineales y cuadráticas para los cinco parámetros de rugosidad (R_a , R_y , R_z , R_q y R_t) se determinó que la rugosidad media (R_a) es el parámetro que mejor describe a la rugosidad superficial.

En el cuadro 13 se muestra el grado de significancia de la rugosidad superficial según el plano de corte y la longitud cepillada. El cuadro 13 permite observar que el plano de corte así como la longitud cepillada y la interacción entre ambos resultaron no significativos, con lo cual se determina que la rugosidad superficial no está influenciada por el plano de corte ni por la longitud cepillada.

Cuadro 13 ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LA RUGOSIDAD MEDIA EN EL CEPILLADO DE LA MADERA DE CONGONA DE 1 A 1500 M

<i>Fuente de Variabilidad</i>	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio del error</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Significancia</i>
Plano de corte	2	2,0949	1,0474	1,66	No significativo
Longitud cepillada	4	0,7015	0,1754	0,28	No significativo
Interacción	8	0,8046	0,1006	0,16	No significativo
Error	30	18,9107	0,6304	-	-
Total	44	22,5117	-	-	-

Asimismo, se verifica que no existe evidencia de un efecto combinado de ambos factores sobre la rugosidad. Es decir que las medias de los diferentes planos de corte así como entre los tramos seleccionados son similares, por lo tanto pueden considerarse grupos de datos comparables entre sí que no justifican realizar la prueba de Tukey.

En la figura 9 se muestra la interacción del plano de corte con la longitud cepillada sobre la rugosidad superficial (R_a), debido a que teóricamente debería existir un paralelismo entre las líneas resultantes para afirmar que no existe dicha interacción; sin embargo esto no se cumple de una manera fehaciente a pesar que el análisis de variancia indica la ausencia de la interacción del plano de corte con la longitud cepillada.

La figura 10 permite apreciar que el tramo de 901 a 1200 m registra una disminución de la rugosidad superficial, en lugar del incremento esperado. Comparando la figura 6 con la 10 se puede observar que los incrementos tanto en la intensidad de corriente eléctrica como en la rugosidad superficial guardan cierta relación con los planos de corte, de manera que los mayores valores de intensidad de corriente así como de rugosidad superficial corresponden al plano radial, seguidos por los planos tangencial y oblicuo.

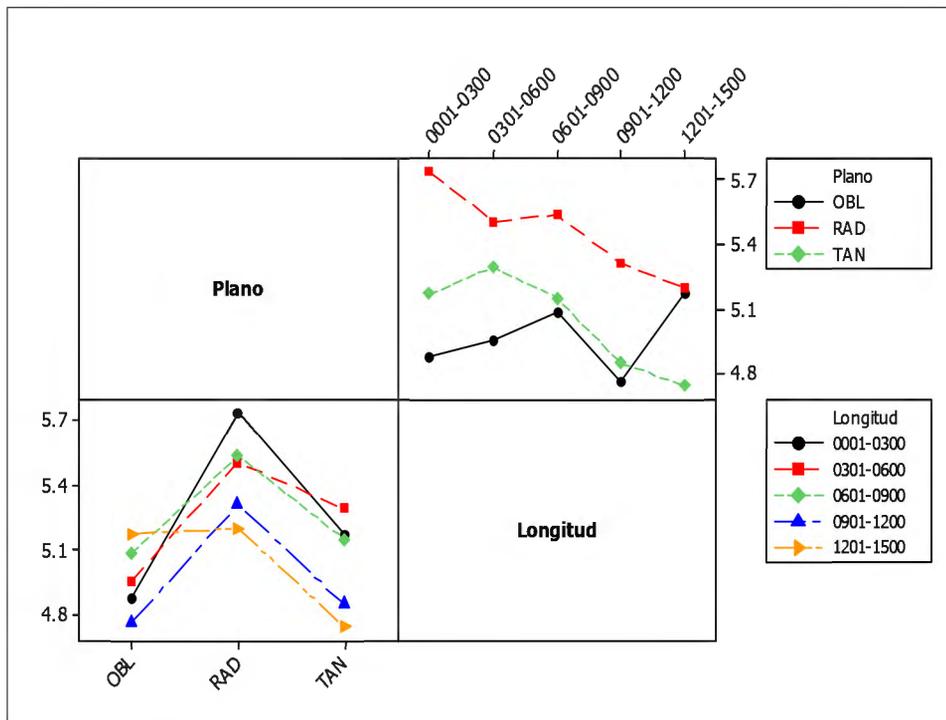


Figura 10 Interacción del plano de corte con la longitud cepillada sobre la rugosidad superficial.

5. *CONCLUSIONES*

1. La madera de Congona proveniente de selva central (La Merced) en contraste con la madera de Mashonaste, no permite estimar el desgaste del filo de la cuchilla mediante el consumo de energía y la rugosidad superficial en el cepillado por los tres planos de corte.
2. La limitación para estimar el desgaste de las cuchillas en el cepillado de la madera de Congona, a partir del consumo de energía y la rugosidad superficial, responde a su escasa abrasividad atribuida a los valores bajo de sílice y medio de dureza lateral.
3. La madera de Mashonaste estudiada indica que podría estimarse el desgaste del filo de la cuchilla en función del consumo de energía.
4. En la madera de Congona estudiada tanto el plano de corte como la longitud cepillada influyen sobre la intensidad de corriente eléctrica mas no sobre la rugosidad superficial.
5. Los tres planos de corte de la madera de Congona generan intensidades de corriente eléctrica diferentes y rugosidades superficiales similares.

6. RECOMENDACIONES

1. Calcular la tasa de desgaste del filo a partir de pequeñas despostilladuras provocadas de manera intencional sobre la cuchilla nueva, para permitir un seguimiento más preciso de dicha despostilladura.
2. Con esta nueva metodología de despostilladuras inducidas se debe estudiar las tasas de desgaste del filo para establecer distintas categorías de maderas abrasivas con sus tasas de desgaste del filo.
3. En el caso de desgastes despreciables del filo es preferible medir la despostilladura con un microscopio compuesto provisto de una reglilla micrométrica y una cámara digital acoplada al mismo cada cierta longitud cepillada para permitir su comparación.
4. Las microfotografías tomadas con un aumento de 150x y un zoom óptico de la cámara digital de 4x con una resolución de 10 mega píxeles permiten observar con mayor nitidez y precisión un desgaste despreciable del filo.
5. La rugosidad media (Ra) es el parámetro que mejor describe la calidad de la superficie cepillada en la madera de Congona, aunque no permite su uso como indicador del desgaste del filo.
6. Establecer una clasificación de abrasividad en función de la dureza lateral, la densidad básica y el contenido de sílice.
7. Investigar la acción del calor durante el desgaste del filo, sobre todo en maderas que se confirmen previamente como muy abrasivas y/o demasiado abrasivas.
8. Continuar con estudios que relacionen la intensidad de corriente eléctrica con la longitud cepillada en maderas de abrasividad reconocida para determinar el comportamiento de ambas variables cuando ocurre un desgaste considerable del filo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, A; Vega M. 2004. Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *Pinus radiata* D. Don. BOSQUE 25 (3): 25-32.
2. _____; Meausoone, PJ; Martin, P. 2000. Optimización de las condiciones de corte en el maquinado de la madera: estimación del desgaste del elemento de corte en fresado. (en línea). BOSQUE 21 (2): 127-135. Disponible en: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v21n2/art10.pdf>
3. Aróstegui V, A; González F, R; Lao M, R; Sato A, A; Valenzuela A, W. 1975. Estudio tecnológico de maderas del Perú (zona Pucallpa): características tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque nacional Alexander Von Humboldt. Lima, PE, MAA-UNALM. v.3, 171 p.
4. _____; 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos: documento de trabajo FAO-FFDFSC. Lima, PE, FAO / UNALM. 57 p.
5. Bernui C, R. 1990. Trabajabilidad de maderas de la familia bombacaceae de un bosque tropical húmedo. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, UNALM. 133 p.
6. Böhrer, MX. 2009. Influencia de los elementos aleantes en las propiedades del acero. México D.F, MX. (en línea). Disponible en: <http://www.bsmex.com.mx/utp-welding/pdf/tabla11.pdf>
7. Calzada, BJ. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Lima, PE, Milagros S.A. 644 p.
8. CNF (Cámara Nacional Forestal, PE). 1999. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Proyecto OIMT PD 37/88 (I). 2 ed. Lima, PE, CNF / OIMT / INRENA. 240 p.
9. Cayo F, T; Spittler, P; Villegas, J. 2005. Demanda de madera del corredor norte peruano. Proyecto CEDEFOR. WWF / USAID / PEAM / DED. Lima, PE, WWF-Perú. 72 p.
10. Congreso Forestal Mundial (9, 1997, Antalya, TR). 1997. Efectos de la rugosidad de superficie en las especies *Pinus nigra* y *Pinus brutia* cortadas en sección tangencial y radial. (en línea). Eds. Muammer, A; Kerem D. Antalya, TR. Consultado 02 oct. 2008. Disponible en: http://www.fao.org/forestry/foda/wforcong/PUBLI/V8/ES/V8S_E2.HTM

11. Dalois, C. 1977. Manuel de sciage et d' affûtage. Nogent-Sur-Marne, FR, Centre Technique Forestier Tropical. 199 p.
12. Freeze, F. 1978. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Servicio Forestal. Departamento de Agricultura de los EE.UU de A. Madison, US. 102 p. (Manual de agricultura N° 317).
13. García E, L; Guindeo C, A; Palacios, P de: Peraza O, C. 2002. La madera y su tecnología: aserrado, chapas, tableros contrachapados, tableros de partículas y de fibras, tableros OSB y LVL, de madera laminada, carpintería corte y aspiración. AITIM. Madrid, ES, Mundi-prensa. 322 p.
14. Gaviria G, A. 1988. Estudio de rendimientos y costos de estelitado de sierra de cinta en el aserrío de tres especies forestales de Pucallpa. Tesis (Mg. Sc.). Lima, PE, UNALM. 68 p.
15. González, R. 1995. Rugosidad superficial: una visión práctica. Trad. M. Martínez. Caracas, VE, MITUTOYO. 33 p.
16. Hinojosa R, M; Reyes M, ME. 2001. La rugosidad de las superficies: topometría. INGENIERIAS. 4 (11): 27-33 (en línea). Consultado 11 Mar 2004. Disponible en: [http://www.uanl.mx/publicaciones/ingenierias/11/pdf/11 Moises Hinojosa et al Rugosidad.pdf](http://www.uanl.mx/publicaciones/ingenierias/11/pdf/11%20Moises%20Hinojosa%20et%20al%20Rugosidad.pdf)
17. Honorato S, JA; Hernández P, J. 1998. Determinación de componentes químicos de la Madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. (en línea). MADERA Y BOSQUES. 4 (2): 79-93. Consultado 02 Jul 2009. Disponible en: <http://www.inecol.edu.mx/myb/resumenes/4.2/pdf/Honorato%20y%20Hernandez%2001998.PDF>
18. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria, PE). 1996. Manual de identificación de especies forestales de la sub-región andina. Lima, PE, INIA / OIMT. 489 p.
19. JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena, PE). 1976. Normas y metodología para actividades tecnológicas. Lima, PE, PADT – REFORT. 41 p.
20. INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE)/OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales, JP). 1997. Maderas para el manejo del bosque nacional Alexander von Humboldt. Proyecto PD 95/90 (F) Manejo forestal del bosque Alexander von Humboldt. Pucallpa, PE, INRENA. 113 p.

21. MBG (Missouri Botanical Garden, US). 2006. Synonyms of *Brosimum alicastrum* Sw.: base de datos (en línea). Missouri, US. Consultado 20 jul 2006. Disponible en http://mobot.mobot.org/cgi-bin/search_vast
22. Ninin S, L. 1969. Relaciones entre la aptitud al aserrado y algunas propiedades físicas, mecánicas y químicas de cuatro maderas tropicales. *Revista Forestal* 8: 67-117.
23. _____. 1983. Texto de labrado mecanizado. Mérida, VE, Universidad de Los Andes. 264 p.
24. _____. 1986. Manual de aserrado y afilado. Mérida, VE, Universidad de Los Andes 114 p.
25. Sato, A. 1976. Propiedades de trabajabilidad de la madera de 12 especies del Perú. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, UNALM. 110 p.
26. _____.; Aróstegui V, A; González F, R; Valenzuela A, W. 1978. Estudio integral de la madera para construcción. Lima, PE, UNALM-MAA. 184 p.
27. Seminario Nacional de la Industria Maderera (4, 1988, Brasilia DF, BR). 1997. Factores que influyen en las características de maquinado de la madera. Ed. Zavala Z, D. Memoria. Santiago, CL. p. 145-157.
28. Vignote P, S; Martínez, I. 2006. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 3 ed. Madrid, ES, Mundiprensa. 678 p.
29. Wikipedia, US. 2009. Elementos aleantes del acero y mejoras obtenidas con la aleación. (en línea). Consultado 11 abr 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>

ANEXO 1

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA DE CONGONA

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 340-2041, TEF: 340-5847 / 340-5888, Anexo 203 AFDO.458 - LA MOLINA LIMA PERU	
<u>CONSTANCIA</u>		
<p>El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por el Bach. NICOLÁS JOSÉ CEDRÓN FLORES, ex alumno de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Estimación del desgaste de Cuchillas en el Cepillado de la Madera de Congona (<i>Brosimum alicastrum Sw</i>) mediante el Consumo de Energía y la Rugosidad Superficial"; corresponden a la especie:</p>		
<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Congona, Manchinga	<i>Brosimum alicastrum Sw.</i>	Moraceae
Atentamente,		
		
Ing. Manuel Chavesta Custodio Lab. Anatomía de la Madera		
La Molina, 04 de Febrero de 2008		

ANEXO 2

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA DE MASHONASTE

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 340-2041, TEF: 340-5847 / 340-5888, Anexo .203 APDO. 456 - LA MOLINA LIMA PERU	
---	--	---

CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por el Bach. NICOLÁS JOSÉ CEDRÓN FLORES, ex alumno de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Estimación del desgaste de Cuchillas en el Cepillado de la Madera de Congona (*Brosimum alicastrum Sw*) mediante el Consumo de Energía y la Rugosidad Superficial"; corresponden a la especie:

<u>Nombres Comunes</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Mashonaste, Tulpay	<i>Clarisia racemosa R. y P.</i>	Moraceae

Atentamente,



Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera

La Molina, 15 de Setiembre de 2008

ANEXO 3

FACTOR DE CONVERSIÓN DE LAS LECTURAS DE LA REGLILLA MICROMÉTRICA A MICRAS SEGÚN EL NÚMERO DE AUMENTOS UTILIZADO

<i>Medida del ocular (a)</i>	<i>Medida del objetivo (b)</i>	<i>Número de aumentos (a x b)</i>	<i>Factor de Conversión</i>
15	4	60	12,67
15	10	150	5,00
15	40	600	1,25

ANEXO 4

RESULTADOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA Y RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Metros	Intensidad de Corriente Eléctrica (A)			RUGOSIDAD SUPERFICIAL (μm)														
	TAN	OBL	RAD	Tangencial					Oblicuo					Radial				
				Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt	Ra	Ry	Rz	Rq	Rt
60	0,62	0,58	0,61	5,61	78,03	55,55	8,61	80,78	4,67	65,01	46,05	7,05	67,58	6,01	73,67	52,03	8,70	75,45
120	0,72	0,53	0,61	5,15	69,73	51,88	7,60	71,19	4,93	68,25	48,17	7,43	70,64	5,78	74,02	51,95	8,50	76,87
180	0,62	0,50	0,61	4,92	67,36	47,49	7,33	69,51	4,78	66,21	46,79	7,32	68,45	5,52	73,92	48,71	7,95	75,67
240	0,67	0,51	0,59	4,93	63,20	44,69	7,16	65,27	4,82	65,47	46,93	7,31	68,07	5,71	75,78	50,45	8,41	77,59
300	0,65	0,51	0,62	5,25	72,10	51,64	7,99	75,63	5,17	75,45	53,67	8,08	78,13	5,68	68,01	48,24	8,16	71,19
360	0,68	0,55	0,71	5,17	72,76	49,83	7,81	75,48	5,25	69,71	49,16	7,89	72,48	5,52	68,04	48,15	8,05	70,95
420	0,66	0,53	0,65	5,52	70,23	51,61	8,27	72,47	5,38	73,35	53,40	8,29	78,00	5,12	64,55	43,63	7,49	66,42
480	0,58	0,49	0,56	5,22	64,96	46,73	7,57	67,03	4,90	67,02	46,46	7,41	69,11	5,90	74,25	50,00	8,58	75,92
540	0,62	0,52	0,64	5,40	70,98	51,69	8,12	72,43	4,70	63,14	45,60	7,04	65,10	5,27	62,87	45,56	7,59	66,48
600	0,66	0,56	0,71	5,14	69,75	49,34	7,78	71,65	4,88	65,03	47,55	7,40	66,94	5,72	65,35	45,95	8,12	68,05
660	0,64	0,53	0,66	5,55	72,37	52,20	8,35	75,33	5,16	67,95	48,88	7,71	71,37	5,44	69,26	45,48	7,82	70,96
720	0,60	0,56	0,68	5,32	72,23	50,23	8,00	74,29	5,11	69,02	48,34	7,66	72,78	5,54	66,91	44,64	7,77	69,22
780	0,63	0,56	0,69	5,02	64,65	46,78	7,43	66,18	5,09	68,65	47,65	7,63	69,99	5,47	65,28	45,89	7,84	67,05
840	0,64	0,57	0,67	5,12	71,00	48,15	7,71	73,43	5,06	68,12	47,80	7,47	71,13	5,56	72,10	48,67	8,19	74,54
900	0,65	0,58	0,66	4,75	67,07	46,59	7,13	69,53	5,02	66,53	46,61	7,43	69,12	5,68	70,32	47,53	8,20	75,54
960	0,61	0,56	0,71	4,72	68,85	45,56	7,15	71,54	5,25	68,25	46,02	7,63	70,92	5,43	67,85	47,15	7,81	70,45

<i>Intensidad de Corriente Eléctrica (A)</i>				<i>R U G O S I D A D S U P E R F I C I A L (μm)</i>														
<i>Metros</i>	<i>TAN</i>	<i>OBL</i>	<i>RAD</i>	<i>Tangencial</i>					<i>Oblicuo</i>					<i>Radial</i>				
				<i>Ra</i>	<i>Ry</i>	<i>Rz</i>	<i>Rq</i>	<i>Rt</i>	<i>Ra</i>	<i>Ry</i>	<i>Rz</i>	<i>Rq</i>	<i>Rt</i>	<i>Ra</i>	<i>Ry</i>	<i>Rz</i>	<i>Rq</i>	<i>Rt</i>
1020	0,63	0,57	0,68	4,91	67,33	47,35	7,35	68,06	4,90	67,70	47,31	7,42	70,93	5,49	65,37	43,88	7,77	67,98
1080	0,57	0,45	0,54	5,13	66,98	46,96	7,57	69,41	4,79	66,25	46,11	7,18	68,31	5,80	71,53	51,45	8,57	75,36
1140	1,04	1,08	1,46	4,65	65,08	45,15	6,86	68,35	4,47	65,71	41,45	6,54	68,33	4,71	62,53	42,62	6,96	65,26
1200	0,92	0,81	0,75	4,81	66,19	45,68	7,16	68,15	4,39	58,63	40,53	6,49	62,06	5,12	67,70	45,66	7,67	70,59
1260	1,18	1,11	1,33	4,75	65,18	45,45	7,03	66,81	4,65	60,77	41,73	6,67	62,18	4,95	62,67	45,99	7,36	64,79
1320	1,17	1,38	1,33	4,80	68,87	47,54	7,31	71,47	5,15	66,38	46,88	7,45	71,91	5,08	64,27	44,89	7,40	66,08
1380	1,06	1,21	1,32	4,84	65,54	49,37	7,54	67,25	5,18	66,07	48,53	7,51	68,84	5,08	63,88	44,79	7,53	67,98
1440	1,00	1,11	1,28	4,47	64,96	47,47	7,03	67,08	5,26	66,13	46,74	7,59	69,90	5,34	68,27	48,33	7,99	70,40
1500	1,15	1,25	1,36	4,87	68,99	49,03	7,41	70,94	5,56	66,26	48,59	8,13	70,00	5,55	69,26	48,01	8,01	73,05
1560	1,04	1,22	1,22	3,75	54,08	35,64	5,45	56,64	5,57	66,27	51,65	8,24	68,63	5,92	70,72	51,38	8,48	78,92
1620	1,19	1,10	0,99	3,98	55,69	37,65	5,76	58,54	4,83	59,25	42,59	6,87	60,97	5,65	58,18	41,33	7,59	61,20
1680	1,38	1,00	1,16	4,54	62,74	43,11	6,55	66,07	4,87	60,64	41,46	6,68	63,94	5,95	63,57	46,73	8,32	67,01
1740	1,41	1,25	1,30	4,77	58,59	42,48	6,34	62,14	4,74	61,19	39,42	6,59	62,66	4,98	67,98	43,89	7,52	72,90
1800	1,25	1,24	1,30	4,77	64,55	47,44	7,22	69,10	6,79	72,23	46,92	9,00	72,23	4,85	67,68	40,92	6,83	68,58

ANEXO 5

RESULTADOS PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE Y RUGOSIDAD POR TRAMO CEPILLADO CON CONGONA Y MASHONASTE CON CONGONA

		CONGONA					MASHONASTE			
		RUGOSIDAD SUPERFICIAL					Intensidad de Corriente Eléctrica (A)		Intensidad de Corriente Eléctrica (A)	
Metros	OBL	Oblicuo					Metros	OBL	Metros	OBL
		Ra	Ry	Rz	Rq	Rt				
1860	0,97	3,00	49,74	29,67	4,42	50,17	30	1,01	60	1,07
1920	1,12	4,24	63,83	42,84	6,50	65,15	60	1,12	120	1,52
1980	1,16	6,07	67,48	49,35	8,56	70,71	90	1,45	180	1,59
2040	1,08	4,56	74,82	45,83	7,17	75,90	120	1,58	240	1,75
2100	1,00	4,83	65,90	47,46	7,39	66,98	150	1,67	300	1,85
2160	0,87	5,22	65,45	48,82	7,84	67,96	180	1,50		
2220	0,83	4,63	59,35	45,32	6,94	60,15	210	1,79		
2280	0,91	4,21	67,76	46,69	6,77	74,23	240	1,71		
2340	0,99	5,69	69,59	51,33	8,31	72,42	270	1,87		
2400	0,90	5,07	66,79	49,23	7,48	69,82	300	1,84		
2460	0,89	4,52	62,50	41,32	6,66	65,21				
2520	0,95	5,08	73,44	48,02	8,20	74,38				
2580	0,91	5,54	65,82	51,43	8,20	68,60				
2640	0,67	6,42	74,36	54,04	9,30	79,28				
2700	0,82	5,70	79,46	55,83	8,73	81,41				
2760	0,87	5,41	74,76	50,88	8,02	75,73				
2820	0,99	4,99	62,46	42,46	7,00	68,06				
2880	1,01	4,81	73,08	44,83	7,06	73,89				
2940	1,00	5,17	65,19	43,63	7,32	67,05				
3000	1,08	5,76	72,15	54,59	8,50	77,37				

ANEXO 6

FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Fecha: / / . De la Cepillada N° a la N° . Nombre del Anotador : .

	<i>I.C.</i> <i>antes</i>	<i>I.C.</i> <i>duran</i>	<i>OBS</i>		<i>I.C.</i> <i>antes</i>	<i>I.C.</i> <i>duran</i>	<i>OBS</i>		<i>I.C.</i> <i>antes</i>	<i>I.C.</i> <i>duran</i>	<i>OBS</i>
TAN 01				OBL 01				RAD 01			
TAN 02				OBL 02				RAD 02			
TAN 03				OBL 03				RAD 03			
TAN 04				OBL 04				RAD 04			
TAN 05				OBL 05				RAD 05			
TAN 06				OBL 06				RAD 06			
TAN 07				OBL 07				RAD 07			
TAN 08				OBL 08				RAD 08			
TAN 09				OBL 09				RAD 09			
TAN 10				OBL 10				RAD 10			
TAN 11				OBL 11				RAD 11			
TAN 12				OBL 12				RAD 12			
TAN 13				OBL 13				RAD 13			
TAN 14				OBL 14				RAD 14			
TAN 15				OBL 15				RAD 15			
TAN 16				OBL 16				RAD 16			
TAN 17				OBL 17				RAD 17			
TAN 18				OBL 18				RAD 18			
TAN 19				OBL 19				RAD 19			
TAN 20				OBL 20				RAD 20			
TAN 21				OBL 21				RAD 21			
TAN 22				OBL 22				RAD 22			
TAN 23				OBL 23				RAD 23			
TAN 24				OBL 24				RAD 24			
TAN 25				OBL 25				RAD 25			
TAN 26				OBL 26				RAD 26			
TAN 27				OBL 27				RAD 27			
TAN 28				OBL 28				RAD 28			
TAN 29				OBL 29				RAD 29			
TAN 30				OBL 30				RAD 30			

I.C. antes = Intensidad de Corriente Eléctrica antes del corte (A)

I.D. duran. = Intensidad de Corriente Eléctrica durante el corte (A)

OBS. = Observación

ANEXO 7

FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE TENSIÓN ELÉCTRICA

Fecha: / / De la Cepillada N° a la N° . Nombre del Anotador :

	V.	V.	OBS.		V.	V.	OBS.		V.	V.	OBS.
	<i>antes</i>	<i>duran.</i>			<i>antes</i>	<i>duran.</i>			<i>antes</i>	<i>duran.</i>	
TAN 01				OBL 01				RAD 01			
TAN 02				OBL 02				RAD 02			
TAN 03				OBL 03				RAD 03			
TAN 04				OBL 04				RAD 04			
TAN 05				OBL 05				RAD 05			
TAN 06				OBL 06				RAD 06			
TAN 07				OBL 07				RAD 07			
TAN 08				OBL 08				RAD 08			
TAN 09				OBL 09				RAD 09			
TAN 10				OBL 10				RAD 10			
TAN 11				OBL 11				RAD 11			
TAN 12				OBL 12				RAD 12			
TAN 13				OBL 13				RAD 13			
TAN 14				OBL 14				RAD 14			
TAN 15				OBL 15				RAD 15			
TAN 16				OBL 16				RAD 16			
TAN 17				OBL 17				RAD 17			
TAN 18				OBL 18				RAD 18			
TAN 19				OBL 19				RAD 19			
TAN 20				OBL 20				RAD 20			
TAN 21				OBL 21				RAD 21			
TAN 22				OBL 22				RAD 22			
TAN 23				OBL 23				RAD 23			
TAN 24				OBL 24				RAD 24			
TAN 25				OBL 25				RAD 25			
TAN 26				OBL 26				RAD 26			
TAN 27				OBL 27				RAD 27			
TAN 28				OBL 28				RAD 28			
TAN 29				OBL 29				RAD 29			
TAN 30				OBL 30				RAD 30			

V. antes = Tensión de Corriente Eléctrica antes del corte (V)

V. duran = Tensión de Corriente Eléctrica durante el corte (V)

OBS. = Observación

ANEXO 8

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL

	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
TAN	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	OBL	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	RAD	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>
10	10	25	50	75	90	10	10	25	50	75	90	10	10	25	50	75	90
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>
Ra						Ra						Ra					
R						R						R					
Rz						Rz						Rz					
R						R						R					
Rt						Rt						Rt					

	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
TAN	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	OBL	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	RAD	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>
20	10	25	50	75	90	20	10	25	50	75	90	20	10	25	50	75	90
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>
Ra						Ra						Ra					
Ry						Ry						Ry					
Rz						Rz						Rz					
Rq						Rq						Rq					
Rt						Rt						Rt					

	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>		<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
TAN	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	OBL	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	RAD	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>	<i>los</i>
30	10	25	50	75	90	30	10	25	50	75	90	30	10	25	50	75	90
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>		<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>
Ra						Ra						Ra					
Ry						Ry						Ry					
Rz						Rz						Rz					
Rq						Rq						Rq					
Rt						Rt						Rt					

ANEXO 9

FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE DESGASTE DEL FILO DE CUCHILLA

Fecha: ___ / ___ / ___. Cámara utilizada: _____ | Luego de la Cepillada N° _____.

Cuadro de anotación de Fotografías:

	TANGENCIAL				OBLICUO				RADIAL		
	mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.
10X				10X				10X			
10X + Z				10X + Z				10X + Z			
40X				40X				40X			
40X+Z				40X+Z				40X+Z			
4X				4X				4X			
4X + Z				4X + Z				4X + Z			

Cuadro de anotación de la mayor diferencia entre un pico y un valle (usando la regilla):

	TANGENCIAL				OBLICUO				RADIAL		
	mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.
10X				10X				10X			
10X + Z				10X + Z				10X + Z			
40X				40X				40X			
40X+Z				40X+Z				40X+Z			
4X				4X				4X			
4X + Z				4X + Z				4X + Z			

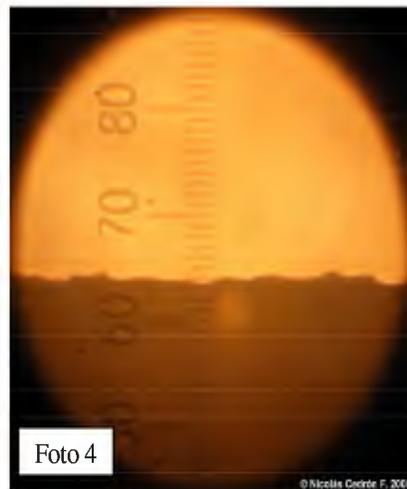
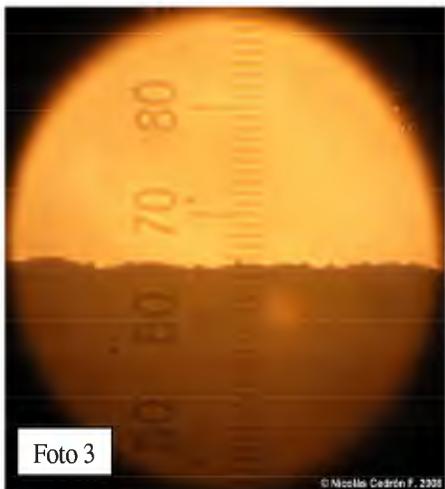
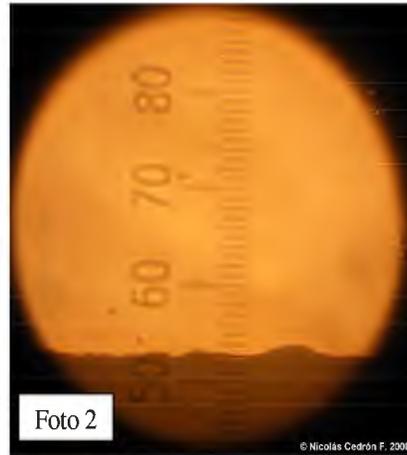
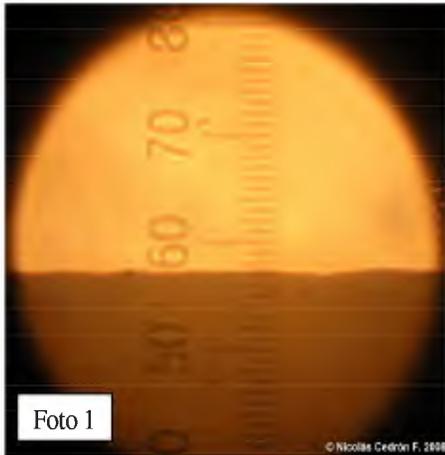
Cuadro de conversión de la mayor diferencia (en micras reales):

	TANGENCIAL				OBLICUO				RADIAL		
	mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.		mm IZQ.	mm CEN.	mm DER.
10X				10X				10X			
10X + Z				10X + Z				10X + Z			
40X				40X				40X			
40X+Z				40X+Z				40X+Z			
4X				4X				4X			
4X + Z				4X + Z				4X + Z			
Prom.				Prom.				Prom.			

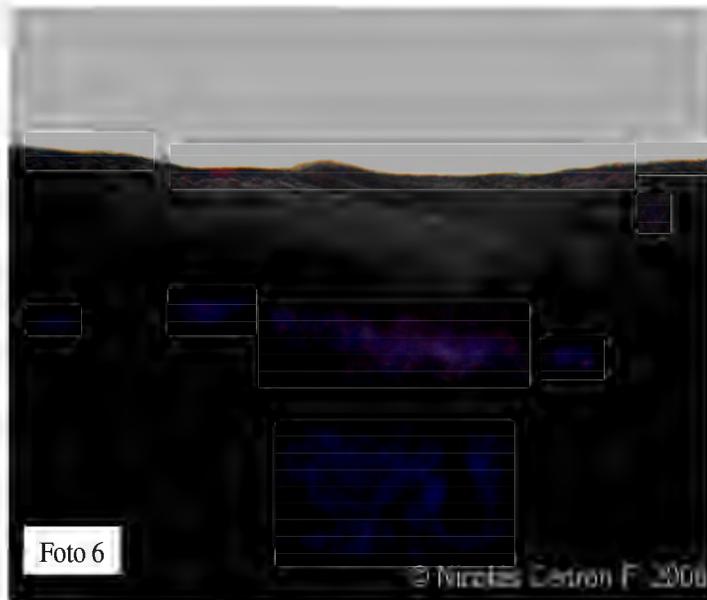
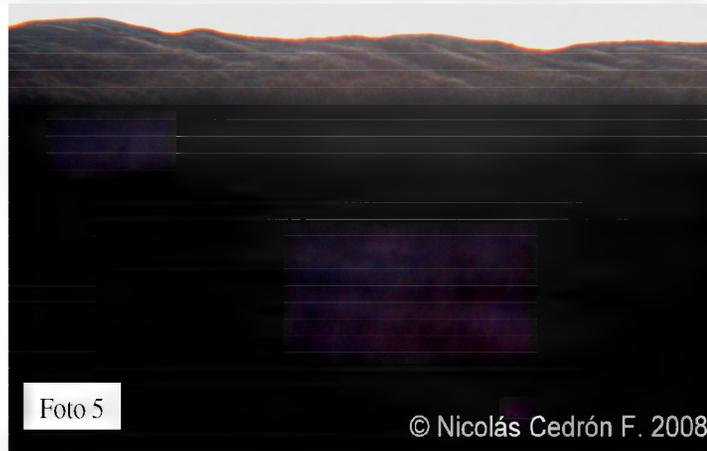
mm IZQ = milímetro ubicado a la izquierda de la marca en la cuchilla Prom = promedio de 03 lecturas en micras
 mm CEN = milímetro ubicado en la marca misma en la cuchilla X = Ocular
 mm DER = milímetro ubicado a la derecha de la marca en la cuchilla Z = Zoom óptico de 4X

ANEXO 10

EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA DE LOS ENSAYOS DE DESGASTE DEL FILO REALIZADOS CON LAS MADERAS DE CONGONA Y MASHONASTE



Fotos 1, 2, 3 y 4. Diferencias de 5, 10, 6 y 9 μm (respectivamente) en distintos perfiles del filo de la cuchilla antes de iniciar los ensayos de cepillado, con un aumento de 150x y un zoom óptico de 5x.



Fotos 5 y 6. Microbisel formado en la cuchilla producto del desgaste del filo durante el cepillado de Congona.

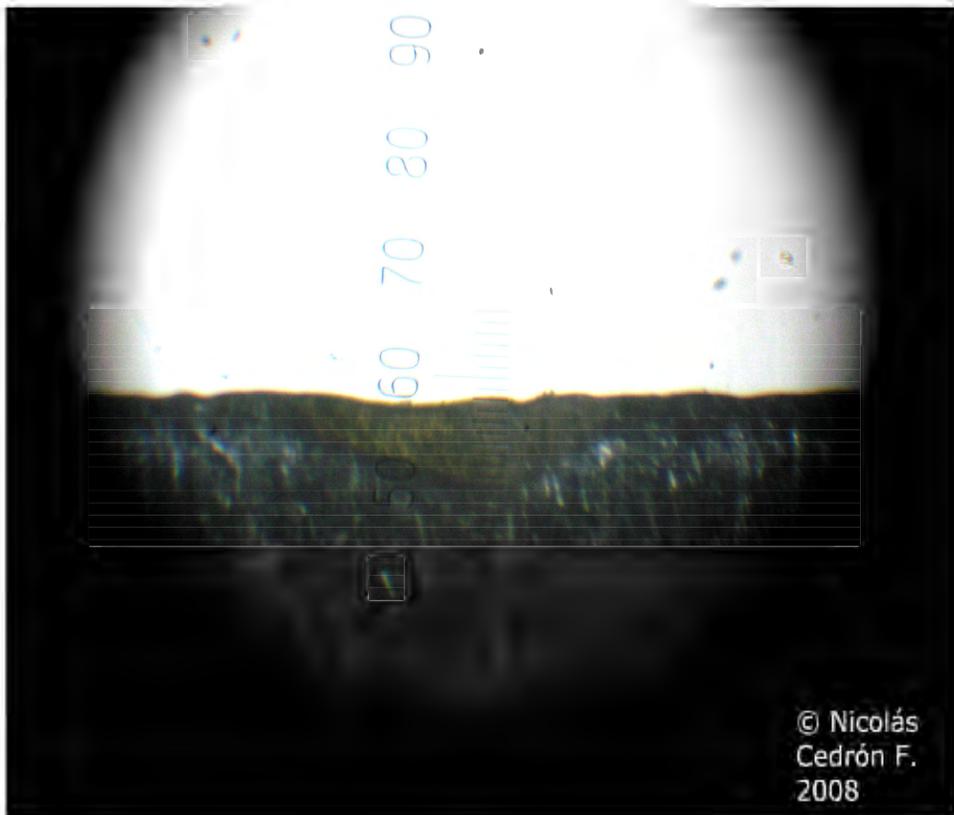


Foto 7. Despostilladura de mayor intensidad ($115\ \mu\text{m}$) fotografiada con un aumento de 60x y zoom óptico de 4x, después del cepillado de 3000 m de madera de Congona en su sección oblicua.

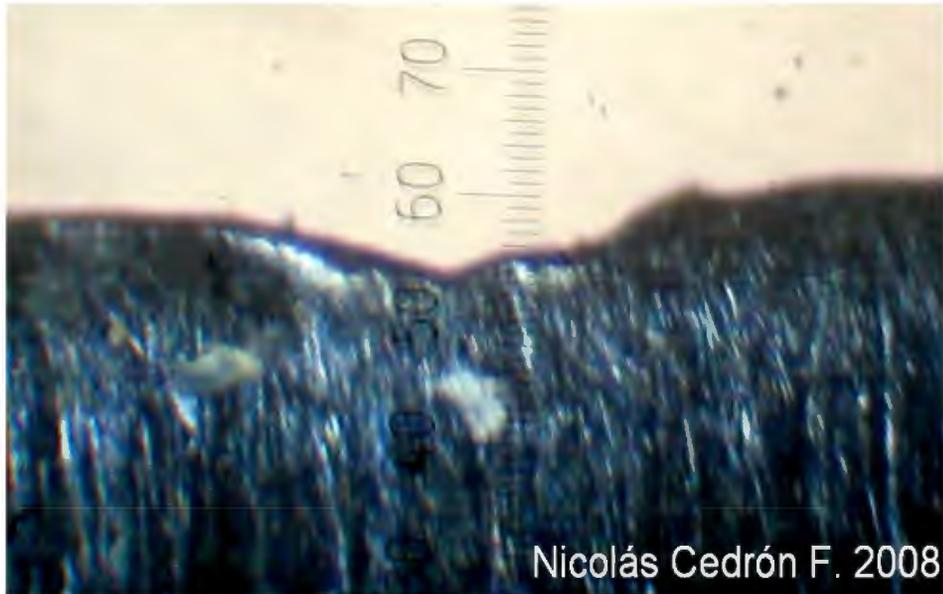


Foto 8. Despostilladura de menor intensidad ($51\ \mu\text{m}$) fotografiada con aumento de $150\times$ y zoom óptico de $4\times$, después del cepillado de $3000\ \text{m}$ de madera de Congona en su sección oblicua.



Foto 9. Desgaste imperceptible ($51 \mu\text{m}$) a simple vista en la cara posterior de la cuchilla después del cepillado de 3000 m de madera de Congona en su sección oblicua.

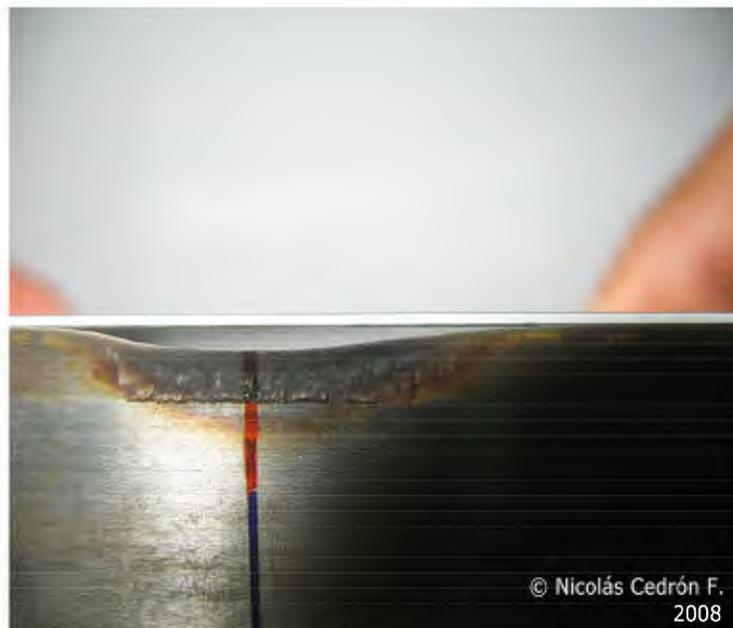


Foto 10. Quemadura y pérdida del elemento cortante ($1726 \mu\text{m}$) en la cara anterior de la cuchilla después del cepillado de 300 m de madera de Mashonaste en su sección oblicua.

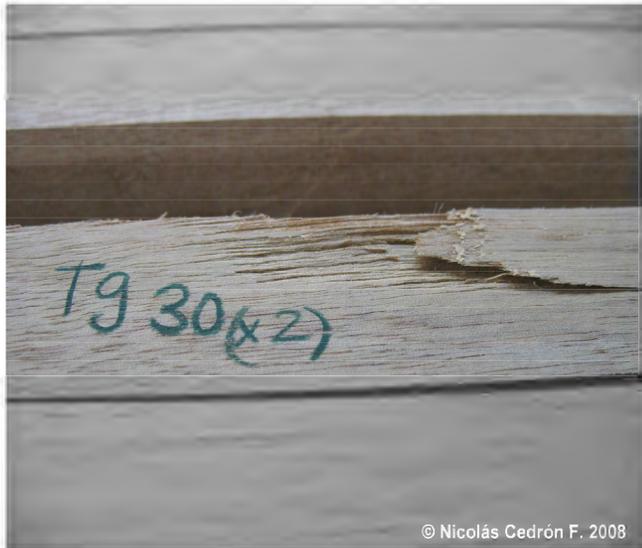


Foto 11. Grano levantado en el canto de una probeta de Congona de corte tangencial no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.



Foto 12. Grano arrancado y levantado encontrado en el canto de una probeta de Congona de corte tangencial no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.

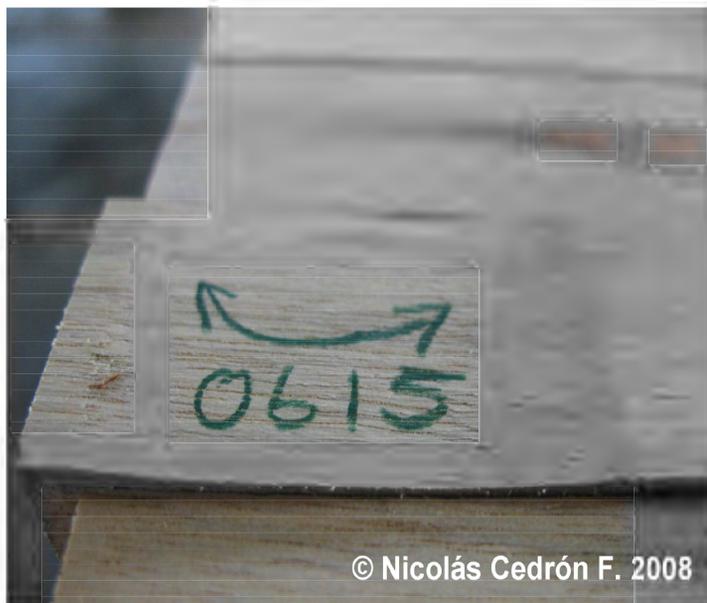


Foto 13. Cepillado excesivo en el canto de una probeta de Congona de corte oblicuo no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.

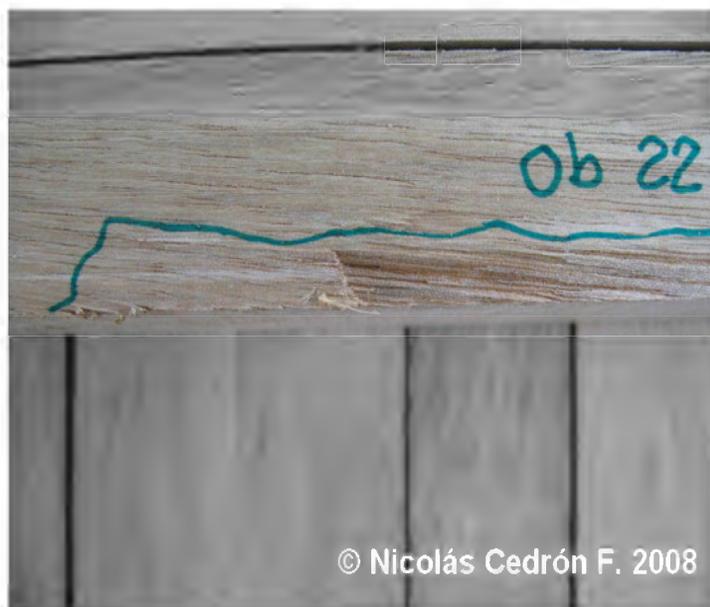


Foto 14. Grano levantado en el canto de una probeta de Congona de corte oblicuo no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.



© Nicolás
Cedrón F.
2008

Foto 15. Grano levantado en el canto de una probeta de Congona de corte radial no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.



Foto 16. Grano arrancado en el canto de una probeta de Congona de corte radial no atribuible al desgaste del filo de la cuchilla.

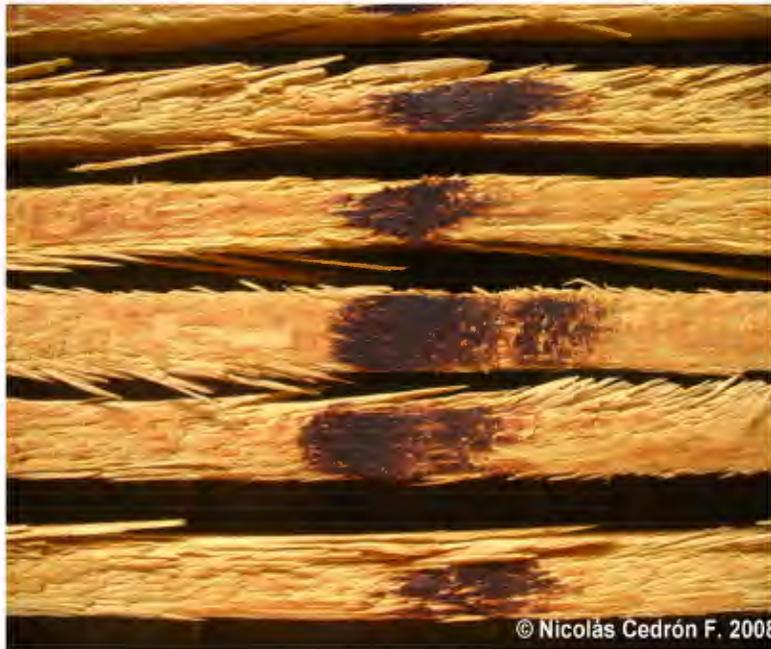


Foto 17. Defecto de quemado y astillado en probetas de Mashonaste.



Foto 18. Marca de astillamiento y grano veloso en probeta de Mashonaste.

ANEXO 11

ANVA DE REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE PARA MASHONASTE DE SECCIÓN OBLICUA

AGRUPAMIENTO DE DATOS	TRAMO	ECUACIÓN	FUENTE	G.L	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO DEL ERROR	VALOR DE F
Cada 30 m	1-300 m	$I = 1,071 + 0,002925 L$	REGRESIÓN	1	0,635365	0,635365	36,71
			ERROR	8	0,138475	0,017309	-
			TOTAL	9	0,773840	-	-
Cada metro	1-300 m	$I = 1,11 + 0,00246 L$	REGRESIÓN	1	23,564	23,564	199,00
			ERROR	358	42,390	0,118	-
			TOTAL	359	65,954	-	-

ANEXO 12

ANVA DE LAS REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE RUGOSIDAD MEDIA PARA LA MADERA DE CONGONA

Nº DATOS AGRUPADOS	TRAMO	PLANO	ECUACIÓN	FUENTE	G.L	SC	CM	F
Datos promedios	1-1500 m	Tg	$R = 5,40 - 0,000456 L$	REGRESIÓN	1	0,97161	0,97161	19,39
				ERROR	23	1,15258	0,05011	-
				TOTAL	24	2,12418	-	-
Datos promedios	1-1500 m	Rd	$R = 5,77 - 0,000404 L$	REGRESIÓN	1	0,76424	0,76424	10,96
				ERROR	23	1,60383	0,06973	-
				TOTAL	24	2,36806	-	-
Datos individuales	1-1500	Tg	$R = 5,37 - 0,000439 L$	REGRESIÓN	1	5,4142	5,4142	15,24
				ERROR	148	52,5757	0,3552	-
				TOTAL	149	57,9899	-	-
Datos individuales	1-1500	Rd	$R = 5,76 - 0,000393 L$	REGRESIÓN	1	4,3445	4,3445	8,99
				ERROR	148	71,4927	0,4831	-
				TOTAL	149	75,8372	-	-

ANEXO 13

ANVA DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LA MADERA DE CONGONA

TIPO DE DATOS	PLANO	TRAMO	n	G.L	r	r (0,05)	Calificación de r	ECUACIÓN	r ² (%)
Promedios	Tg	1-1800	30	28	0,833	0,361	Muy alto	$I = 0,441 + 0,000430 L$	69,4
Promedios	Ob	1-1800	30	28	0,839	0,361	Muy alto	$I = 0,311 + 0,000506 L$	70,4
Individuales	Tg	1-1800	1727	1725	0,71	0,024	Alto	$I = 0,462 + 0,000413 L$	50,5
Promedios	Tg	1081-1800	12	10	0,707	0,376	Alto	$I = 0,437 + 0,000484 L$	50,1
Individuales	Ob	1-1800	1775	1773	0,747	0,021	Alto	$I = 0,315 + 0,000523 L$	55,9
Promedios	Ob	1-3000	50	48	0,748	0,277	Alto	$I = 0,2852 + 0,000723 L - 0,000000 L^2$	56,1
Promedios	Ob	1801-3000	20	18	0,661	0,444	Alto	$I = 4,869 - 0,003207 L + 0,000001 L^2$	43,8
Promedios	Rd	1-1800	30	28	0,799	0,361	Alto	$I = 0,432 + 0,000482 L$	63,9
Individuales	Rd	1-1800	1785	1783	0,715	0,021	Alto	$I = 0,442 + 0,000490 L$	51,2
Promedios	Tg	1-1080	30	28	0,47	0,361	Bajo	$I = 0,666 - 0,000053 L$	22,1
Individuales	Ob	1-3000	2966	2964	0,495	0	Bajo	$I = 0,568 + 0,000190 L$	24,6
Individuales	Tg	1081-1380	279	277	0,223	0,119	Muy bajo	$I = 0,450 + 0,000508 L$	5
Individuales	Tg	1081-1800	646	644	0,386	0,081	Muy Bajo	$I = 0,499 + 0,000446 L$	14,9
Individuales	Tg	1501-1800	256	254	0,325	0,124	Muy bajo	$I = - 0,449 + 0,00102 L$	10,6
Individuales	Ob	1081-1380	298	296	0,366	0,113	Muy bajo	$I = - 0,372 + 0,00121 L$	13,4
Individuales	Ob	1081-1800	695	693	0,238	0,077	Muy bajo	$I = 0,684 + 0,000332 L$	5,7
Individuales	Ob	1-300	300	298	0,293	0,113	Muy bajo	$I = 0,573 - 0,000320 L$	8,6
Individuales	Ob	1501-1800	278	276	0,209	0,118	Muy bajo	$I = - 0,023 + 0,000743 L$	4,4
Individuales	Ob	2401-2700	299	297	0,272	0,114	Muy bajo	$I = 2,76 - 0,000745 L$	7,4
Individuales	Ob	2701-3000	299	297	0,303	0,114	Muy bajo	$I = - 0,965 + 0,000685 L$	9,2
Individuales	Rd	1501-1800	292	290	0,306	0,111	Muy bajo	$I = - 0,290 + 0,000908 L$	7,8

ANEXO 14

ANVA DE LAS REGRESIONES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LA MADERA DE MASHONASTE

TIPO DE DATOS	PLANO	TRAMO	n	G.L	r	r (0,05)	Calificación de r	ECUACIÓN	r² (%)
Promedios	Ob	1-300	10	8	0,906	0,576	Muy Alto	$I = 1,07 + 0,00293 L$	82,1
Individuales	Ob	1-300	360	358	0,597	0,102	Bajo	$I = 1,11 + 0,00246 L$	35,7

ANEXO 15

ANVA DE LAS REGRESIONES LINEALES SIGNIFICATIVAS CON DATOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA MADERA DE CONGONA

TIPO DE DATOS	Parámetro	PLANO	TRAMO	n	G.L	r	r (0,05)	Calificación de r	ECUACIÓN	r ² (%)
Individuales	Rz	Tg	1501-1800	07	05	0,82	0,75	Muy alto	$R = - 43,5 + 0,0502 L$	67,3
Individuales	Rq	Tg	1501-1800	07	05	0,845	0,75	Muy alto	$R = - 6,21 + 0,00737 L$	71,5
Promedios	Ra	Tg	1- 1500	25	23	0,676	0,396	Alto	$R = 5,40 - 0,000456 L$	45,7
Promedios	Ra	Rd	1- 1500	25	23	0,57	0,396	Bajo	$R = 5,77 - 0,000404 L$	32,3
Promedios	Ry	Tg	1- 1500	25	23	0,461	0,396	Bajo	$R = 71,4 - 0,00358 L$	21,3
Promedios	Ry	Rd	1- 1500	25	23	0,514	0,396	Bajo	$R = 72,0 - 0,00469 L$	26,5
Promedios	Rz	Tg	1- 1500	25	23	0,497	0,396	Bajo	$R = 51,0 - 0,00308 L$	24,8
Promedios	Rz	Rd	1- 1500	25	23	0,444	0,396	Bajo	$R = 49,3 - 0,00265 L$	19,8
Promedios	Rq	Tg	1- 1500	25	23	0,566	0,396	Bajo	$R = 8,03 - 0,000585 L$	32,1
Promedios	Rq	Rd	1- 1500	25	23	0,508	0,396	Bajo	$R = 8,32 - 0,000494 L$	25,9
Promedios	Rt	Tg	1- 1500	25	23	0,452	0,396	Bajo	$R = 73,7 - 0,00378 L$	20,5
Promedios	Rt	Rd	1- 1500	25	23	0,448	0,396	Bajo	$R = 74,1 - 0,00405 L$	20,1
Individuales	Ra	Tg	1- 1500	150	148	0,304	0,1602	Muy Bajo	$R = 5,37 - 0,000439 L$	9,3
Individuales	Ra	Rd	1- 1500	150	148	0,234	0,1602	Muy Bajo	$R = 5,76 - 0,000393 L$	5,7
Individuales	Rq	Tg	1- 1500	150	148	0,244	0,1602	Muy Bajo	$R = 7,99 - 0,000563 L$	6,0
Individuales	Ry	Rd	1- 1500	150	148	0,223	0,1602	Muy Bajo	$R = 71,8 - 0,00460 L$	5,0
Individuales	Rq	Rd	1- 1500	150	148	0,202	0,1602	Muy Bajo	$R = 8,30 - 0,000482 L$	4,1

ANEXO 16

COEFICIENTES DE CORRELACIONES ENTRE DOS VARIABLES AL NIVEL 0,05

G.L	0,05
1	0,997
2	0,950
3	0,878
4	0,811
5	0,754
6	0,707
7	0,666
8	0,632
9	0,602
10	0,576
11	0,553
12	0,532
13	0,514
14	0,497
15	0,482
16	0,463
17	0,456
18	0,444
19	0,433
20	0,423
21	0,413
22	0,404
23	0,396
24	0,388
25	0,381
26	0,374
27	0,367
28	0,361
29	0,355
30	0,349

G.L	0,05
35	0,325
40	0,304
45	0,283
50	0,273
60	0,250
70	0,232
80	0,217
90	0,205
100	0,195
125	0,174
150	0,159
200	0,137
300	0,113
400	0,095
500	0,088
1000	0,062
* Reproducido de la Tabla XIII del libro <i>Métodos estadísticos para la investigación de Calzada</i>	