

RODRIGO ANTONIO ROBLES SANTOS

CONTROL DE DIMENSIONES DEL ASTILLADO EN LA INDUSTRIA DE
CELULOSA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R666c
2011

Robles Santos, Rodrigo Antonio, 1970-

Control de dimensiones del astillado en la industria de
celulosa / Rodrigo Antonio Robles Santos. – Viçosa, MG,
2011.

viii, 55f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Luiz Cláudio de Almeida Barbosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 38-41

1. Polpa de madeira - Qualidade.
2. Polpa de madeira - Propriedades mecânicas.
3. Polpação alcalina por sulfato.
4. Anisotropia. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.986

RODRIGO ANTONIO ROBLES SANTOS

CONTROL DE DIMENSIONES DEL ASTILLADO EN LA INDUSTRIA DE
CELULOSA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 18 de Julho de 2011.

José Lívio Gomide

Teresa Cristina Fonseca da Silva

Luiz Cláudio de Almeida Barbosa
(Orientador)

A mi

Esposa e hijos

Cada pequeño acontecimiento de nuestras vidas es
un saludo del Padre.

AGRADECIMENTOS

A Celulosa Arauco y constitución S.A., en especial Don Jose Vivanco y Don Gunars Luks, por la confianza depositada.

A Max Constanzo por sus consejos y su guía para alcanzar mis objetivos.

A la universidad Federal de Viçosa, en especial al profesor Jorge Luiz Colodette, por sus valiosos conocimientos entregados.

ÍNDICE

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
RESUMEN	vii
1 INSTRODUCCION.....	1
2 REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Descripción del proceso de astillado	3
2.2 Parámetros de Astillado	4
2.2.1 Propiedades de la madera	5
2.2.2 Parámetros de operación.....	8
2.2.3 Calidad de la Astilla	8
2.2.3.1 Geometría de la Astilla.....	9
2.2.3.2 Herramientas de Medición de Calidad	16
2.3 Preparación Madera.....	16
2.3.1 Área de Preparación Madera Nva. Aldea.....	16
2.3.2 Manejo de Rollizos.....	18
2.3.3 Astillado y Astillas Compradas	18
2.3.4 Manejo de Astillas.....	19
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 MATERIALES.....	21
3.2 MÉTODO	21
3.1.1 Muestreo y preparación de muestra.....	22
3.2.2 Método alternativo para medir granulometría	23
3.2.2.1 Método por Imagenología	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1.- Resultados	24
4.1.1.- La situación actual de la línea de astillado.....	24
4.1.2.- La situación post ajustes de la línea de astillado.....	29
4.1.3.- Comparación antes y después de realizar los ajustes	33
5 CONCLUSIONES	37
6 BIBLIOGRAFIA	38

RESUMO

ROBLES SANTOS, Rodrigo Antonio, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Controle de finos durante a picagem da madeira para a indústria de celulose**. Orientador: Prof. Luiz Claudio de Almeida Barbosa. Coorientadores: Jorge Luiz Colodette e Helio Garcia Leite.

A uniformidade e produtividade da polpa em uma planta de celulose são influenciadas por muitos fatores, sendo a qualidade dos cavacos um dos fatores mais importantes. As oportunidades para a melhoria da qualidade do cavaco vão desde o início, na floresta e continuam até o digestor. Compreender o efeito da qualidade do cavaco na operação da planta de fabricação de celulose requer o uso de ferramentas para resolver os problemas da qualidade, incluindo o trabalho em equipe. Este trabalho mostra como os problemas de qualidade do cavaco podem ser resolvidos desde a floresta até o produto. Tanto nos processos de polpação química como nos mecânicos, os troncos devem ser cortados em pedaços menores, chamados "cavacos", usando um picador, antes da separação da fibra. A espessura dos cavacos depende do tipo e da qualidade da madeira utilizada. Deve-se notar que as propriedades da madeira e da fibra variam não só *entre* as árvores, mas também *dentro* de uma árvore, por isso a fibra é considerada um material anisotrópico. As propriedades físicas e mecânicas, tais como a rigidez e o encolhimento, são influenciadas por esta anisotropia. Por exemplo, observou-se que a redução da espessura na direção radial do anel de crescimento torna a espessura do cavaco mais uniforme. Por esta razão, na maioria dos processos de polpação, procura-se distribuição uniforme de espessura dos cavacos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças na tecnologia de picagem e avaliar como estas variáveis afetam o controle operacional e a eficiência do picador. Os resultados indicam que as alterações efetuadas no processo de picagem resultaram em melhoria na qualidade dos cavacos. Por exemplo, houve aumento de 6,1% da quantidade de cavacos aceitos, que passou de 75,9% para 82%. Outro benefício obtido foi uma redução da amplitude de distribuição de granulometria dos cavacos, resultando num produto mais homogêneo.

ABSTRACT

ROBLES SANTOS, Rodrigo Antonio, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Study on pinchip control in the pulping industry**. Adviser: Luiz Claudio de Almeida Barbosa. Co-Advisers: Jorge Luiz Colodette and Helio Garcia Leite.

The uniformity of the pulp and the productivity of a pulp mill are influenced by many factors, however, the quality of the chip can be one of the most important of them. The opportunities of improvement for the quality of the chip appear in all the way from the woods until the digester. The understanding of the relation between the quality of the chip and the operation of the mill make necessary to use different tools in order to solve the quality issues, including teamwork. This study shows how the chip quality issues can be solved along its way from the woods to the bale. In both chemical and mechanical pulping processes the logs must be chipped into smaller bits using a chipper, before the fibers are separated. Depending on which kind of chipper and the characteristics of the wood used, the thickness distribution obtained could be wider or narrower. It must be considered that the wood and fiber properties vary not only from one tree to another, but even also inside one tree, therefore wood is considered an anisotropic material. Physicomechanical properties, as shrink, rigidity and resistance are affected by this anisotropy; for instance it has been observed that the reduction in the radial direction of the growth ring leads to a more uniform thickness of the chip. In most of the pulping processes a very narrow distribution of the chip thickness is searched, as it is a characteristic of the chip that can be measured in order to improve its quality. The objective of this study was to evaluate changes in the technology and evaluate how these affect the control variables and the chipping efficiency. The results show that there was an improvement in the quality of the chip. The product on spec increased in 6,14% over the baseline of 75,88% reaching a 82,02%. Another improvement was a narrower distribution in the granulometry, leading to a more homogeneous product.

RESUMEN

ROBLES SANTOS, Rodrigo Antonio, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julio 2011. **Control de dimensiones del astillado en la industria de celulosa**. Orientador: Prof. Luiz Cláudio de Almeida Barbosa. Consejeros: Jorge Luiz Colodette y Helio Garcia Leite

La uniformidad de la pulpa y la productividad de una planta de celulosa se ven influidos por muchos factores, pero la calidad del chip puede ser uno de los más importantes. Las oportunidades para la mejora de la calidad de la astilla desde el inicio en el bosque y continuar hasta el digestor. La comprensión de las relaciones de la calidad de la astilla sobre las operaciones de la planta requieren de la utilización herramientas para resolver los problemas de calidad, especialmente el trabajo en equipo, este trabajo se muestra cómo los problemas de calidad de la astilla puede ser resuelto desde el bosque hasta el producto. Tanto en los procesos químicos y mecánicos de obtención de pasta, los troncos deben ser trozados en partes más pequeñas, llamadas “astillas” usando un astillador antes de la separación de la fibra. Dependiendo de qué tipo de Astillador y la calidad de la madera que se utilice, se conseguirá una distribución de espesores de astilla, que puede ser más o menos estrecha. Se debe tener en cuenta que las propiedades de la madera y fibra varían no sólo entre los árboles, sino también dentro de un árbol, por eso se considera que es un material anisotrópico, las propiedades físicas y mecánicas, tales como el encogimiento, la rigidez y la resistencia, se ven afectadas por esta anisotropía, por ejemplo, se ha observado que la reducción en la dirección radial del anillo de crecimiento da un espesor más (de forma más regular) uniforme de la astilla. Por este motivo, en la mayoría de los procesos de fabricación de pasta, se busca una estrecha distribución del espesor de la astilla. Algunos de los factores de calidad de chips que se pueden medir, para mejorar la calidad de la astilla. El objetivo del trabajo fue evaluar cambios en la tecnológica y evaluar como estos afectan las variables de control operacional, y la eficiencia en el astillado. Los resultados indican que hubo una mejoría en la calidad de la astilla, al evaluar los resultados podemos observar que hubo incrementos de en el

Aceptado de 6,14 puntos porcentuales sobre la línea Base de 75,88% a 82,02%. Otro beneficio obtenidos fueron una distribución más estrecha de los valores de granulometría, lo que significa un producto más homogéneo.

1 INTRODUCCION

La uniformidad de la pulpa y la productividad de una planta de celulosa se ven influidos por muchos factores, pero la calidad del chip puede ser uno de los más importantes. El entendimiento entre las relaciones de la calidad de chips y una operación estable de la planta requieren de la utilización de herramientas para resolver problemas de calidad, especialmente el trabajo en equipo y multidisciplinario.

Tanto en los procesos químicos y mecánicos de obtención de pasta, los rollizos deben ser reducidos en partes más pequeñas, llamadas “astillas” usando un astillador antes de la separación de la fibra, y es en los astilladores donde se realiza gran parte del trabajo para la obtención de una astilla con un largo y espesor adecuado y donde la calidad de la astilla puede ser controlada. Por este motivo, dependiendo de qué tipo de astillador y la calidad de la madera que se este utilizando, podremos conseguir una distribución de espesores de astilla lo más homogénea posible.

Los parámetros de operacionales tales como los diferentes ángulos afectan al espesor de la astilla, y por lo tanto la distribución de tamaño de esta. Las astillas producidas por un astillador de disco tienen la típica forma de un paralelepípedo, y sus tres dimensiones, Largo, L , espesor, t , y el ancho, w , por esto la importancia de la geometría de la astilla para mejorar la calidad de la esta. Esta geometría puede diferir entre plantas, y afectar a la producción de pulpa, por ejemplo, afectando la tasa de penetración de los licores en la astilla y de este modo afectando las propiedades del producto final.

Hay una fuerte relación que está bien documentada entre las propiedades de la astilla y las operaciones de las plantas de celulosa, pero a diferencia de la mayoría de las materias primas, existen numerosos factores naturales de la astilla, que pueden ser usados para controlar los factores de calidad.

Por ello los beneficios de mejorar la calidad de la astilla gatillan en una mejor operatividad de las plantas y la obtención de un producto de mejor calidad. Para lograr

esto, es necesario obtener datos y tener historia para desarrollar un diagrama causa/efecto, este análisis permite la detección las necesidades que permiten direccionar y tomar acciones sobre el proceso. Para esto requiere de muestreos y pruebas técnicas (FULLER, 1987), que permitan identificarlos, y reducirlos, por ejemplo, el sobre-tamaño y los finos antes otros problemas, algunas variables pueden afectar la calidad de las Astillas.

Existen dispositivos de muestreo de astillas, que nos permiten identificar las variables que pueden afectar la calidad de las Astillas, el más usado es el muestreo manual que puede proporcionar una muestra rápida y representativa, el análisis del tamaño de las partículas de la astilla (Granulometría) se puede hacer por una serie de sistemas, que pueden ser manuales ò automáticos. Los sensores de humedad son ampliamente utilizados en todo el mundo para comprar astillas en función del peso seco y más importante, para controlar cargas de madera al digestor y las cargas químicas (PETERSSON, et al, 1988). Estos son sólo algunos ejemplos de las herramientas que se utilizan para medir la variabilidad de la astilla.

Todo el manejo de los rollizos se realiza en el área de preparación, que tiene como función prepara la materia prima (astillas) que será entregada a los digestores para la obtención de celulosa, esta área la podemos dividir en; Manejo de Rollizos, Astillado-Astillas Compradas, y Manejo de Astillas.

El objetivo del presente trabajo es evaluar cambios en la tecnológica y como estos afectan las variables de control operacional, y como afectan la eficiencia en el astillado.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Descripción del proceso de astillado

Tanto en los procesos químicos y mecánicos de obtención de pasta, los troncos deben ser trozados en partes más pequeñas, llamadas “astillas” usando un astillador antes de la separación de la fibra.

El astillado se realiza normalmente usando un astillador de disco, que tiene como diseño básico el astillador Wigger que fue desarrollado en el año 1889 (KEAYS, 1979). Los astilladores de discos actuales son versiones mejoradas de éste astillador, existen otras técnicas para producir astillas pero para este estudio se considera un astillador de Disco de alimentación horizontal, cómo se muestra esquemáticamente en la Figura1.

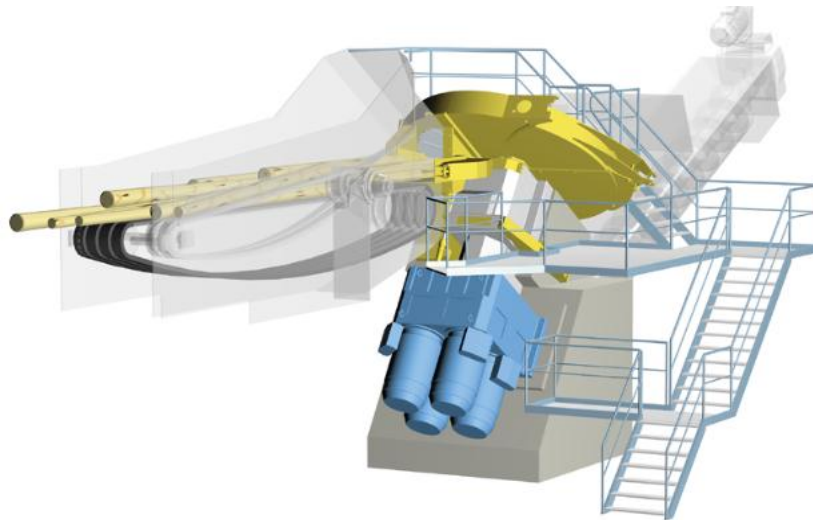


Figura 1. astillador de disco con alimentación horizontal

En un astillador de disco, la longitud de la astilla se puede controlar por la distancia T (Figura 2), es decir, la distancia entre la punta del cuchillo y la placa de desgaste del disco (Figura 2). La alimentación a través del astillador puede ser controlada por el ángulo libre (Figura 2), α (HARTLER, 1986).

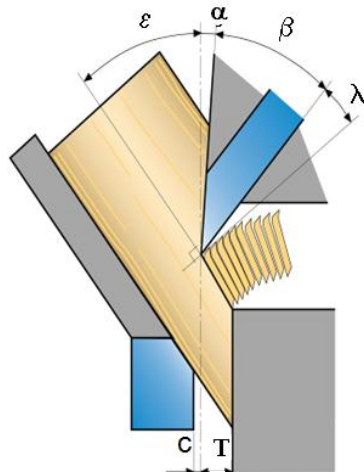


Figura 2; Dimensión T , ε ángulo de astillado, α ángulo de succión, β ángulo del cuchillo, λ ángulo complementario, T -dimensión, C Holgura del cuchillo

El ángulo de corte (Figura 2), β , a menudo se combina con un ángulo de corte más grande (el ángulo de bisel, β') para dar al cuchillo una mayor resistencia y durabilidad.

Los cuchillos están montados en dirección radial sobre el disco del astillador, muy parecido a los rayos de una rueda de bicicleta. Las velocidades de corte más usadas son de 20 a 40 m/s (que varía en la dirección radial). La longitud de la astilla normalmente se fija entre 20 y 25 mm (en la dirección de la fibra), y en un astillador de disco esto le dará un espesor medio a la astilla de 3 a 5 mm.

2.2 Parámetros de Astillado

Dependiendo de qué tipo de astillador y la calidad de la madera que se utilice, se conseguirá una distribución de espesores de astilla, que puede ser más o menos estrecha. Se debe tener en cuenta que las propiedades de la madera y fibra varían no sólo entre los árboles, sino también dentro de un árbol.

2.2.1 Propiedades de la madera

A menudo se refieren a la madera es como un material, pero a veces también como una estructura. A una escala macroscópica es lógico llamar a la madera un material pero en una escala microscópica, la madera tiene una estructura marcada. Esto se puede ver en la Figura 3, donde se puede identificar las diferentes regiones, como, madera temprana (juvenil), madera tardía (madura), y madera de transición.

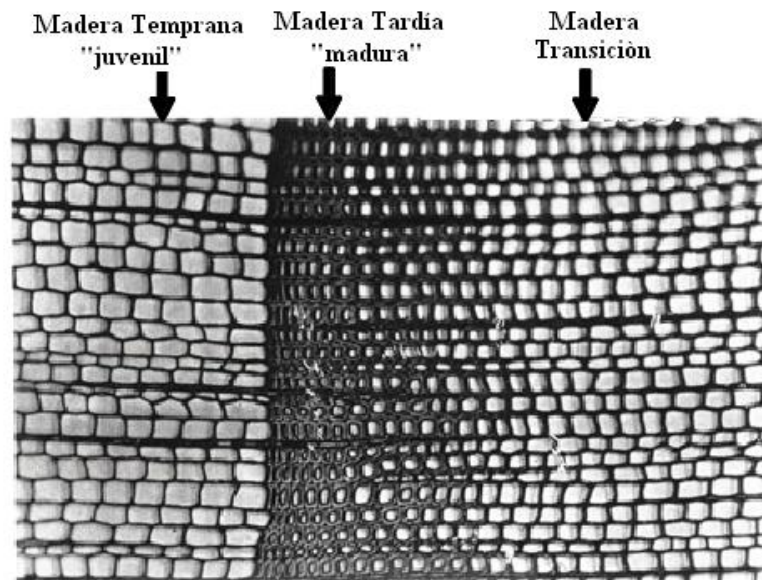


Figura 3; Regiones de la madera; madera temprana "Earlwood" (juvenil), madera tardía "Latewood" (madura), y madera de transición "transitionwood" (SVENSSON, 2007)

En el abeto rojo, el espesor de la pared celular de la madera temprana es de aproximadamente 1-3 μm , mientras que las células de la madera tardía tienen un espesor de pared, de 2 a 7 μm (FENGEL and STOLL, 1973). La densidad promedio de la madera temprana, tardía y de transición son aproximadamente de 300, 900 y 450 kg/m^3 , respectivamente (PERSSON, 1997).

La madera es un material anisotrópico, esto quiere decir que todas sus propiedades varían de acuerdo con sus ejes estructurales, los cuales desde un punto de vista teórico forman ángulos rectos entre sí;

- Los tres ejes principales de la madera son el longitudinal (paralela a las fibras), radial (cortando las fibras) y tangencial (tangente a los anillos de crecimiento).
- Las propiedades físicas y mecánicas, tales como el encogimiento, la rigidez y la resistencia, se ven afectadas por esta anisotropía.
- La naturaleza anisotrópica es el resultado de la geometría tubular de las células de la madera.

Esta anisotropía influye en la rugosidad de la superficie, y es un factor muy importante, por ejemplo, en la madera usada en mueblería, influyendo directamente las fuerzas de corte, afectando los parámetros de corte (EYMA et al, 2004), y porque durante el proceso de astillado, estas variables interactúan de una manera inesperada (UHMEIER, 1995)

Para ser más específicos, la madera es un cilindro ortotrópico con referencia a un sistema de ejes alineados con las direcciones radial, tangencial y axial como se muestra en la Figura 4.

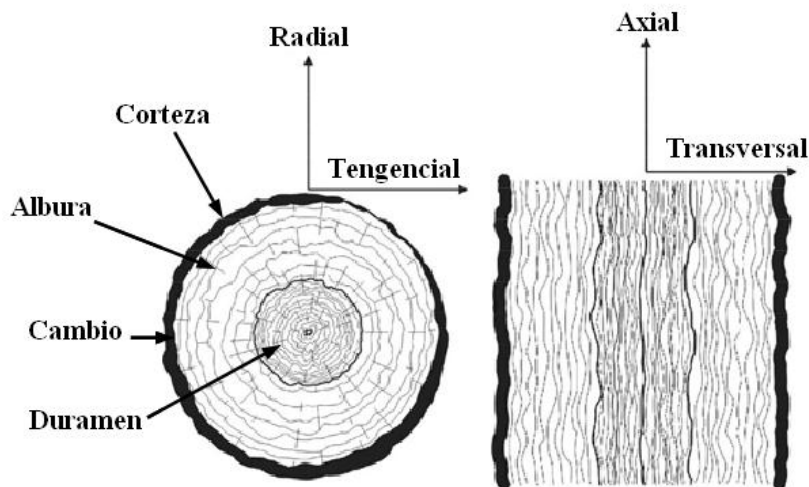


Figura. 4; Los principales ejes de anisotropía en un árbol madre (ZMITROWICZ, 2006)

La madera exhibe tanto un comportamiento visco-elástico y plástico que es altamente dependiente de la humedad y la temperatura. La formación de astillas pequeñas muestra variaciones, esto debido a los cambios estacionales, donde existen variaciones de temperatura y del contenido de humedad. A temperaturas bajas se

forma más astillas finas (llamado pin-chips). El Pin-chips y aserrín son producidos en grandes cantidades sobre todo al tratar de astillar madera congelada o muy seca (HARTLER and STADE, 1979).

En cuanto a la influencia de la humedad se ha observado que el trabajo mecánico disminuye y el espesor de la astilla aumenta con el aumento de contenido de humedad, a un valor bastante estable, cuando se alcanza el contenido de humedad de saturación (BUCHANAN and DUCHNICKI, 1963).

Se ha observado que la reducción en la dirección radial del anillo de crecimiento da un espesor más (de forma más regular) uniforme de la astilla, que el corte en la dirección tangencial (KIVIMAA and MURTO, 1949). Twaddle demostró que hay una relación entre la orientación de los anillos de crecimiento y el espesor la astilla (TWADDLE, 1997). Las astillas son más gruesas cuando se cortan en la dirección donde la orientación del anillo es de 0° o la ubicación del filo tiene una orientación de 90° . Los espesores del chip son función de la longitud de este como se muestran en la Figura 5. El espesor promedio de la astilla aumenta casi linealmente con el aumento de su longitud.

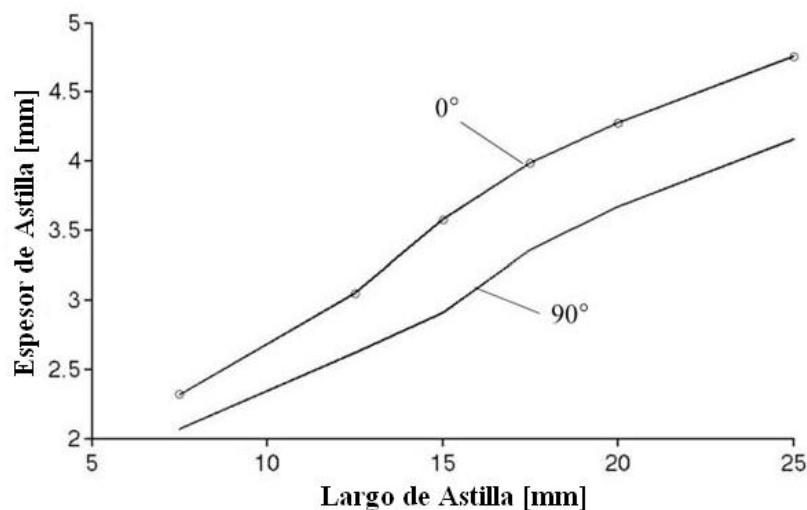


Figura. 5. El espesor medio de la astilla vs longitud cuando se corta en distintas orientaciones del anillo.

2.2.2 Parámetros de operación

Los parámetros de operacionales tales como diferentes ángulos afectan al espesor de la astilla. El ángulo libre, controla la tracción de los troncos hacia la placa del astillador (HARTLER, 1962c), y por lo tanto la distribución de tamaño de la astilla. El ángulo libre también afecta a la fuerza de corte resultante (UHMEIER, 1995).

El ángulo de corte utilizado normalmente es entre 30° y 37° (McLAUCHLAN and LAPIONTE, 1979). KIVIMAA and MURTO (1949) y BUCHANAN and DUCHNICKI, (1963) mostraron que una disminución en el ángulo de un cuchillo de 40° a 30° reduce el espesor de la astilla, la fuerza de corte y el daño de la astilla. BUCHANAN AND DUCHNICKI, (1963), también identificaron por lo menos dos procesos de formación de astilla, es decir, un modo de apertura y un modo de avance de corte. El ángulo de cuchillo de 20° y 30° produce astillas por apertura. El ángulo cuchillo de 40° forma astillas por cizallamiento en un pequeño porcentaje de casos y el ángulo de cuchillo de 50° forma astillas por cizallamiento en la mayoría de los casos.

Para longitud de astilla cortas, un aumento en el ángulo de bisel, β , da lugar a una astilla más delgada, pero el efecto es contrario en astillas largas, ver Figura 7 (UHMEIER, 1995).

Con un aumento en el ángulo de la alimentación (Ángulo entre el disco y la alimentación), la astilla toma mayor espesor con la misma longitud (HARTLER, 1962a) y (HELLSTRÖM, 2010). Se cree que es el ángulo complementario, λ igual a $\lambda = 90 - (\alpha + \beta + \epsilon)$ que controla el espesor de la astilla en lugar del ángulo ϵ (HARTLER, 1962a).

El pin-chip se forman en grandes cantidades sobre todo cuando la velocidad de corte del astillador es muy alto (HARTLER AND STADE 1979).

2.2.3 Calidad de la Astilla

En la mayoría de los procesos de fabricación de pasta, se busca una estrecha distribución del espesor de la astilla. Con el fin de mejorar la calidad de la astilla en términos de su geometría, para ello se debe comprender los mecanismos de formación de esta. En la siguiente sección se discute la importancia de la geometría de la astilla.

2.2.3.1 Geometría de la Astilla.

La importancia de la geometría de la astilla ha sido motivo de discusión desde los inicios de la elaboración de la pulpa. Las astillas producidas por un astillador de disco tienen la típica forma de un paralelepípedo, siendo sus tres dimensiones, Largo “L”, espesor “T”, y el ancho “W” como se muestra en la Figura 6. ¿Qué es considerada la geometría óptima de una astilla y que difiere entre plantas.

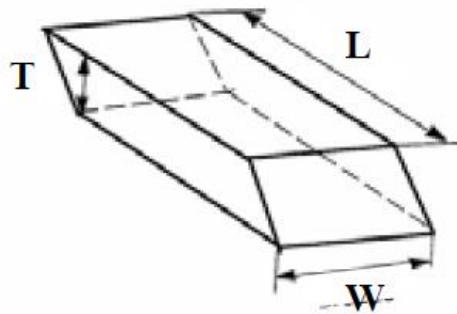


Figura 6; Astilla tipo obtenida con astillador de disco y su tres dimensiones , Largo, L, espesor, t, y el ancho, w (Tronstad, 1994).

La literatura reporta (HARTLER (1986), KIVIMAA and MURTO (1949), TWADDLE (1997) y UHMEIER (1995)) que para los mismos parámetros de proceso y geometría de equipos de astillado, la relación entre la longitud y el grosor de la astilla es (en promedio) constante, Figura 7. El tema también es discutido en (HELLSTRÖM et al, 2009) donde se intenta dar una explicación a esta observación.

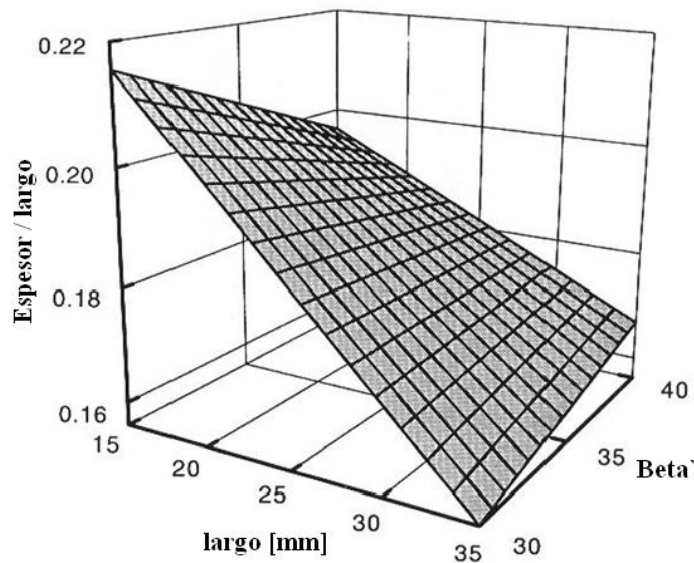


Figura. 7 La longitud relativa de la astilla v/s su longitud y el ángulo β , UHMEIER, 1995.

Uno de los requisitos de las industrias de celulosa y papel es que la variación en la distribución del tamaño de la astilla debe ser lo más estrecha posible, ya que afecta (entre otras cosas), por ejemplo el grado de compactación en los tornillos utilizados para el transporte de las astillas. En general se acepta que la calidad de la astilla afecta a la producción de pula y de este modo las propiedades de esta.

Para determinar esta distribución granulométrica existen diferentes formas una de ellas es la norma SCAN-CM 40:01 Figura 8, que tiene ventaja al dividir el aceptado en subclases más pequeñas, mostrando una distribución de la geometría mucho más homogénea Figura 9, (BJURULF, 2006)

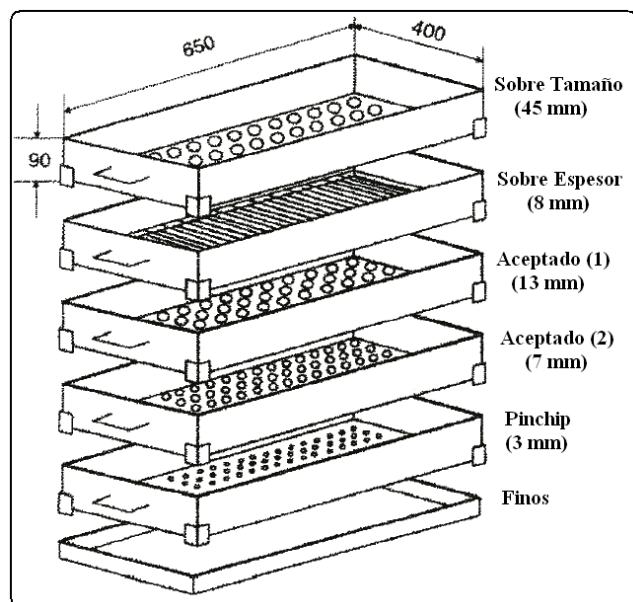


Figura. 8, esquema de un clasificador bandejas mecánico, que usa la norma SCAN-CM 40:01.



Figura. 9, resultado de un clasificador de astillas usando la norma SCAN-CM 40:01; F1 sobre tamaño, F2 sobre espesor, F3a aceptado 1, F3b aceptado 2, F4 Pinchip, F5 finos.

En el caso de la fabricación de pasta química, la madera se impregna con productos químicos. La astilla de menor tamaño tiene un cocción en exceso (es decir, la lignina en solución comienza a atacar a la celulosa debilitando las fibras). Por ejemplo la tasa de penetración de los licores de sulfito ácido en la dirección de la fibra es de 50 a 100 veces más rápido que en las dirección transversal de la fibra. Otros licores de fabricación de pasta penetran con una tasa casi igual en todas las direcciones (FULLER, 1983a).

En el sobre-tamaño la cocción será deficiente (es decir, seguirá siendo un pedazo de fibras sin separar) trozos de madera que son demasiado pequeños (por ejemplo, pin-chip y aserrín) tienden a aglomerarse y crear sellamiento en algunos tipos de equipos (FULLER, 1983a).

Por eso, desde el comienzo del siglo pasado, existe un consenso entre los investigadores que la etapa inicial del pulpaje alcalino, además de presentar una reacción rápida, es la fase del proceso más. En la actualidad, la cinética del pulpaje kraft se ha dividido en las siguientes etapas: (1) El transporte de los iones del licor de cocción a la superficie de las astilla, (2) La difusión de los iones al interior de la astilla, (3) Las reacciones químicas entre los iones y componentes de madera, (4) difusión de los productos de las reacciones en el exterior de las astillas, (5) El transporte de productos de la reacción en el licor de cocción (ALMEIDA, 1999). La impregnación de las Astillas incluye la primera y segunda etapa de la fase inicial del pulpaje. Esto a su vez, consiste en la penetración del licor en los espacios de las astillas bajo la influencia de un gradiente de presión hidrostática y la difusión o movimiento de los iones u otros solutos en el interior de las Astillas en un gradiente de concentración (STONE and FORDERRENTHER, 1956).

Se ha demostrado que la impregnación alcalina proporciona un frente de impregnación que se mueve hacia el interior de la astilla Figura 10.

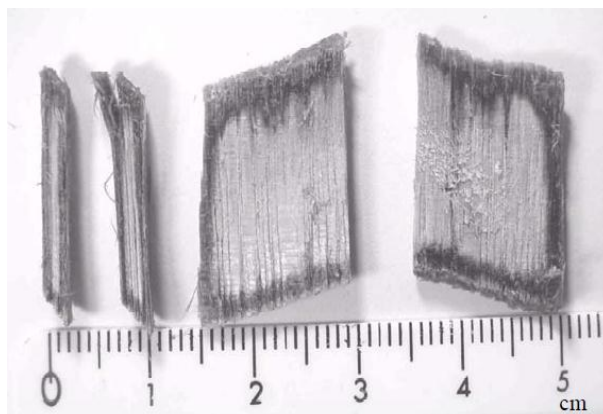


Figura. 10 Foto del corte de astillas tratados con 10 g NaOH/L a 110°C y 20 minutos mostrando las zonas de impregnación: una exterior impregnada y otra interior no impregnada (COSTA et al)

Para el caso de la fabricación de pasta mecánica, los refinadores sólo aceptarán un trozo de madera lo suficientemente pequeña como para entrar entre los discos refinadores (FULLER, 1983a).

No es fácil para una planta de celulosa mejorar "mala calidad de la astilla". Hay una fuerte relación que está bien documentada entre las propiedades de la astilla y las operaciones de las plantas de celulosa, pero a diferencia de la mayoría de las materias primas, existen numerosos factores naturales de la astilla, que pueden ser usados para controlar los factores de calidad (HATTON, 1979), (FULLER, 1983b) and (FULLER, 1983c). La Figura 11 muestra algunos de los factores de calidad de chips que se pueden medir y que pueden tener un impacto en la operación de la planta. Pero una planta no puede hacer frente a todos ellos a la vez. Un análisis de Pareto como el de la Figura 12 puede ayudar a establecer prioridades para un proyecto de mejora de la calidad, mediante una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto, identificando los elementos que más influyen. Sobre la base de datos de calidad de las astillas, es evidente que de este análisis permite la detección las necesidades para reducir por ejemplo el sobre-tamaño y los finos antes otros problemas.

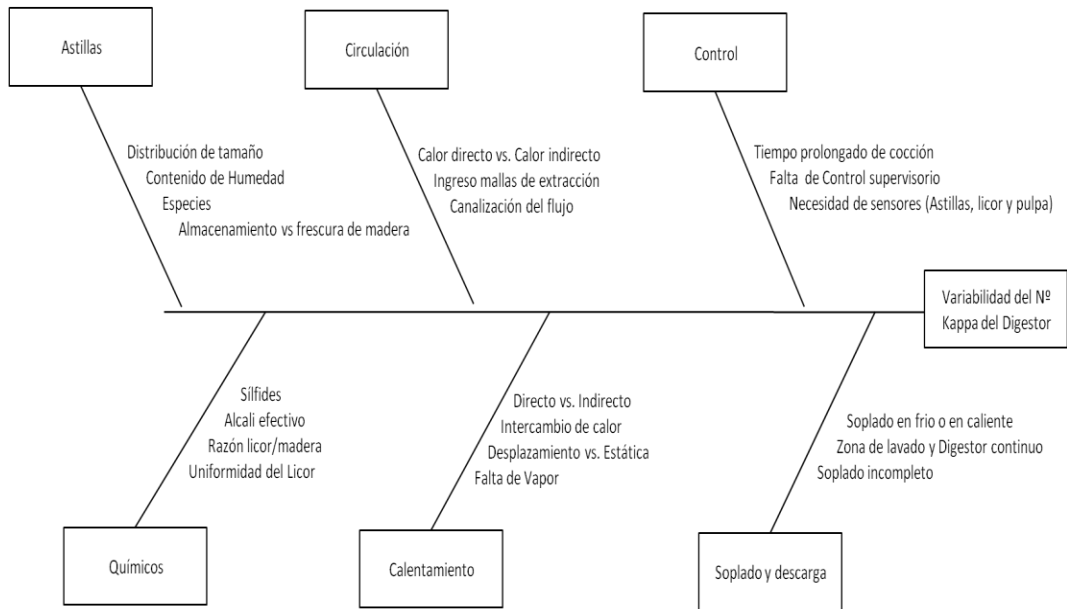


Figura. 11 Diagrama de Causa-Efecto que ayuda a identificar aspectos relevantes que pueden afectar la calidad de la astilla, y en consecuencia afectar la operación de la planta

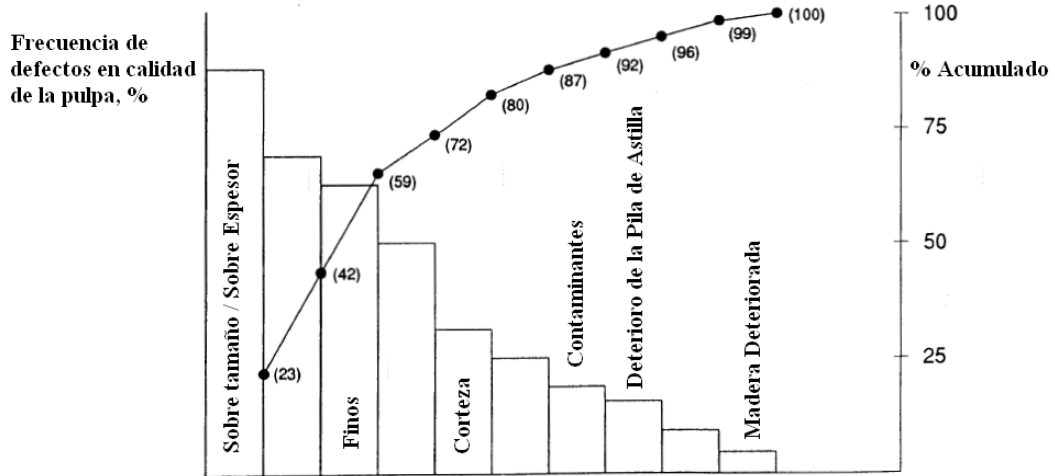


Figura. 12, diagrama de Pareto de los defectos que pueden ayudar a establecer prioridades para un proyecto de mejora de la calidad

Los beneficios de mejorar la calidad de la astilla gatillan en una mejor operatividad de las plantas y la obtención de un producto de mejor calidad del. Para lograr esto, es necesario obtener datos y tener historia para desarrollar un diagrama causa / efecto. Esto requiere de muestreos de astilla y pruebas técnicas (FULLER, 1987). El análisis de estos datos determinará si el proceso es coherente y está bajo control estadístico. Una vez que el proceso está bajo control, y las mejoras sean implementado se pueden continuar mejorando el rendimiento del sistema.

Se han observado que algunas variables pueden afectar la calidad de las Astillas, en las tablas 1 y 2 se muestran los efectos de la madera y las variables de astillado sobre la calidad (ANDRITZ, 2010).

Estos factores cuando no están en condiciones óptimas o controladas pueden afectar negativamente la calidad de las Astillas, generando mermas de rendimiento y calidad de la pulpa.

Tabla 1- Efecto de la calidad de la madera sobre la calidad de la Astilla (ANDRITZ, 2010).

Propiedades / Calidad Madera	Sobre-Tamaño	Sobre-Espesor	Aceptado	Pin-chip	Finos
Degradada	+	+	--	+	+
Con nudos	++	++	--	0	+
Delgada	+	+	--	+	+
Corta	+	+	--	+	+
Seca	++	++	--	+	+
Mal descortezada	0	+	-	0	+
Curvada	+	+	-	0	0
Con diámetro muy grande	+	0	0	-	-
Congelada	-	-	0	+	+

+ ; Afecta a la variable incrementando el valor moderadamente
 ++ ; Afecta a la variable incrementando excesivamente su valor
 - ; Afecta a la variable disminuyendo el valor
 0 ; No tiene efecto sobre la variable

Tabla 2- Efecto de las variables de astillado sobre la calidad de la Astilla (ANDRITZ, 2010).

Propiedades / Calidad	Sobre-Tamaño	Sobre-Espesor	Aceptado	Pin-chip	Finos
Alimentación v/s descarga	-	-	--	++	+
Demasiado pequeño el ángulo de la astilla	0	+	-(-)	(+)	(+)
velocidad demasiado alta	-	-	--	++	+
velocidad demasiado baja	+	++	--	0	-
Ángulo de corte demasiado pequeño	+	+	--	0	0
Ángulo de corte demasiado largo	+	+	--	+	+
producción excesiva frente a la óptima	++	++	--	0	+
Demasiada holgura de corte	0	0	-	+	+

+ ; Afecta a la variable incrementando el valor moderadamente

++ ; Afecta a la variable incrementando excesivamente su valor

- ; Afecta a la variable disminuyendo el valor

0 ; No tiene efecto sobre la variable

2.2.3.2 Herramientas de Medición de Calidad

Los dispositivos de muestreo de astillas, el más usado es el muestreo mano que puede proporcionar una muestra rápida y representativa si los técnicos están bien entrenados (FULLER, 1987). El análisis del tamaño de las partículas de la astilla (Granulometría) se puede hacer por una serie de sistemas, que pueden ser manuales o automáticos (MARRS, 1986). Del mismo modo, un sistema óptico se está probando en Escandinavia (PETERSSON et al, 1988), con resultados prometedores. Los sensores de humedad son ampliamente utilizados en todo el mundo para comprar astillas en función del peso seco y más importante, para controlar cargas de madera al digestor y las cargas químicas (PETERSSON et al, 1988). Estos son sólo algunos ejemplos de las herramientas que se utilizan para medir la variabilidad de la astilla. Sin información, un programa para mejorar la calidad de las astillas no tendrá éxito.

2.3 Preparación Madera.

2.3.1 Área de Preparación Madera Nva. Aldea

El área de preparación madera produce la materia prima (astillas) que posteriormente serán entregada a los digestores para la obtención de celulosa, como se muestra en la Figura 13, esta área la podemos dividir en:

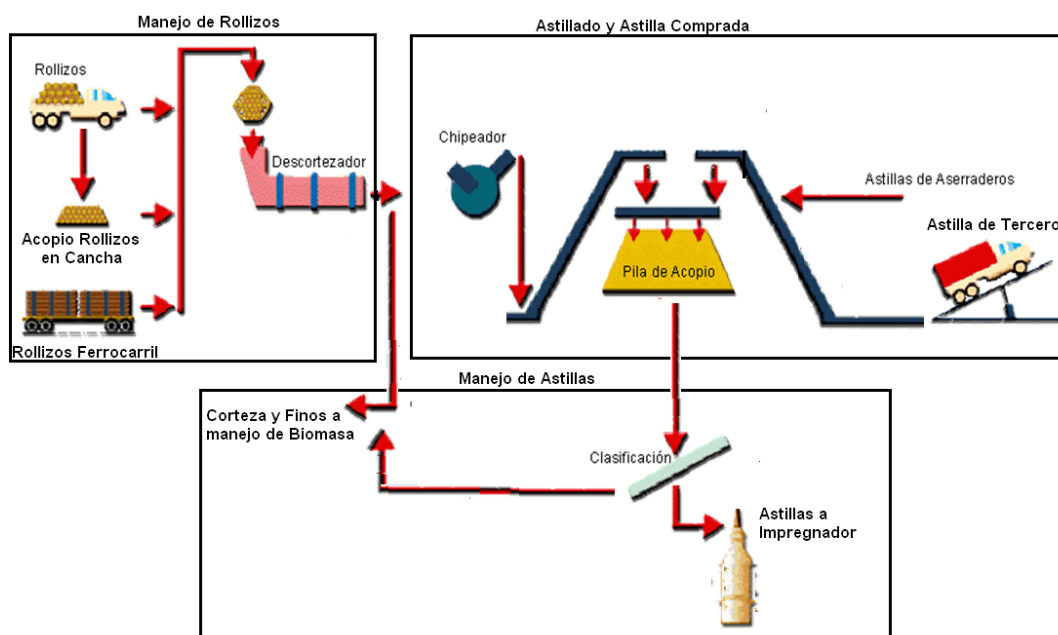


Figura. 13. Esquema del Área de Preparación Madera; Manejo de Rollizo, Astillado y Astillas Comprada, Manejo de Astilla.

(a) Manejo de Rollizos: Recepciona la madera que ingresa a la Planta y a medida que es requerida, la madera con corteza es descortezada. Además, elimina la arena, piedras y metales asociados a los troncos. Posteriormente traslada los troncos descortezados y limpios al Astillador, retirando los troncos que estén fuera de norma.

(b) Astillado y Astillas Compradas: Convierte en astillas los troncos descortezados, reduciendo su tamaño a la granulometría requerida por el proceso. Las astillas producidas y las astillas compradas son enviadas hacia la Pila de Almacenamiento.

(c) Manejo de Astillas: Recupera las astillas desde la Pila de Almacenamiento por medio de tornillos. Las astillas son posteriormente clasificadas en harneros de acuerdo a las siguientes clases: aceptados, sobre-tamaño, sobre-espesor y finos. Las astillas clasificadas como sobre-espesor son mejoradas para lograr el tamaño adecuado,

trasladando posteriormente las astillas aceptadas a Digestores y el fino al Galpón de Corteza.

2.3.2 Manejo de Rollizos

El Manejo de Rollizos corresponde al primer sistema del Área Preparación Madera, y su función es:

- Medir y pesar la madera que ingresa a la Planta.
- Descargar la madera a almacenamiento o a producción.
- Descortezar los troncos.
- Eliminar las piedras, metales y arena.
- Retirar la madera sobredimensionada.
- Trasladar la madera descortezada y limpia al Astillador.

El principio de operación del Manejo de Rollizos es regular la cantidad de madera que se envía a proceso, de acuerdo a la producción de Planta y a los inventarios de astillas máximos permitidos.

- Regula la cantidad de madera a procesar.
- Descortezar la madera por fricción entre los troncos, producto de la rotación del Tambor del Descortezador.
- Retira las piedras que pueden venir en la madera.
- Retira los metales que pueden venir en la madera, al detectarlos por el principio de interrupción de campo magnético.
- Retira la arena adherida a los troncos por la acción de agua a presión.
- Traslada la madera descortezada hacia el Astillador.

2.3.3 Astillado y Astillas Compradas

Los componentes del Astillado y Astillas Compradas, y tienen como Función:

- Astillar los troncos descortezados.
- Trasladar las astillas producidas a las Pilas de Almacenamiento.
- Descargar las astillas compradas.

El principio de operación del Astillado y Astillas se describe a continuación:

El principio de operación del Astillado y Astillas Compradas es reducir el tamaño de la madera que llega en forma de rollizos, a un tamaño apto para la cocción en el Digestor, además de recepcionar las astillas compradas a terceros.

- Para producir las astillas se cuenta con dos líneas de producción paralelas, en donde la Línea de pino tiene una capacidad de astillado de 270 m³/h.
- La descarga de astillas compradas, desde camiones, se efectúa enviando las astillas a través de la Correa Transportadora a Pila de Astillas Compradas a la Pila de Almacenamiento. La Correa Transportadora de Astillas Compradas tiene una capacidad de 400 m³/h a una velocidad de 1.4 m/s.

Además existe un flujo de astillas provenientes desde el Aserradero, el cual se suma a las astillas compradas.

2.3.4 Manejo de Astillas

Los componentes del Manejo de Astillas, tienen las siguientes funciones:

- Recuperar las astillas propias y las astillas compradas desde las Pila de Almacenamiento.
- Mezclar las astillas en la proporción necesaria para el proceso.
- Clasificar por sobre-tamaño las astillas, eliminando las astillas con un largo superior a 80 mm.
- Clasificar por sobre-espesor las astillas, reprocesando en el Mejorador de Astillas las astillas con un espesor superior a 7 mm.
- Reprocesar las astillas separadas por sobre-espesor en el Mejorador de Astillas.

- Alimentar al Área de Digestores las astillas aceptadas.
- Enviar a Manejo de Desechos Combustibles los finos (aserrín) eliminados en la clasificación de las astillas aceptadas.
- Eliminar los metales presentes en las astillas.

El principio de operación del Manejo de Astillas se describe a continuación:

El principio de operación del Manejo de Astillas es recuperar las astillas desde su almacenamiento y realizar una mezcla entre astillas propias y compradas.

La entrega se realiza con astillas de calidad uniforme, con una densidad básica de 387 kg/sub. y un espesor menor a 8 mm.

- Las astillas son recuperadas desde la Pila de Almacenamiento y se juntan en el Transportador de Astillas Recuperadas.
- El Harnero de Discos de Sobre-tamaño retiene las astillas con tamaño superior a 80 mm. y las envía a piso.
- El Harnero de Discos de Sobre-espesor clasifica las astillas con tamaño superior a 7 mm. y las envían al Mejorador de Astillas. Las astillas aceptadas y mejoradas son enviadas hacia el Transportador de Astillas a Digestores.
- El Harnero de Finos recibe el fino y pinchip para enviarlos hacia el Manejo de Desechos

Combustibles, mientras que las astillas aceptadas son enviadas hacia el Transportador de Astillas a Digestores.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

En la experiencia se muestrea astillas a la descarga del astillador de la línea de Pino (correa que alimenta la pila de Pino).

Para el muestreo se utiliza envases de 10 litros.

Para el análisis se utilizó un Harnero Mecánico.

“Instructivo para clasificación mecánica de astillas y biomasa forestal combustible”, “**05.202.077.I**”, Apéndice 7.1

3.2 MÉTODO

Se evalúa la situación actual basado en la calidad de astillas (Granulometría, largo y espesor).

Para el análisis se tomaron tres muestras diarias por un periodo de tres meses.

Para verificar la efectividad de los ajustes se analiza la calidad de la astilla (Granulometría) obtenida, mediante un muestreo en un punto determinado a la salida del astillador, Figura 14, manteniendo condiciones de operación normales.

Se identifican los potenciales problemas que afectan la calidad de la astilla en el proceso de astillado mediante un diagrama de Causa-Efecto.

Conocido los potenciales problemas se realizan cambios y/o ajustes del proceso.

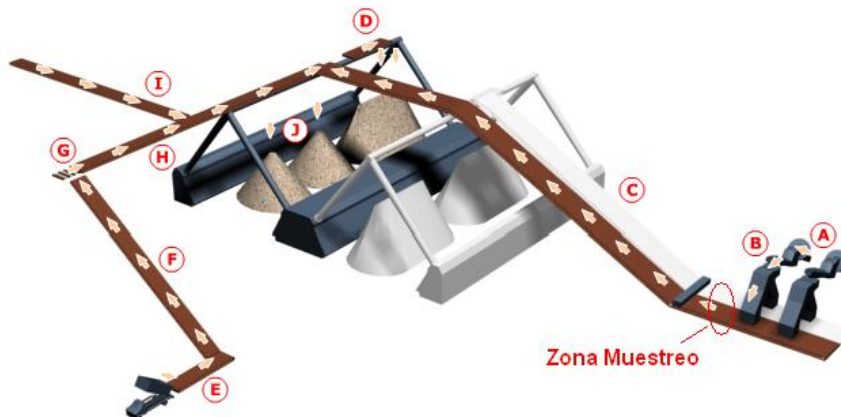


Figura 14, punto de muestreo en la corre que alimenta a la pilas de astillas

Estas muestras son analizadas en el laboratorio de madera donde se mide; aceptado, fino, pin-chip, sobre-espesor, sobre-tamaño, largo y espesor, en una primera etapa se analizan las muestras tomadas tanto para la línea base y post ajustes, y en una segunda etapa se compararan estos resultados (línea base v/s datos post ajustes), para verificar la efectividad de los cambios.

3.1.1 Muestreo y preparación de muestra.

En el procedimiento de muestreo

Se colectan 10 lts. de Astillas o biomasa forestal combustible en un balde (volumen equivalente de 3 a 5 Kg de astilla), para el análisis de la línea base y post ajuste se tomaron 91 y 88 muestras respectivamente.

Se vierte homogéneamente sobre el tamiz superior del clasificador mecánico, figura 8, harnear por 10 minutos, pesar cada fracción que queda sobre los tamices en una balanza, de los valores obtenidos se calcula el porcentaje de cada uno:

Se usó para cuantificar la granulometría el Instructivo 05.202.077.I (Apéndice 7.1), que usa como referencia la norma SCAN-CM 40:01

3.2.2 Método alternativo para medir granulometría

3.2.2.1 Método por Imagenología

Este método tiene como principio un dispositivo de muestreo automático y una unidad de análisis con cámara, donde la muestra se toma directamente desde el flujo de astillas que descarga en el extremo del transportador, asegurando que la muestra incluya astillas de toda la sección transversal del flujo de astillas, proveyendo una distribución de tamaño de astilla basado en el largo, ancho y grosor.

La unidad cuenta con un sistema estructurado de la siguiente forma; dos cámaras CCD que dimensionan las astillas, una unidad de iluminación laser que entregan las líneas de medición, que son usadas para cuantificar las distancias y una unidad de iluminación, que es necesaria para obtener una buena nitidez del área de medición, Figura 15.

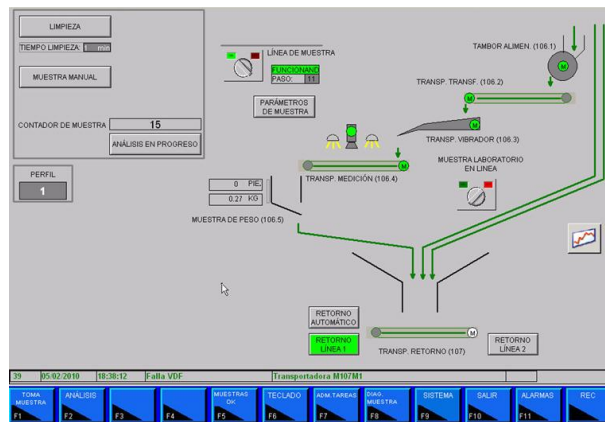


Figura.15, analizador óptico de astillas

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

4.1.1.- La situación actual de la línea de astillado.

Los resultados de la línea base de las muestras analizadas, para la variable aceptado, fino, pin-chip, sobre-espesor, sobre-tamaño, largo y espesor, se muestran en la tabla 3 (Los datos en el Apéndice), y bajo los siguientes parámetros de astillado tabla 4.

El valor aceptado de la línea base arroja un valor medio de 75,88, con una desviación estándar de 6,23, para la variable Sobre Tamaño el valor medio obtenido fue de 4,71 con una desviación estándar de 2,25, el Sobre Espesor dio un valor medio de 15,18 con una desviación estándar de 4,32.

Tabla 3- *Tabula los estadísticos de la línea de base*

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA PINO (LINEA BASE)								
ITEM	Sobre Tamaño	Sobre Espesor	Aceptado	Pin Chips	Finos	Humedad	Densidad Básica	Corteza
	%	%	%	%	%	%	Kg/m ³	%
PROMEDIO	4,71	15,18	75,88	3,49	0,75	58,66	396,86	0,19
DESVIACION S	2,25	4,32	6,23	0,82	0,27	15,37	109,65	0,26
MAXIMO	11,87	26,20	90,18	7,02	2,32	148,50	1028,00	1,80
MINIMO	0,47	5,36	59,46	1,45	0,22	40,00	322,00	0,00

En las Figuras (16, 17, 18,19, 20) se muestran las distribuciones para las variables: aceptado, fino, pin-chip, sobre-espesor, sobre-tamaño.

Tabla 4- *Variabes de Astillado*

Variabes	Inicial
ϵ	33°
α	4°
β	35°
λ	18°
T	15.2 mm
C	06-08 mm

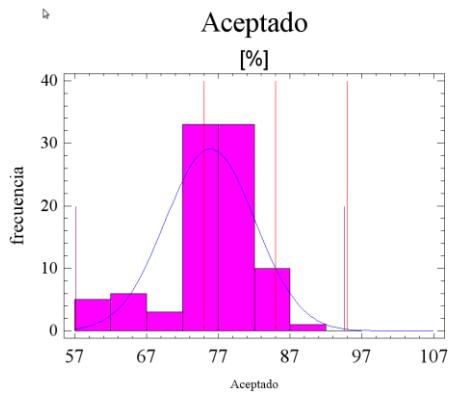


Figura 16, Distribución de la variable Aceptado

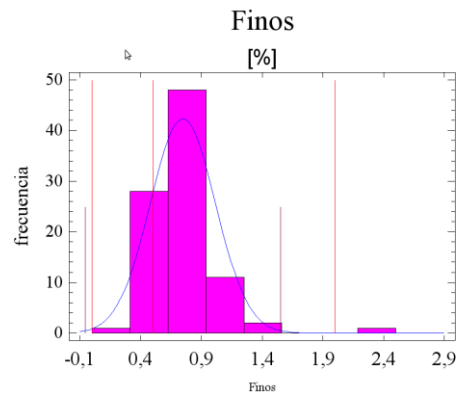


Figura 17, Distribución de la variable Fino

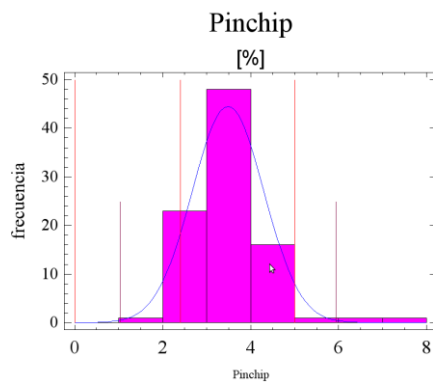


Figura 18, Distribución de la variable Pinchip

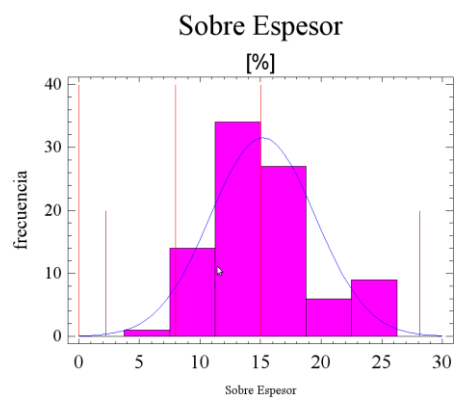


Figura 19, Distribución de la variable SobreEspesor

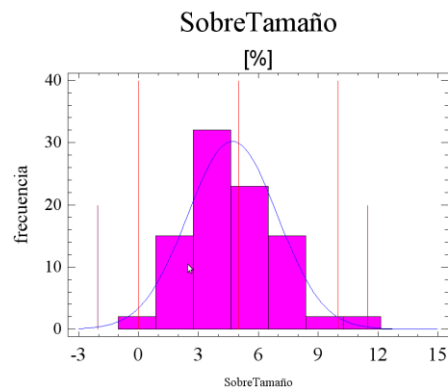


Figura 20, Distribución de la variable Sobre-Tamaño

Los resultados de la línea base de las muestras analizadas, para la variable largo y espesor, se muestran en la tabla 4 respectivamente (Los datos en el Anexo 1).

Tabla 5- Estadísticos del largo y espesor para las astillas de pino (Línea Base)

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (LINEA BASE)		
	Largo	Espesor
	mm	mm
PROMEDIO	28.09	5.29
DESVIACIÓN STANDAR	7.48	0.49
MÁXIMO	46.21	6.59
MÍNIMO	11.17	3.47

El largo promedio de las astillas antes del cambio era de 28.09 mm con una desviación estándar de 7.48, y un espesor de 5.29 mm con una desviación estándar de 0.49

Al graficar la distribución del largo y espesor de las astillas, Figura (21, 22) se observa que el espesor varía entre 3.7 y 6.5 mm y el largo varía entre 10 y 50 mm

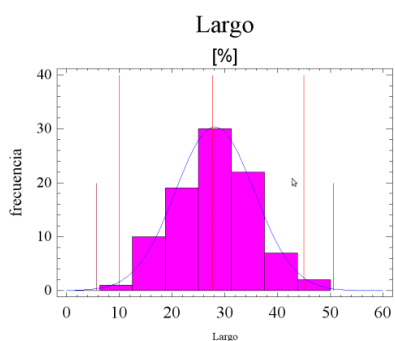


Figura 24 Distribución de la variable Espesor

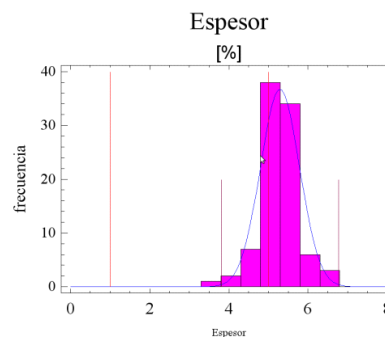


Figura 25 Distribución de la variable Largo

En la Figura 23 se muestra la relación entre el largo y espesor de las astillas, se puede observar que con el incremento del largo de la astilla hay un aumento del espesor de esta, en el rango entre los 17 los 35 mm el aumento del espesor relativamente constante entre los 5 y 5,5 mm, pero en los extremos se ve afectado fuertemente.

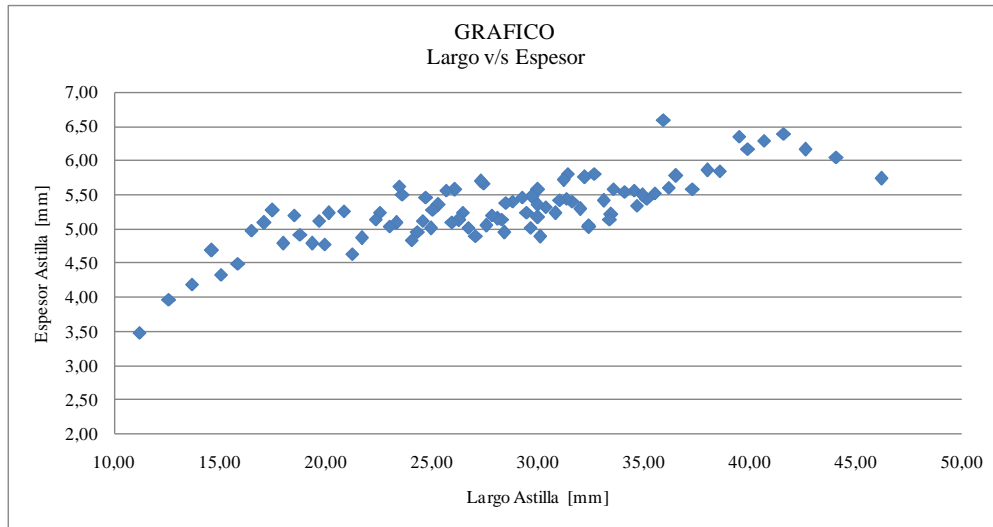


Figura 23 Relación entre el largo y espesor de las astillas

Las potenciales causas que pueden generar algún efecto sobre la calidad de la astilla en el proceso de astillado, se son descritos en el siguiente diagrama de Causa-Efecto, figura 24:

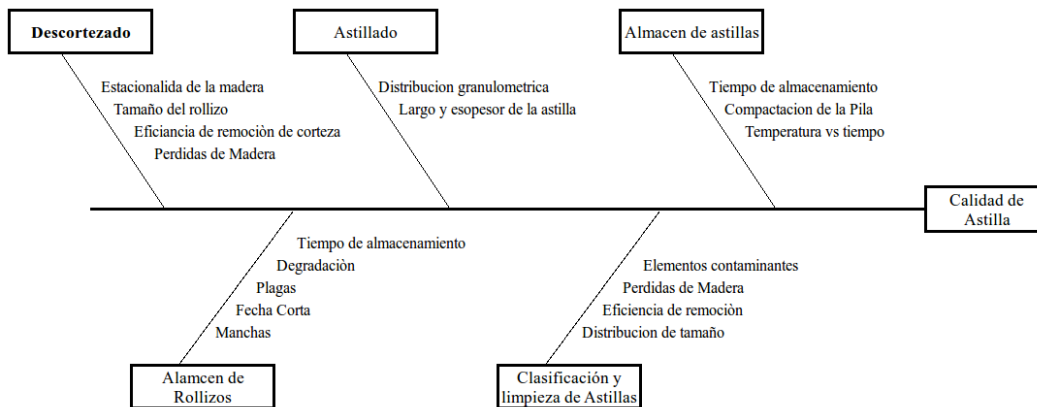


Figura 24, Se describen las posibles causas que pueden generar algún efecto sobre la calidad de las astillas.

En el proceso de astillado podemos identificar causas que afectan la Distribución granulométrica y el largo y espesor de las astillas;

- Desgaste de los segmentos del astillador.
- Distancia entre el filo del cuchillo y la placa de desgaste del disco (distancia T).
- Distancia entre el cuchillo móvil y el cuchillo Fijo (Holgura del cuchillo)
- Pérdida de Filo de los cuchillos, por desgaste, tiempo de uso, calidad de material, objeto extraño, mal diseño.
- Tiempo de corta de la madera.

Estas causas son identificadas por el control periódico (semanal) que se realiza al astillador, durante la mantención y que permiten tomar las mejores decisiones.

Se realizan cambios de tecnología de los astilladores, se mejoran los controles, se ajustan parámetros de la astilla (largo y espesor), con la finalidad de obtener una mejor distribución granulométrica y de largo y espesor, estos son:

- Un correcto afilado de los cuchillos
 - Una mínima holgura del cuchillo
 - Reducir la cantidad de finos, sobre tamaño y sobre espesor
- Mejorar la geometría de corte

- Una mayor razón entre el largo/espesor, logrando astillas más delgadas
- Menos cortes
- Maximizar los tiempos
 - Optimizando los intervalos de cambio de cuchillo
 - Aumenta la disponibilidad por el cambio rápido de cuchillos
 - Optimiza el uso del recurso humano, una persona puede cambiar los cuchillos, sin disminuir la seguridad del personal durante el cambio de cuchillos.

4.1.2.- La situación post ajustes de la línea de astillado.

Los resultados de las muestras analizadas post ajustes, para la variable aceptado, fino, pin-chip, sobre-espesor, sobre-tamaño, largo y espesor, se muestran en la tabla 5 (Los datos en el Anexo 1), con los parámetros de astillado ajustados tabla 6. Se observa que hay un incremento en el aceptado una disminución de los otros parámetros (Sobre-tamaño, Sobre-espesor, Pin-chip y finos) y un estrechamiento en la distribución, granulometría más homogénea.

El valor del aceptado post ajustes arroja un valor medio de 82.02, con una desviación estándar de 3.23, para la variable Sobre Tamaño el valor medio obtenido fue de 2.69 con una desviación estándar de 1.08, el Sobre Espesor dio un valor medio de 11.11 con una desviación estándar de 2.51.

Tabla 6- Tabula los estadísticos post ajustes

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PINO (ACTUAL)								
Item	Sobre Tamaño %	Sobre Espesor %	Aceptado %	Pin Chips %	Finos %	Humedad %	Densidad Básica Kg/m ³	Corteza %
PROMEDIO	2,69	11,11	82,02	3,53	0,66	53,84	370,27	0,11
DESVIACIÓN S	1,08	2,51	3,23	0,77	0,18	4,38	15,30	0,12
MÁXIMO	6,72	17,59	89,68	6,61	1,39	61,35	439,00	0,60
MÍNIMO	0,91	5,14	71,86	2,10	0,38	36,70	338,00	0,00

Tabla 7- Variables de Astillado

Variables	Ahora
ε	33°
α	4°
β	32°
λ	21°
T	13.5 mm
C	06-08 mm

En las Figura (25, 26, 27, 28, 29) se muestran las distribuciones para las variables: aceptado, fino, pin-chip, sobre-espesor, sobre-tamaño, largo y espesor, y se puede observar lo descrito anteriormente.

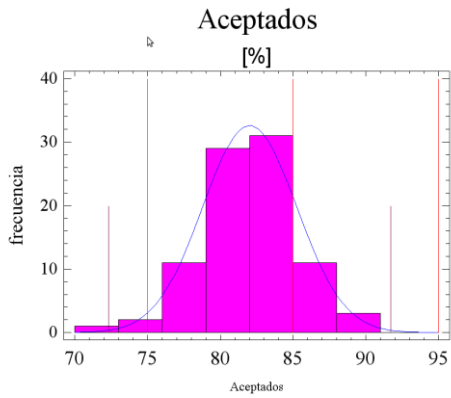


Figura 25, Distribución de la variable Aceptado

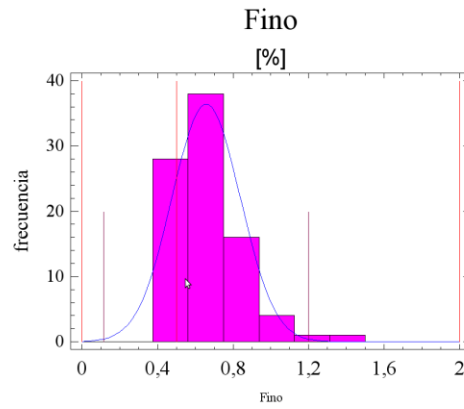


Figura 26, Distribución de la variable Fino

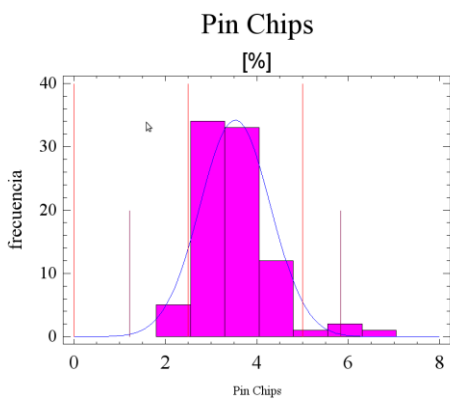


Figura 27, Distribución de la variable Pinchip

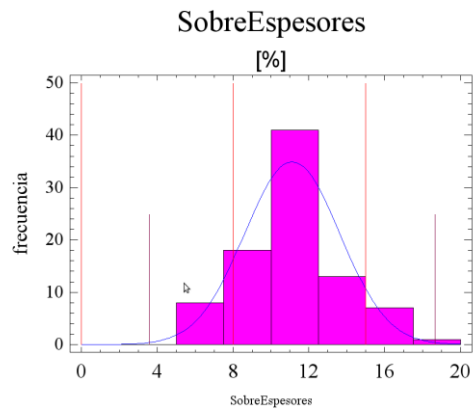


Figura 28, Distribución de la variable SobreEspesor

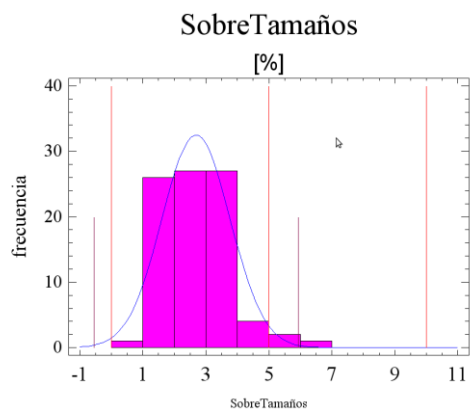


Figura 29, Distribución de la variable Sobre-Tamaño

Los resultados de las muestras analizadas, post ajustes, para la variable largo y espesor, se muestran en la tabla 6 respectivamente (Los datos en el Apéndice 1).

Tabla 8 - Tabula los estadísticos post ajustes

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (POST AJUSTES)		
Item	Largo mm	Espesor mm
PROMEDIO	25.33	4.94
DESVIACIÓN STANDAR	0.72	0.24
MÁXIMO	27.60	5.50
MÍNIMO	24.00	4.40

En las Figura (30, 31) se muestran las distribuciones para la variable largo y espesor, donde se logra disminuir las desviaciones con relación a la media.

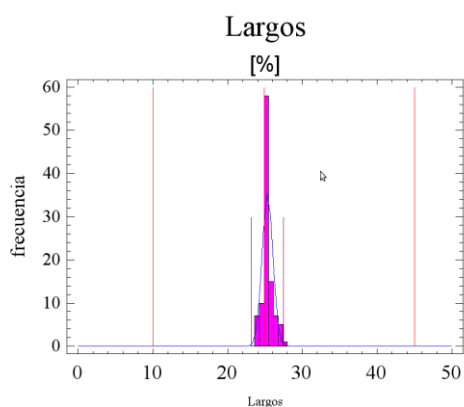


Figura 30, Distribución de la variable Largo

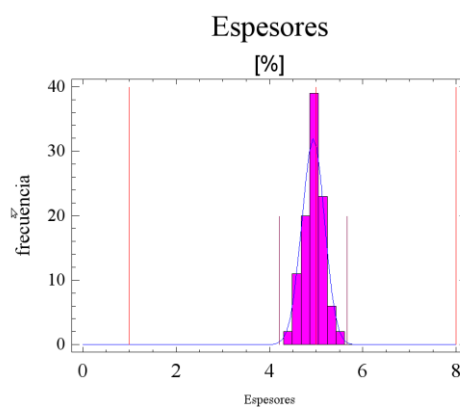


Figura 31, Distribución de la variable Espesor

En la Figura 32 se muestra la relación entre el largo y espesor de las astillas. Se observa una mayor concentración de datos entre los 24.5 y 25.5 mm. Se observa que el espesor no se ve muy afectado en el rango 24 y 26 mm, manteniendo un espesor de promedio de 5 mm.

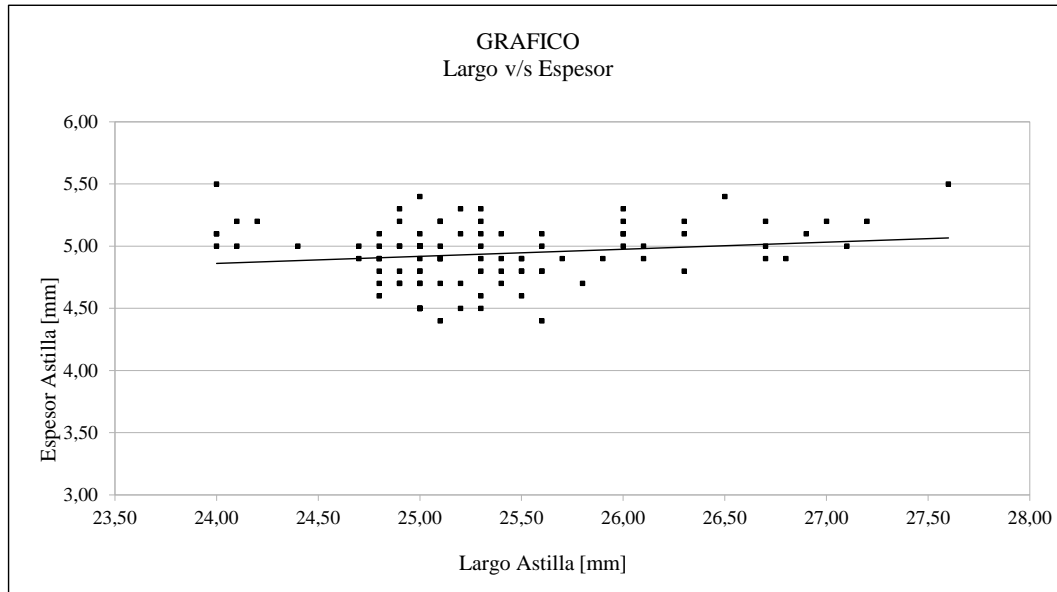


Figura 32 Relación entre el largo y espesor de las astillas

4.1.3.- Comparación antes y después de realizar los ajustes

Se puede observar al comparar los promedios de granulometría actuales con los de la línea base (tabla 9), que hubo una mejoría global de la calidad de las astillas obtenidas, ya que se logró bajar el sobre tamaño, el sobre espesor y fino, y aumentar el aceptado, solo el pinchip se mantuvo. Como el sobre-espesor pasa por un mejorador de astillas y por lo tanto pasa a la fracción de aceptado el incremento de rendimiento del astillado sería de un 2,07%, pasamos de 91,06% a 93,13%, y se ha logrado obtener un mejor aceptado, logrando subir en promedio 6 puntos porcentuales

Tabla 9 –Promedios de las granulometrías, Humedad, Densidad Básica y Corteza.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PINO								
Item	Sobre Tamaño %	Sobre Espesor %	Aceptado %	Pin Chips %	Finos %	Humedad %	Densidad Básica Kg/m ³	Corteza %
PROMEDIOS AHORA	2,69	11,11	82,02	3,53	0,66	53,84	370,27	0,11
PROMEDIOS ANTES	4,71	15,18	75,88	3,49	0,75	58,66	396,86	0,19

Al comparar los resultados para la variable largo y espesor se puede observar que, ha bajado considerablemente las desviaciones con relación a la media, en un 90,4% y 51,1% respectivamente, logrando una distribución más estrecha y uniforme.

Al comparar la distribución del espesor de la línea Base con los datos post ajustes se observa una distribución más estrecha posterior a los cambios, ver Figura 35, en la Figura 36 se puede apreciar más claramente este el comportamiento de las variables aceptado después de los ajustes, observándose valores más estables en el tiempo.

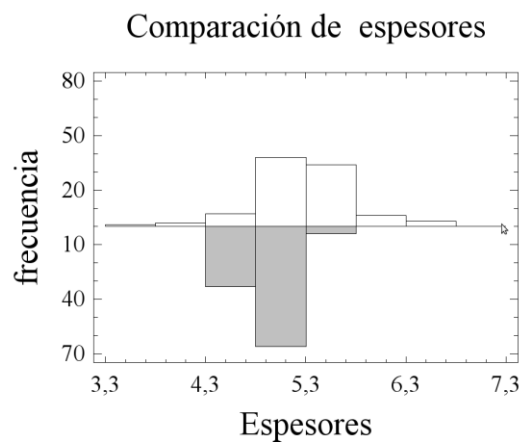


Figura 33, Compara la distribución de espesor de las astillas antes y después de los ajustes.

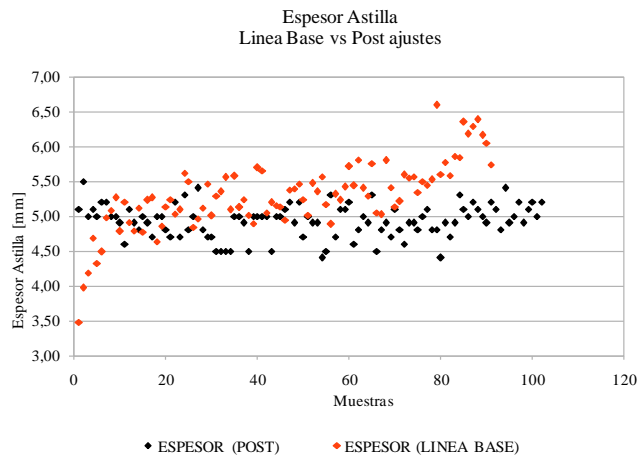


Figura 34, Comportamiento del espesor de astillas antes y después de los ajustes

Al comparar la distribución del aceptado de la línea Base con los datos post ajustes se observa una distribución más estrecha posterior a los cambios, ver Figura 35, en la Figura 36 se puede apreciar más claramente este el comportamiento de las variables aceptado después de los ajustes, observándose valores más estables en el tiempo.

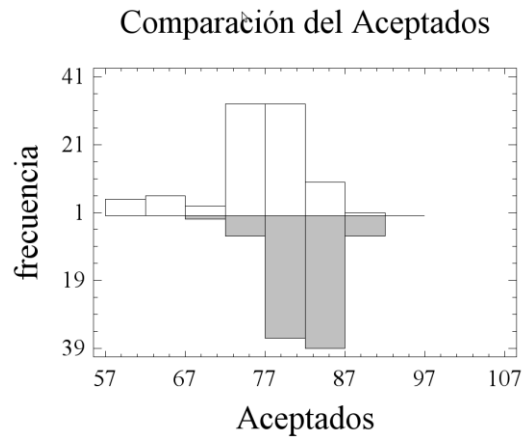


Figura 35, Compara la distribución de aceptado de las astillas antes y después de los ajustes.

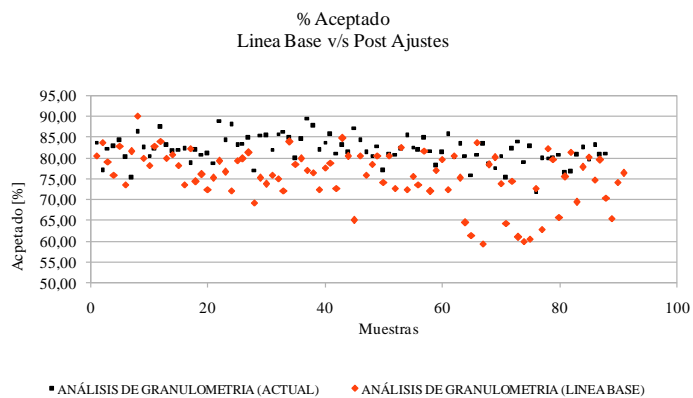


Figura 36, Comportamiento del espesor de astillas antes y después de los ajustes.

Otro factor importante fue la reducción del tiempo entre cambio de cuchillos en la figura 37, podemos ver que inicialmente teníamos un tiempo (hr/mes) que alcanzaba las 35 horas, actualmente este tiempo se ha disminuido a 15 horas aproximadamente.

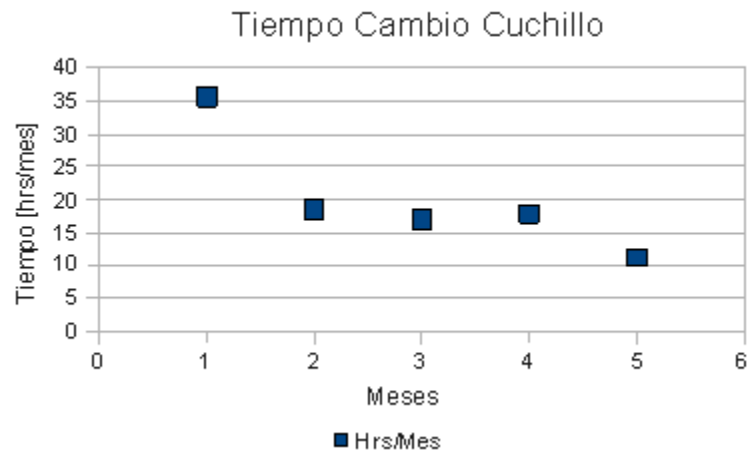


Figura 37, *Tiempos usados para el cambio de cuchillo.*

5 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo, podemos concluir lo siguiente:

Los cambios realizados al sistema de astillado y en las nuevas condiciones operación, permiten obtener una granulometría de astilla más homogénea y de mejor calidad.

La nueva tecnología permitió aumentar la disponibilidad de las líneas ya que los cuchillos tienen mayor durabilidad y son más rápidos de cambiar.

El control periódico de las piezas de desgaste del astillador y la granulometría de las astillas permite anticiparse a la toma acciones, para mantener una buena calidad de astilla.

6 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, J. M. **Estudos da maximização de rendimentos e monitoramento da degradação dos constituintes da madeira de eucalyptus em processo kraft contínuo**. 1999.140f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

Andritz 2010; **Original table from training**, Wood Processing Plant in Pulp Mill Process

BJURULF A.. **Chip Geometry - Methods to impact the geometry of market chips**, Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. 2006.

BUCHANAN J.G. AND DUCHNICKI T.S. **Some Experiments in Low Speed Chipping**; Pulp and Paper Magazine Can. May, 1963: T235 T245.

FENGEL D., AND STOLL M.. **Variation in cell cross sectional area, cell wall thickness and wall layer of spruce tracheids within an annual ring**; Holzforschung 27: 1 7, 1973.

FULLER W.S.. **Chipping, Screening and cleaning**. Pulp and Paper Manufacture Vol. 1 Properties of Fibrous Raw Materials their Preparation for Pulping, M.J Kockrek and C.F.B. Sterens, Tappi; ISBN: 0 919893 07 4, 1983a;

FULLER W.S.. Pulp and Paper Manufactur, Vol, 1: **Prope of Fobrous Raw Materials and Their Preparation for Pulping**. TAPPI/CPPA Joint Textbook Committe. . 1983b.

FULLER W.S. (1983c). **Current Trends in Woodyard Handling**, Procceding of the SPCI Conference, Strockholm, April. 1987.

FULLER W.S.. **Sate-of-the-art in Chip Sampling**. TAPPI Pulping Conference Proceeding, TAPPI PRESS. 1987.

HARTLER N. AND STADE Y.. **Chip specifications for various pulping processes**;

Chip Quality Monograph, Hatton, J.V. (Editor), Pulp and Paper Technology Series No. 5 (TAPPI); 1979.

HARTLER N.. **Chipper design and operation for optimum chip quality**; Tappi J. Vol. 69, No. 10: 62 66; 1986.

HARTLER N.. **Studies on the Suction Feeding of Chippers**; Svensk Papperstidning; Vol. 65, No 12: 475 487; 1962 c.

HARTLER N.. **The Effect of Spout Angle as Studied**. In: An Experimental Chipper; Svensk Papperstidning Vol. 65, No. 9: 351 362. 1962a.

HATTON, J.V.. **Chip quality monograph** No. 1, Ed. TAPPI/CPPA Joint Textbook Committee. 1979.

HELLSTRÖM L. M.. Paper IV in “**On the Wood Chipping Process – A study on basic mechanisms in order to optimize chip properties for pulping**”, Mid Sweden University; 2010.

HELLSTRÖM L.M., ISAKSSON, P. GRADIN P.A. AND ERIKSSON K.. **An Analytical and Numerical Study of some Aspects of the Wood Chipping Process**; Nord. Pulp Paper Res. J., Vol. 24, No. 2: 225 230; 2009.

KEAYS J.L.. **History of wood chipping**; Chip Quality Monograph, Hatton J.V. (Editor), Pulp and Paper Technology Series No 5 (TAPPI); 1979.

KIVIMAA E. AND MURTO J.O.. **Investigations on factors affecting chipping of pulp wood**; Statens Tekniska Forskningsanstalt, Finland Publ.9; 1949.

LISBETH H.. **On the wood chipping process – a study on basic mechanisms in order to optimize chip properties for pulping**, Mid Sweden University, Sweden; 2010.

MARRS, G.R.. **Automatic Particle Classification**. TAPPI Pulping Conference

Proceedings. TAPPI PRESS, U.S. Patent. No 4 487 323, 11 Dec. 1984.

McLAUHLAN T.A. AND LAPIONTE J.A.. **Production of chips by disc chippers;** Chip Quality Monograph, Hatton, J.V. (Editor), Pulp and Paper Technology Series No 5 (TAPPI); 1979.

Original picture from WWW.Andritz.com

PERSSON KENT. **Modelling of Wood Properties by a Micromechanical Approach;** Licentiate of technology thesis, Lund University: ISSN 0281 6679; 1979.

PETERSSON, A., L. OLSSON AND S.O. LUNDQVIST. **On-Line Measurement of Chip Size,** TAPPI 71:7; 1988.

SCAN-test Standard SCAN-CM 40:01. **Wood Chips for Pulp Production–Size Distribution,** Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, Stockholm, Sweden; 2001.

STONE, J. E.; FORDERRENTHER, C. **Studies of penetration and diffusion into wood.** Tappi, Atlanta, v. 39, n.10, p. 679-683, Oct. 1956.

SVENSSON B.A.. **Frictional Studies and High Strain Rate Testing of Wood under Refining Conditions;** Doctoral thesis, Mid Sweden University, Department of Natural science, Sundsvall; 2007.

TRONSTAD S. (1994): Sagbruksflis, Trelastindustrins Servicekontor, Oslo.

TWADDLE A.. The influence of species, chip length, and ring orientation on chip thickness; Tappi J Vol. 80, No. 6: 123 131; 1997.

UHMEIER A.. Some fundamental aspects of wood chipping; Tappi J Vol. 78, No. 10: 79 86; 1995.

ZMITROWICZ A.. **Models of kinematics dependent anisotropic and**

heterogeneous friction; International Journal of Solids and Structures, Vol. 43, Issues
14 15: 4407 4451; 2006.

APENDICE

APENDICE A
Tablas de Datos
LINEA BASE

Tabla 10.- Resultados de las condiciones iniciales de granulometría, Humedad, densidad básica y corteza “línea base”

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA PINO (LINEA BASE)								
Muestras	Sobre Tamaño %	Sobre Espesor %	Aceptado %	Pin Chips %	Finos %	Humedad %	Densidad Básica Kg/m ³	Corteza %
1	2.36	12.83	80.59	3.69	0.53	59.00	385.00	0.00
2	3.58	8.51	83.85	3.45	0.63	57.50	385.00	1.80
3	3.82	12.67	79.23	3.51	0.77	58.70	363.67	0.07
4	4.03	15.40	76.05	3.56	0.96	46.40	367.00	0.05
5	3.95	9.45	83.00	2.96	0.64	58.10	382.00	0.00
6	6.39	14.77	73.57	4.29	0.98	40.00	408.00	0.30
7	1.47	14.02	81.64	2.45	0.41	56.60	373.00	0.40
8	0.77	5.36	90.18	3.17	0.54	52.50	365.50	0.20
9	2.68	12.84	80.09	3.60	0.79	56.20	366.00	0.30
10	3.69	13.03	78.31	4.19	0.80	60.70	358.00	0.00
11	2.66	10.47	82.86	3.14	0.86	58.60	395.00	0.40
12	1.00	10.20	84.08	3.88	0.85	60.50	362.00	0.00
13	4.92	10.03	79.99	4.14	0.92			
14	3.19	12.14	80.89	3.09	0.70	58.50	349.00	0.10
15	2.58	14.81	78.38	3.55	0.69	51.57	383.67	0.30
16	7.70	14.85	73.69	3.11	0.65	40.40	348.00	0.40
17	2.99	10.28	82.44	3.71	0.57	60.15	367.00	0.00
18	5.30	15.03	74.35	4.12	1.20	55.05	377.00	0.00
19	3.63	15.59	76.18	3.78	0.82	62.00	359.00	0.50
20	5.48	16.32	72.44	4.57	1.19	45.40	404.67	0.13
21	5.35	14.34	75.28	4.15	0.88	77.25	585.50	0.00
22	3.80	12.00	79.31	3.96	0.94	55.03	367.67	0.20
23	3.51	15.86	76.76	3.12	0.77	58.50	331.00	0.00
24	7.30	17.16	72.14	2.78	0.63	57.27	353.67	0.17
25	5.64	11.16	79.47	3.10	0.64	53.80	361.00	0.10
26	3.70	12.04	79.88	3.57	0.82	52.30	391.00	0.27
27	4.01	10.56	81.31	3.34	0.79	104.80	800.00	0.60
28	8.04	19.00	69.37	2.92	0.68	49.80	392.00	0.00
29	5.13	15.64	75.30	3.21	0.72	56.80	374.00	0.10
30	6.09	16.98	73.85	2.52	0.57	104.30	774.00	0.20
31	5.25	15.65	75.99	2.52	0.58	51.35	355.50	0.70
32	7.85	13.10	75.03	3.31	0.71	53.00	365.33	0.20
33	6.89	17.16	72.19	3.08	0.67	56.30	342.00	0.55
34	0.47	11.04	83.95	3.87	0.67	59.80	364.00	0.40
35	3.32	13.45	78.67	3.76	0.80	52.27	367.33	0.17
36	1.78	13.36	79.92	4.15	0.80	55.63	365.00	0.20
37	2.45	15.16	77.11	4.66	0.62	55.00	369.00	0.10
38	4.66	13.50	76.51	4.44	0.90	56.07	342.67	0.03
39	5.54	17.17	72.51	3.97	0.81	57.55	360.00	0.10
40	1.44	16.58	77.70	3.71	0.59	66.30	322.00	0.00
41	1.13	11.68	78.96	7.02	1.22	52.20	348.00	0.15
42	7.83	15.30	72.86	3.25	0.78	53.30	361.00	0.00
43	2.07	9.83	84.81	2.83	0.48	54.25	402.50	0.00
44	3.64	12.61	80.51	2.75	0.50	55.00	368.00	0.00

Tabla 10.- Resultados de las condiciones iniciales de granulometría, Humedad, densidad básica y corteza "línea base" (Cont.)

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA PINO (LINEA BASE) Cont.

Muestras	Sobre Tamaño %	Sobre Espesor %	Aceptado %	Pin Chips %	Finos %	Humedad %	Densidad Básica Kg/m³	Corteza %
45	7.75	23.38	65.12	3.05	0.71	50.20	325.50	0.00
46	4.47	11.46	80.63	2.85	0.57	51.00	359.50	0.00
47	4.39	14.74	75.98	4.06	0.83	44.95	351.00	0.00
48	2.76	13.24	78.64	4.41	0.95	60.43	356.33	0.03
49	4.72	11.38	80.64	2.69	0.58	53.70	356.50	0.40
50	7.42	14.62	74.17	3.33	0.48	54.95	373.50	0.00
51	3.29	11.76	80.68	3.55	0.72	56.77	377.33	0.03
52	5.74	18.15	72.74	2.87	0.52	59.80	344.50	0.05
53	3.84	9.27	82.74	3.67	0.49	59.30	349.67	0.07
54	4.35	18.41	72.54	3.89	0.83	58.30	356.50	0.00
55	4.86	15.61	75.60	3.30	0.62	49.90	354.50	0.10
56	3.41	18.33	73.61	3.85	0.82	52.40	358.33	0.03
57	1.74	11.66	81.78	4.28	0.55	52.73	365.00	0.10
58	5.15	19.10	72.05	3.00	0.70	49.90	347.00	0.90
59	5.12	14.42	77.17	2.66	0.64	54.20	359.50	0.10
60	4.52	12.75	79.72	2.55	0.46	51.33	355.33	0.17
61	7.85	15.62	72.60	3.27	0.68	53.90	360.00	0.05
62	4.87	10.67	80.62	3.28	0.55	55.93	378.67	0.07
63	5.05	14.97	75.27	3.72	0.99	57.20	368.00	0.03
64	5.52	24.83	64.52	3.98	1.16	46.17	353.33	0.13
65	11.87	23.16	61.50	2.78	0.69	52.75	349.50	0.40
66	3.07	8.78	83.75	3.61	0.79	49.70	375.00	0.25
67	9.29	25.00	59.46	5.40	0.87	48.40	350.50	0.20
68	3.73	13.50	78.43	3.61	0.71	56.17	364.33	0.33
69	2.51	14.76	80.21	2.14	0.39	51.27	363.67	0.67
70	6.62	14.92	73.88	3.71	0.88	45.60	355.50	0.45
71	4.46	22.36	64.35	6.52	2.32	49.85	339.00	0.45
72	3.24	16.90	74.55	4.22	1.09	53.55	352.50	0.00
73	6.88	26.20	61.06	4.59	1.28	45.10	326.00	0.20
74	10.53	25.51	60.00	3.08	0.84	47.80	324.00	0.00
75	8.18	25.48	60.60	4.36	1.38	49.87	346.00	0.10
76	4.81	18.39	72.85	3.36	0.59	56.60	361.33	0.00
77	8.13	24.78	62.95	3.17	0.98	148.50	1028.00	0.40
78	2.79	11.13	82.30	3.20	0.59	53.57	393.00	0.33
79	4.27	12.67	79.74	2.85	0.47	57.15	370.50	0.00
80	10.08	20.28	65.88	3.01	0.75	72.00	527.00	0.25
81	4.37	17.33	75.52	2.37	0.40	53.40	379.00	0.40
82	3.77	11.47	81.44	2.80	0.52	111.10	748.00	0.10
83	6.99	19.78	69.50	3.01	0.73	64.83	453.00	0.03
84	3.89	15.17	77.89	2.59	0.46	57.50	370.00	0.25
85	1.77	16.37	80.25	1.45	0.22	56.90	403.00	0.20
86	4.30	16.39	74.87	3.58	0.85	58.87	341.00	0.07
87	2.50	12.82	79.62	4.20	0.86	58.07	366.00	0.43
88	5.56	20.07	70.50	3.15	0.73	78.95	509.00	0.00
89	7.71	23.15	65.62	2.99	0.53	82.15	525.50	0.00
90	6.14	16.37	74.17	2.67	0.66	83.10	535.50	0.10
91	5.36	15.08	76.40	2.64	0.52	78.10	550.50	0.20

Tabla 11.- Resultados de las condiciones iniciales de largo y espesor (línea base)

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (LINEA BASE)		
Muestras	Largo	Espesor
1	46,21	5,73
2	44,09	6,04
3	42,62	6,16
4	41,61	6,38
5	40,65	6,29
6	39,92	6,17
7	39,50	6,35
8	38,57	5,84
9	37,98	5,85
10	37,30	5,58
11	36,54	5,77
12	36,16	5,60
13	35,94	6,59
14	35,51	5,52
15	35,15	5,44
16	34,94	5,49
17	34,69	5,34
18	34,53	5,56
19	34,12	5,54
20	33,57	5,59
21	33,46	5,21
22	33,39	5,13
23	33,11	5,41
24	32,67	5,80
25	32,41	5,02
26	32,39	5,05
27	32,23	5,76
28	31,98	5,29
29	31,63	5,40
30	31,42	5,80
31	31,33	5,44
32	31,20	5,71
33	31,05	5,42
34	30,81	5,23
35	30,36	5,31
36	30,11	4,88
37	30,00	5,57
38	30,00	5,17
39	29,96	5,35
40	29,74	5,47
41	29,64	5,01
42	29,49	5,24
43	29,24	5,46
44	28,79	5,39
45	28,51	5,38
46	28,40	4,95

Tabla 11.- Resultados de las condiciones iniciales de largo y espesor (línea base) Cont.

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (LINEA BASE) Cont.		
Muestras	Largo	Espesor
47	28,31	5,14
48	28,06	5,15
49	27,81	5,19
50	27,56	5,04
51	27,41	5,65
52	27,31	5,69
53	27,07	4,90
54	26,72	5,01
55	26,45	5,24
56	26,29	5,12
57	26,09	5,57
58	25,96	5,09
59	25,66	5,55
60	25,31	5,35
61	25,05	5,28
62	24,94	5,00
63	24,72	5,46
64	24,57	5,11
65	24,33	4,96
66	24,03	4,84
67	23,60	5,49
68	23,45	5,62
69	23,33	5,09
70	22,99	5,03
71	22,53	5,24
72	22,32	5,14
73	21,66	4,86
74	21,23	4,63
75	20,84	5,26
76	20,11	5,23
77	19,93	4,77
78	19,67	5,11
79	19,33	4,78
80	18,77	4,91
81	18,47	5,20
82	17,96	4,78
83	17,47	5,26
84	17,08	5,08
85	16,45	4,97
86	15,84	4,49
87	15,02	4,32
88	14,60	4,68
89	13,65	4,18
90	12,57	3,97
91	11,17	3,47

APENDICE B
Tablas de Datos
POST AJUSTES

Tabla 12.- Resultados de granulometría, Humedad, densidad básica y corteza después de los ajustes operacionales y cambios de tecnología.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PINO (ACTUAL)								
Muestras	Sobre Tamaño	Sobre Espesor	Aceptado	Pin Chips	Finos	Humedad	Densidad Básica	Corteza
1	2,34	9,14	83,87	3,96	0,69	59,80	350,00	0,10
2	3,82	14,40	76,97	4,00	0,81	59,50	380,00	0,20
3	2,74	10,61	82,37	3,66	0,63	59,25	355,00	0,05
4	3,28	10,20	82,79	3,12	0,61	56,70	370,00	0,17
5	1,90	10,01	84,29	3,22	0,58	58,30	352,50	0,00
6	3,45	12,04	80,30	3,49	0,73	60,40	357,00	0,00
7	6,72	14,28	75,31	3,11	0,59	61,35	344,50	0,20
8	1,37	6,70	86,33	4,65	0,96	49,20	398,00	0,15
9	1,92	12,45	82,47	2,68	0,49	59,30	370,50	0,00
10	3,49	10,97	80,64	4,17	0,73	56,10	371,50	0,10
11	2,95	10,76	82,43	3,27	0,61	56,65	372,50	0,20
12	1,59	8,04	87,51	2,40	0,45	54,50	349,00	0,00
13	3,24	9,82	83,13	3,20	0,62	51,60	380,33	0,10
14	3,24	10,27	81,70	3,93	0,87	58,00	359,00	0,10
15	3,96	9,70	82,15	3,60	0,60	57,15	371,50	0,00
16	3,63	10,46	82,28	3,09	0,54	52,60	360,75	0,00
17	3,40	13,83	78,81	3,31	0,61	58,13	358,00	0,07
18	2,39	11,31	81,89	3,74	0,67	55,70	372,00	0,00
19	3,92	11,00	81,01	3,38	0,70	56,05	384,50	0,20
20	2,29	11,95	81,16	3,85	0,78	59,85	353,50	0,05
21	4,59	12,09	78,93	3,64	0,75	52,40	356,00	0,05
22	1,09	5,90	89,09	3,17	0,76	53,75	374,50	0,00
23	1,06	6,98	84,25	6,61	1,10			
24	1,75	7,61	88,12	2,10	0,43	47,90	408,00	0,15
25	1,15	8,37	83,17	6,14	1,17	60,70	350,00	0,00
26	1,58	9,62	83,56	4,42	0,83	53,47	388,67	0,07
27	1,18	9,25	84,94	3,75	0,89	36,70	359,00	0,00
28	4,58	15,28	77,17	2,54	0,43	58,27	363,33	0,03
29	1,70	7,12	85,63	4,58	0,97	55,85	379,50	0,15
30	2,38	6,48	85,53	4,69	0,92	56,60	370,00	0,00
31	3,29	11,15	82,16	2,81	0,58	52,00	377,00	0,07
32	1,96	8,68	85,91	2,85	0,60	56,10	389,00	0,00
33	2,22	6,75	86,45	3,87	0,71	52,60	384,00	0,00
34	1,28	10,38	84,86	2,90	0,58	55,70	367,00	0,10
35	3,38	11,41	79,98	4,38	0,85	53,65	352,00	0,00
36	2,06	9,76	84,65	2,89	0,65	47,55	377,50	0,55
37	1,52	5,14	89,68	3,08	0,60	52,90	373,67	0,00
38	2,30	5,44	87,69	4,09	0,49	51,05	374,50	0,00
39	2,16	11,76	81,91	3,46	0,73	57,45	376,00	0,00
40	2,36	9,65	83,85	3,41	0,73	55,77	384,67	0,10
41	0,91	8,52	85,82	4,01	0,75	58,00	371,67	0,03
42	2,57	12,97	81,22	2,75	0,49	57,80	346,00	0,10
43	2,29	10,63	83,16	3,31	0,62	55,67	364,67	0,27

Tabla 12.- Resultados de granulometría, Humedad, densidad básica y corteza después de los ajustes operacionales y cambios de tecnología (Cont.)

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PINO (ACTUAL) Cont.								
Muestras	Sobre	Sobre	Aceptado	Pin Chips	Finos	Humedad	Densidad	Corteza
44	3,35	11,86	81,42	2,82	0,54	52,60	374,00	0,00
45	1,18	8,01	87,36	2,95	0,51	53,87	388,00	0,20
46	2,17	10,48	84,24	2,63	0,48	53,20	372,00	0,10
47	1,85	11,64	81,47	4,27	0,78	57,70	344,00	0,40
48	2,54	11,63	80,69	4,27	0,87	57,40	357,00	0,30
49	1,29	11,93	82,99	3,26	0,53	55,25	386,50	0,25
50	3,78	15,07	77,08	3,49	0,58	53,20	386,50	0,05
51	3,22	12,63	80,84	2,92	0,40	51,90	373,00	0,20
52	1,77	13,28	80,92	3,54	0,50	58,15	374,50	0,00
53	2,82	10,56	82,31	3,62	0,69	52,55	373,00	0,15
54	1,73	9,07	85,54	3,04	0,63	54,80	367,00	0,10
55	1,29	11,90	82,72	3,43	0,66	53,50	358,33	0,07
56	1,73	11,54	82,05	3,90	0,78	57,70	374,00	0,15
57	1,62	9,52	84,93	3,30	0,63	57,80	389,00	0,10
58	3,64	10,74	81,87	3,24	0,52	53,75	371,00	0,15
59	2,74	14,14	78,19	4,13	0,82	50,00	380,00	0,60
60	3,43	10,52	81,43	3,84	0,79	55,00	359,50	0,00
61	2,30	8,15	85,72	3,27	0,56	52,10	439,00	0,10
62	2,99	12,60	80,42	3,42	0,57	56,23	369,67	0,10
63	1,52	10,59	83,52	3,71	0,66	56,10	376,00	0,03
64	3,07	12,50	80,63	3,18	0,62	49,53	363,00	0,17
65	3,94	15,95	76,02	3,47	0,67	47,70	357,67	0,07
66	1,95	12,26	81,00	3,93	0,85	42,25	356,00	0,00
67	3,26	9,79	83,47	2,97	0,45	59,05	372,50	0,00
68	3,13	15,49	78,54	2,40	0,43	56,60	338,00	0,10
69	1,97	15,94	77,77	3,46	0,86	54,90	396,00	0,10
70	3,10	12,00	80,70	3,45	0,75	49,15	371,00	0,45
71	3,45	15,02	75,37	4,79	1,39	52,30	360,00	0,00
72	2,56	11,52	82,28	3,01	0,64	43,70	380,50	0,15
73	2,09	9,85	84,18	3,30	0,57	53,80	367,00	0,00
74	2,93	12,89	79,27	4,47	0,45	56,05	379,00	0,05
75	1,90	11,87	82,85	2,85	0,53	52,20	375,00	0,00
76	4,49	17,59	71,86	5,68	0,40	56,30	356,00	0,00
77	2,31	11,89	80,00	4,82	0,99	45,47	354,00	0,23
78	3,37	12,49	80,11	3,46	0,58	48,20	380,00	0,00
79	3,30	13,82	80,34	2,16	0,38	50,40	383,50	0,20
80	2,75	12,03	80,92	3,72	0,59	52,55	373,00	0,25
81	4,97	15,19	76,43	2,90	0,52	50,80	346,50	0,25
82	5,17	14,58	76,79	2,93	0,53	49,05	360,00	0,25
83	2,56	12,88	80,73	3,31	0,53	51,17	370,67	0,03
84	2,01	11,13	82,60	3,45	0,79	48,57	376,67	0,03
85	5,04	11,74	79,61	3,13	0,48	49,25	357,00	0,00
86	2,88	10,52	83,06	3,08	0,47	52,05	382,50	0,25
87	3,29	12,56	80,87	2,82	0,46	50,80	376,67	0,07
88	3,04	11,85	81,28	3,29	0,53	47,75	372,50	0,20

Tabla 13.- Resultados del largo y espesor en mm después de los ajustes operacionales y cambios de tecnología.

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (POST)		
Muestras	Largo	Espesor
1	27,20	5,20
2	26,90	5,10
3	27,60	5,50
4	26,70	4,90
5	27,00	5,20
6	25,70	4,90
7	26,00	5,30
8	26,70	5,00
9	26,00	5,20
10	27,10	5,00
11	26,10	5,00
12	26,30	4,80
13	26,00	5,10
14	25,60	5,00
15	26,10	4,90
16	25,60	4,40
17	26,80	4,90
18	26,70	5,20
19	26,50	5,40
20	26,30	5,10
21	25,90	4,90
22	26,30	5,20
23	26,00	5,10
24	26,00	5,00
25	25,60	5,10
26	24,80	4,60
27	24,90	4,80
28	24,80	5,00
29	24,90	5,20
30	25,40	4,90
31	25,00	4,80
32	24,90	4,70
33	25,20	5,10
34	25,00	4,90
35	24,70	5,00
36	25,10	4,70
37	24,80	4,80
38	25,00	4,50
39	24,80	4,90
40	25,10	5,20
41	25,00	5,00
42	25,00	5,00
43	25,00	5,00
44	25,00	5,00
45	25,00	5,00
46	25,00	5,00
47	25,00	5,00
48	25,00	4,80
49	24,00	5,10
50	25,00	4,70
51	25,00	5,00

Tabla 13.- Resultados del largo y espesor en mm después de los ajustes operacionales y cambios de tecnología.

ANÁLISIS DE LARGO Y ESPESOR (POST) Cont.		
Muestras	Largo	Espesor
52	25,00	5,40
53	25,00	4,70
54	25,30	4,90
55	24,00	5,50
56	24,10	5,20
57	24,20	5,20
58	24,00	5,10
59	24,10	5,00
60	24,80	5,10
61	24,90	5,00
62	25,00	5,10
63	25,00	5,00
64	25,40	4,80
65	25,20	4,50
66	25,60	4,80
67	25,10	5,20
68	25,20	5,30
69	25,30	4,50
70	25,50	4,90
71	25,40	5,10
72	25,30	5,00
73	25,10	5,00
74	24,00	5,00
75	25,30	5,30
76	25,50	4,90
77	25,80	4,70
78	25,10	4,90
79	25,30	5,20
80	25,10	4,90
81	24,90	5,30
82	25,60	4,80
83	25,20	4,70
84	25,50	4,80
85	25,40	4,70
86	25,30	4,80
87	25,10	4,40
88	25,00	4,50
89	25,00	4,50
90	25,00	4,50
91	25,00	4,50
92	25,00	4,50
93	24,90	5,00
94	24,70	4,90
95	25,50	4,60
96	24,40	5,00
97	25,10	4,90
98	24,80	4,70
99	25,30	4,60
100	24,80	4,90
101	25,50	4,80
102	24,90	4,70
103	25,30	5,10

APENDICE C
**“Instructivo para clasificación mecánica de astillas y biomasa forestal
combustible”, “05.202.077.I”**