



0006269



INFOR
Instituto Forestal



Informe Técnico 152

**Detección Automática de Defectos en Madera Aserrada:
Principios y Metodología de Evaluación.**

Concepción (CHILE), septiembre de 2000

Informe Técnico 152

**Detección Automática de Defectos en Madera Aserrada:
Principios y Metodología de Evaluación.**

Concepción (CHILE) , septiembre de 2000





Informe Técnico 152

**Detección Automática de Defectos en Madera Aserrada:
Principios y Metodología de Evaluación**

**Cristian Fernández G.
Carlos Mancinelli Z.**

Concepción (CHILE), septiembre de 2000



Registro de propiedad intelectual N° : 116.335
I.S.B.N. : 956-7727-49-X

PROLOGO

El presente documento forma parte de los resultados obtenidos por el proyecto FDI/CORFO – INFOR: “Automatización y optimización del proceso de trozado y clasificado de piezas de madera para remanufacturas destinadas a exportación”.

El proceso de trozado dentro de las empresas orientadas a la producción de madera clear constituye una etapa crítica en la obtención de mejoras en el aprovechamiento de la materia prima. Si se estima por ejemplo, una pérdida de 25,4 cm por falta de precisión por cada corte durante el trozado y una producción anual de 20.000 m³/año, la pérdida económica puede alcanzar a 3.840.000 US\$ FOB/año.

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto fue la transferencia de las tecnologías analizadas, lo que se concretó en el taller denominado “Principios y aplicaciones de escáner para la detección de defectos en madera aserrada”, realizado los días 29 y 30 de Septiembre de 1998, en la sala de conferencias del Parque Jorge Alessandri en Coronel. El expositor principal fue el Sr. Magnus Peterson, Gerente de Desarrollo de la empresa Sueca Innovativ Vision AB y Master of Science de la University of Linköping. En este taller, se transfirieron los conocimientos básicos del procesamiento de imágenes, sistemas de sensores y la metodología de evaluación elaborada por el INFOR, con la colaboración del Trätekt de Suecia.

La metodología de evaluación de sistemas de escáner para detectar defectos en madera aserrada desarrollada por INFOR, fue aplicada y validada en las demostraciones realizadas en las instalaciones de Aserraderos Andinos S.A. en la comuna de Cabrero VIII región, en el mes de febrero de 1999, donde se evaluó un equipo escáner facilitado por la empresa Sueca Innovativ Vision AB (modelo Woodeye 2000). Esta metodología demostró ser muy efectiva en la determinación de las capacidades para la detección de los defectos, para la clasificación de los productos y como un sistema de control periódico en este tipo de tecnología.

Este proyecto logró dar a conocer los fundamentos básicos, aplicación y beneficios de la automatización del proceso de trozado, entregando una metodología de evaluación y definiendo parámetros para su aplicación, aumentando el Know how en esta tecnología, representando sin duda un importante potencial de desarrollo futuro en la industria secundaria de la madera del país.

El equipo de trabajo que ejecutó el proyecto en estrecha relación con las empresas asociadas fue el siguiente:

Carlos Mancinelli Z., Director del proyecto, INFOR.

Cristian Fernández G., Investigador Principal, INFOR.

Alonso Quezada F., Subgerente de Tecnología e Industrias de la Madera, INFOR.

Ricardo Oyarzún O., Asistente Técnico, INFOR.

Raúl Campos P., Técnico Laboratorista, INFOR.

Hans Dutina, Asesor Internacional, Trätek – Suecia.

Anders Lycken, Asesor Internacional, Trätek – Suecia.

Paul Duijdamn, Asesor Nacional.

Además, se contó con la valiosa colaboración del Sr. Mario Ramos M., docente de la Universidad del Bío-Bío.

CONTENIDO

1	Introducción	1
2	Sistemas de escáner para la detección de defectos superficiales	2
2.1	Antecedentes generales	2
2.2	Aplicación de la inspección automática de madera	4
2.3	Representación digital de imágenes	11
2.4	Fuentes de iluminación	16
2.5	Sensores	17
2.6	Segmentación y clasificación de defectos	22
2.7	Descripción de defectos	25
3	Metodología de evaluación de sistemas de escáner para la detección de defectos superficiales	34
4	Comentarios finales	43
	Bibliografía	46
	Anexo 1: Empresas proveedoras de estas tecnologías	47

Cuadros

Cuadro 1: Pérdida económica por falta de precisión en los cortes durante el proceso de trozado	10
Cuadro 2: Resumen de los sensores utilizados para la detección de defectos	22
Cuadro 3: Resultados de las cinco repeticiones en la detección del tipo de defecto	42

Figuras

Figura 1: Sistema típico de escáner para la detección de defectos en madera aserrada	2
Figura 2: Clasificación manual en un aserradero	5
Figura 3: Proceso de canteado dentro del proceso de aserrío	6
Figura 4: Trozado Manual	8
Figura 5: Trozado semiautomático	8
Figura 6: Pérdida económica por falta de precisión en los cortes durante el proceso de trozado	10
Figura 7: Marcación con crayones fosforescentes en sistemas de trozado semiautomático	11
Figura 8: Productos calidad rerip o reproceso.	11

Figura 9: Acercamiento a una imagen digitalizada, en la cual se muestra los pixel que la

componen	12
Figura 10: Esquemmatización de una cámara de matriz	12
Figura 11: Esquemmatización de una cámara en línea	13
Figura 12: Efecto del ancho de la pieza en la capacidad de detección	14
Figura 13: Efecto de la velocidad de alimentación en la capacidad de detección	14
Figura 14: Resolución típica	15
Figura 15: Esquemmatización de una cámara en blanco y negro en línea	18
Figura 16: Esquemmatización de la triangulación láser	19
Figura 17: Triangulación láser aplicada en una pieza de madera	19
Figura 18: Esquemmatización del efecto traqueida	20
Figura 19: Cámara MAPP 2000	21
Figura 20: Imagen de un nudo con diferentes rangos de umbrales	23
Figura 21: Espacio de los objetos predefinidos para dos parámetros	24
Figura 22: Ejemplo de nudos vivos	26
Figura 23: Ejemplo de nudos muertos	26
Figura 24: Grietas	27
Figura 25: Bolsa de resina	28
Figura 26: Médula	29
Figura 27: Bolsa de corteza	29
Figura 28: Canto muerto	31
Figura 29: Tipo de falla dimensional	32
Figura 30: Esquemmatización de la metodología propuesta	35
Figura 31: Esquemmatización de las fórmulas de exactitud e inexactitud	36
Figura 32: Ejemplo de evaluación de la capacidad para medir defectos	37
Figura 33: Esquemmatización de las repeticiones	41
Figura 32: Ejemplo de la evaluación de la repetibilidad	42

1. INTRODUCCIÓN

El aumento del costo de la materia prima y la alta competitividad de los mercados del sector industrial maderero, han producido el desarrollo de tecnologías que buscan la automatización y optimización de los procesos, mejorando el aprovechamiento de la materia prima y aumentando la productividad de los procesos de conversión mecánica de la madera.

En varias etapas del proceso de conversión mecánica de la madera en la industria primaria y secundaria, es necesario inspeccionar visualmente la madera, tanto para realizar una clasificación por calidades o para realizar algún proceso posterior como por ejemplo: el dimensionado, despuntado, partido o trozado de la madera aserrada. Con la incorporación de sistemas de escáner que permiten detectar defectos en la superficie de la madera aserrada, se logra automatizar este proceso disminuyendo en forma considerable los requerimientos de mano de obra.

Los sistemas de escáner para detectar defectos, no sólo reemplazan la inspección visual realizada actualmente, sino también entregan valiosa información en cuanto al tipo, tamaño y posición de los defectos. Por medio de software que procesan toda esta información en función de las reglas de calidad y necesidades de producción, se logra optimizar la materia prima y aumentar la productividad, logrando además una mayor flexibilidad de los procesos y un mayor control de la producción.

En este documento, se entregan los fundamentos básicos del procesamiento de imágenes y los sensores para la detección de defectos en madera aserrada; centrados principalmente en su aplicación en el proceso de trozado de madera aserrada en plantas de remanufacturas destinadas a exportación. Sin embargo, lo que se expone a continuación es aplicable a todos aquellos procesos donde se necesite realizar alguna inspección visual en la superficie de la madera.

2. SISTEMAS DE ESCÁNER PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS SUPERFICIALES EN MADERA ASERRADA.

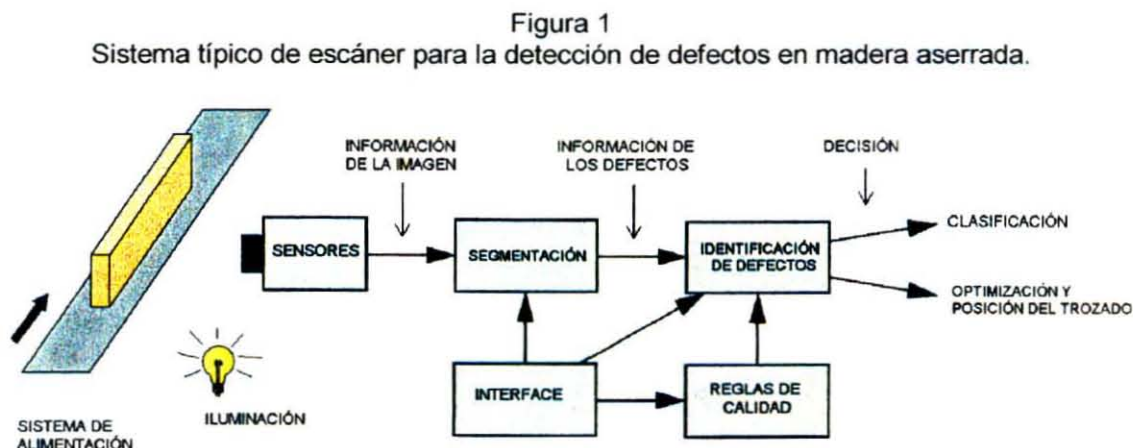
2.1 Antecedentes generales.

Los sistemas de escáner para la detección de defectos superficiales en madera aserrada, han experimentado en el último tiempo un desarrollo muy importante, gracias a los avances en el procesamiento de imágenes y en el área computacional. En la actualidad, esta tecnología se ha adecuado para su empleo en diferentes aplicaciones dentro del proceso de conversión mecánica de la madera.

Paulatinamente las capacidades de detección de defectos en forma automática han aumentado hacia la meta de alcanzar un 100% de clasificación correcta automáticamente. Sin embargo, la madera es un material que presenta grandes variaciones tanto de color como de estructura, por lo que encontrar métodos confiables para la detección y clasificación de defectos de la madera es una tarea muy desafiante para los equipos de investigación y compañías fabricantes de este tipo de tecnologías.

La incorporación de esta tecnología puede reemplazar las tareas de inspección visual existentes y realizar este proceso en forma automática, incorporando reglas de clasificación más completas y flexibles a las necesidades de producción. Los sistemas automáticos pueden aumentar la eficiencia de la producción, entregando una clasificación más consistente, que no dependerá de factores tales como, el grado de capacitación, cansancio y estado de ánimo y subjetividad de los operadores, como sucede en la inspección visual de la madera.

La Figura 1, la estructura básica con que se componen estos sistemas de escáner para detectar defectos superficiales en madera aserrada.



La madera es alimentada en una correa transportadora que desplaza las piezas de madera en sentido longitudinal, respecto a los sensores. En el sistema de visión para la detección de defectos en madera aserrada podemos identificar los siguientes bloques desde la entrada a la salida de información:

- Los sensores: Puede ser cualquier elemento para capturar imágenes, desde una simple cámara blanco y negro hasta avanzados sensores múltiples.
- Iluminación: Lámparas directas o difusas para la iluminación de las piezas de madera; proyectores láser de línea para los sensores especiales como de mediciones de triangulación láser.
- Detección de defectos: Algoritmos que son capaces de identificar posibles zonas de interés o de posible presencia de defectos, reduciendo la cantidad de datos a analizar. Los defectos corresponden a toda característica de la madera que sea usada en las reglas de calidad o clasificación para rechazar una pieza de madera aserrada.
- Clasificación de defectos: Algoritmos que para cada zona de interés, son capaces de establecer si es o no un defecto, determinando su tipo, posición y tamaño.
- Clasificación y optimización: Implementación de las reglas de clasificación que establecen los grados de calidad de acuerdo a la presencia, frecuencia, tamaño y posición de los defectos. En el caso del proceso de trozado esta información está vinculada con un software que permite optimizar el aprovechamiento de la materia prima, de acuerdo a las necesidades de producción.

2.2. Aplicación de la inspección automática de madera.

La demanda por productos de madera está siendo cada vez más exigente y con reglas de clasificación más definidas, surgiendo la necesidad de mejorar la efectividad de la inspección de la madera, a través de la incorporación de sistemas de inspección automática.

La inspección manual de la madera presenta muchas desventajas respecto a la inspección automática, como las que se mencionan a continuación:

- Alto costo: La inspección visual es intensiva en mano de obra, lo cual se traduce en un alto costo de operación.
- Trabajo tedioso: Es necesario contar con personal con gran habilidad y conocimiento de las reglas de calidad. Sin embargo, se trata de un trabajo muy tedioso y cansador, por lo tanto, a lo largo del turno de trabajo la efectividad de los operadores disminuye.
- Productividad: En gran parte de las empresas del sector industrial maderero, la inspección manual de la madera representa un cuello de botella en la línea de producción, además de ocupar un importante espacio dentro de la planta.
- Baja precisión: La clasificación manual es dependiente de los criterios de los operadores, por lo cual es subjetiva, además se pierde precisión durante el transcurso del turno y con el cambio o rotación de personal.
- Baja flexibilidad: La incorporación de cambios o nuevas reglas de calidad en la inspección visual, toma un necesario tiempo de asimilación por parte de los operadores. En la inspección automática, sólo basta efectuar los cambios en el programa de producción y éstos serán aplicados en forma instantánea.
- Bajo nivel de complejidad de las reglas de calidad: En la clasificación manual se debe tener en cuenta la baja capacidad de procesamiento de información que pueden manejar los operadores, por lo cual, las reglas de calidad no pueden ser muy complejas. La inspección automática permite implementar reglas de clasificación más complejas, que incluyan parámetros tales como: tipo de defecto, posición, tamaño y frecuencia, con lo cual se puede lograr una mejor optimización de la producción.
- Control de la producción: En la inspección manual, no es posible obtener información sobre la producción en forma instantánea, siendo necesario un tiempo importante para su evaluación y el empleo de mano de obra para realizar esta tarea. La incorporación de la inspección automática trae consigo el manejo de una estadística instantánea de la producción, pudiéndose acceder en cualquier momento a esta información.

Entre las aplicaciones de esta tecnología se pueden mencionar:

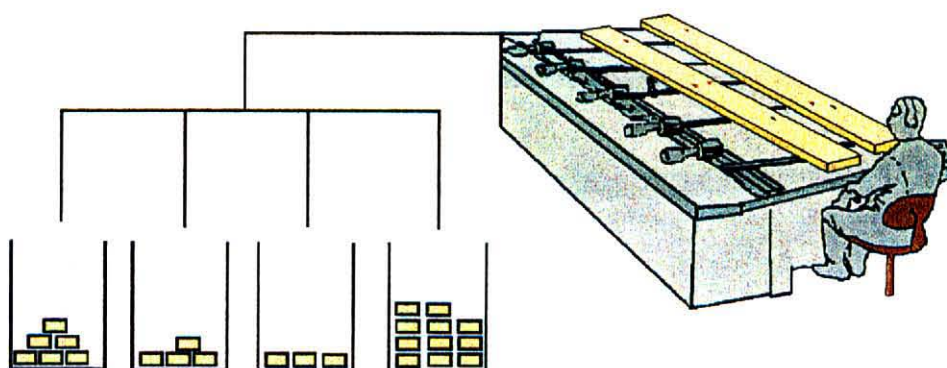
a) Industria de Conversión Primaria.

Esta tecnología es empleada en la industria de conversión primaria para la clasificación de las piezas de madera en diferentes grados de calidad, los cuales son definidos por sus dimensiones (espesor, ancho y largo) y por la presencia, tamaño, posición y frecuencia de los defectos, de acuerdo a las reglas de calidad de cada empresa.

En el caso de la clasificación manual, ésta se realiza durante el transporte de las piezas de madera en sentido longitudinal, en el cual de acuerdo a su calidad es sacada de la línea de transporte por los operadores a través de un mecanismo neumático o en forma manual, como se muestra en la Figura 2.

La velocidad de alimentación en la clasificación manual puede alcanzar a 30 piezas por minuto, con piezas de hasta 5 m de largo. En estas condiciones, es obvio que el clasificador no puede tomar decisiones basándose en el tamaño y posición exactos de todos los defectos, por lo cual esta inspección se reduce sólo a una toma de decisiones, basada en la apariencia general de las piezas de madera.

Figura 2
Clasificación manual en un aserradero.



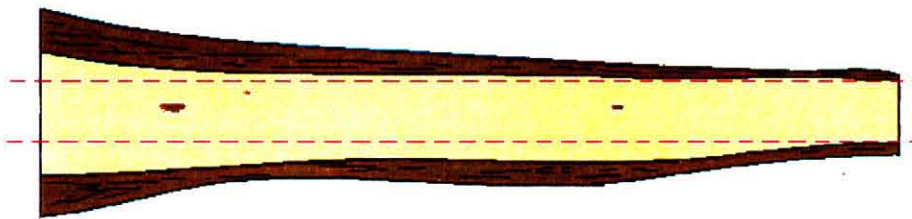
En la clasificación manual realizada durante la salida de las piezas de madera del aserradero, el operador también posee la opción de despuntar o cortar algún extremo de la pieza de madera, logrando obtener una pieza de menor largo pero de un grado de calidad superior y de mayor precio. Con la incorporación de sistemas automáticos se puede aumentar la productividad y mejorar el aprovechamiento de la materia prima a través de la incorporación software de optimización que procesan la información obtenida por los sistemas de detección de defectos.

Los sistemas de inspección automática poseen menor precisión en la inspección de madera sin cepillar y con alto contenido de humedad. Si bien la clasificación en un aserradero se realiza en estado verde y con madera en bruto, las exigencias de precisión normalmente son menores que en la industria secundaria.

En algunos aserraderos se utiliza la inspección automática al final del proceso, con el objetivo de seleccionar las calidades de mayor valor, con el propósito de aplicar a estas maderas programa de secado menos severo, que implican temperaturas más bajas y mayor tiempo de duración, disminuyendo la presencia de defectos por secado, tales como, grietas, rajaduras, alabeos, mancha café, etc.

Otra importante aplicación para la detección automática de defectos en un aserradero es durante el proceso de canteado. Durante esta etapa se debe optimizar los anchos finales de las piezas de madera, como se muestra en la Figura 3. Tradicionalmente, el canteado se realiza considerando sólo la geometría de la pieza de madera, empleándose para facilitar esta labor, guías láser para fijar los cortes. Con la inspección automática se puede optimizar la operación, según el valor posible de cada pieza a obtener, ajustándose la línea de canteado de acuerdo a la presencia, frecuencia, posición y tamaño de los defectos.

Figura 3
Proceso de canteado



b) Industria Secundaria de la Madera.

En la industria secundaria, esta tecnología puede ser empleada para clasificar la materia prima o para proporcionar información para la optimización de procesos de corte, tales como: trozado o partido de las piezas de madera.

La inspección visual de la madera es aplicada en la industria de conversión secundaria, en las etapas iniciales del proceso para clasificar la materia prima, donde se define su destino en la línea de elaboración, de acuerdo a sus características y las necesidades de producción. Por ejemplo, en muchas plantas de remanufactura, el proceso se inicia con el cepillado de la madera denominada Shop¹ sin clasificar, donde luego del cepillado se realiza su clasificación de acuerdo a la presencia de defectos, definiendo su calidad y destino dentro del proceso. Actualmente esta operación la realiza el operador en forma manual, el cual toma la decisión basado en la apariencia general de las piezas de madera. Con la incorporación de sistemas de escáner para detectar defectos en madera aserrada, se aumenta la calidad de esta clasificación y se mejora el aprovechamiento de la materia prima.

La aplicación más importante de esta tecnología, es sin duda en los procesos de cortes en la industria de conversión secundaria de la madera. Existen variados procesos, tales como: la producción de parquet, muebles, piezas de puertas y ventanas, paneles, molduras, vigas laminadas y otros elementos encolados, en los que se requiere dimensionar y seleccionar la materia prima, optimizando su aprovechamiento según las características de los productos y las necesidades de producción. Por ejemplo, en el proceso de trozado de una planta de remanufactura se necesita optimizar la materia prima dimensionando la longitud de los trozos de madera, de acuerdo a los mercados de destino y a las necesidades de los procesos posteriores. Esta actividad actualmente se realiza de dos formas:

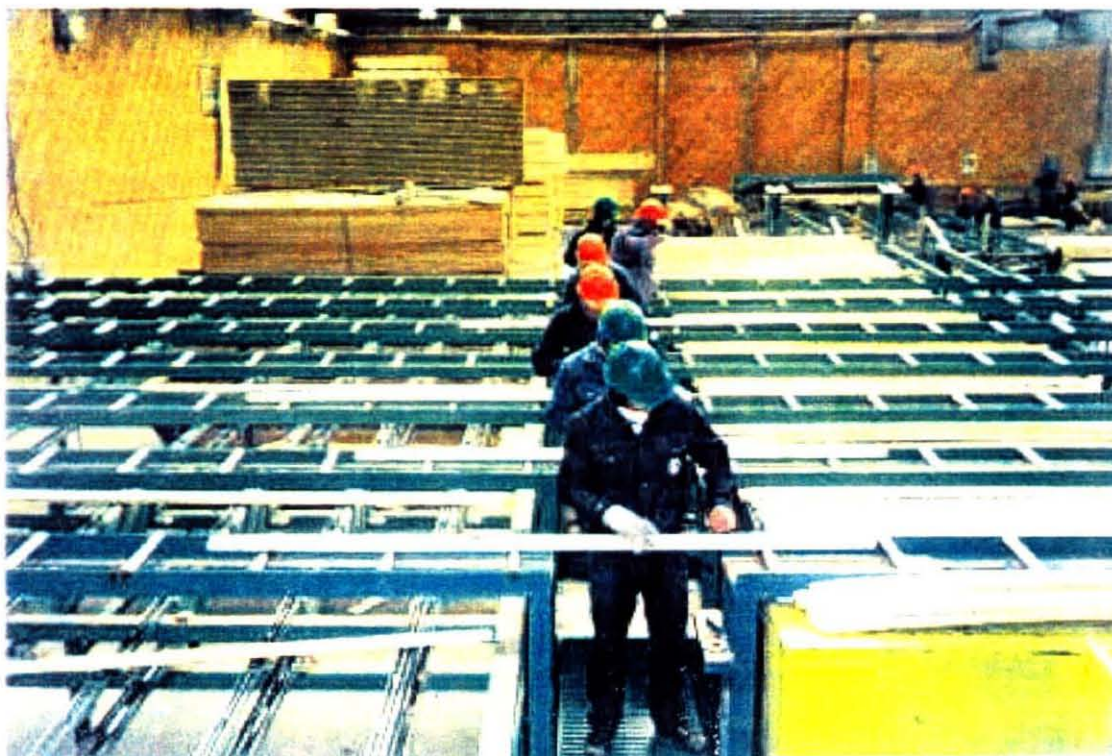
- (1) Trozado manual, en que el operador acciona una sierra circular, a través de un pedal en forma neumática, como se muestra en la figura 4.
- (2) Trozado semiautomático, el operador marca las áreas con defectos con lápices fluorescentes, estas marcas son detectadas por sensores especiales que entregan la información al software de optimización para la generación de los patrones de corte (figura 5).

¹ Shop: Madera aserrada de espesor fijo y ancho variable mayor a 6 pulgadas.

Figura 4
Trozado manual



Figura 5
Trozado semiautomático



Con la incorporación de los sistemas de escáner para detectar defectos en madera aserrada, se puede automatizar este proceso aumentando su productividad y aprovechamiento de la materia prima. Estos sistemas proporcionan una mayor información al software de optimización, entregando tanto el tipo, tamaño, posición y frecuencia de los defectos, para una mejor toma de decisión en la optimización económica de las piezas de madera. Además, con el trozado automático se puede aumentar el aprovechamiento de la materia prima, debido a las menores pérdidas registradas, debido a la alta precisión en la posición de los cortes que pueden alcanzar estos equipos, esto debido a que se cuenta con la posición exacta de los defectos en el ancho y largo de la pieza. La importancia económica que puede alcanzar la disminución de esta pérdida queda demostrada en el siguiente ejemplo:

Supuestos:

Escuadría:

Espesor (e) 22 mm, Ancho (a) 150 mm y largo (L) 4.000 mm

Aprovechamiento (Ap): 75%

Promedio de cortes (NC): 12 cortes/pieza

Pérdida por corte (PC): ½", 1, 1 ½" y 2" (se evaluara para estos cuatro casos)

Precio del block clear: 300 US\$/m³

$$P.P = \frac{VPO - VPR}{VPM} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

Donde:

VPM = Volumen de pieza de madera (m³)

VPR = Volumen de productos real (m³)

VPO = Volumen de productos óptimos (m³)

$$VPR = \frac{VPM \times Ap}{100}$$

$$VPO = VPR + (e \times a \times (NC \times PC))$$

$$P.E = (N.P \times P.P) \times P$$

Donde:

P.E = Pérdida económica.

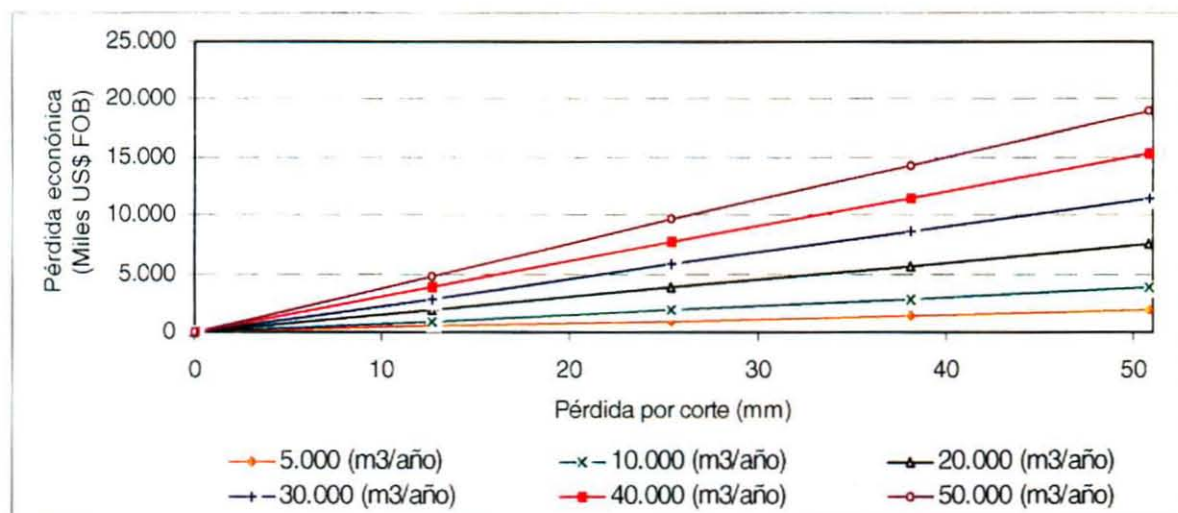
P = Precio de los productos

Utilizando las fórmulas indicadas anteriormente, se calculó la pérdida económica producida por falta de precisión en los cortes durante el proceso de trozado, para cuatro diferentes grados de pérdidas por corte, en distintos niveles de producción.

Cuadro 1
Pérdida económica por falta de precisión en los cortes durante el proceso de trozado.

Pérdida mm/corte	Pérdida por nivel de producción (miles de US\$ FOB/año)					
	Nivel de producción (m ³ /año)					
	5.000	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000
12,7	480	960	1.920	2.880	3.840	4.800
25,4	960	1.920	3.840	5.760	7.680	9.600
38,1	1.425	2.850	5.700	8.550	11.400	14.250
50,8	1.905	3.810	7.620	11.430	15.240	19.050

Figura 6
Pérdida económica por falta de precisión en los cortes en el proceso de trozado por nivel de producción

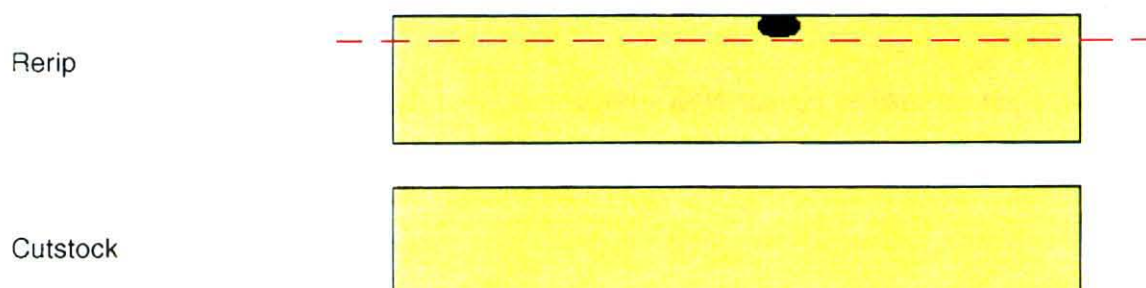


En los sistemas de trozado semiautomático, en los cuales el operador marca con crayones fosforescentes los defectos, sólo se proporciona al programa de optimización información sobre la posición de los defectos en el largo de la pieza de madera (ver figura 7). En los sistemas automáticos el programa de optimización posee la información de la posición de los defectos en el ancho y largo de la pieza, con lo cual se puede aumentar el valor económico de los productos obtenidos. Esto permite aumentar la producción de productos denominados Rerip o reproceso, que son piezas de madera que de acuerdo a la posición de los defectos que presentan, es más rentable volver a partir, obteniendo un producto de menor ancho pero de mayor valor económico (ver figura 8)

Figura 7
Marcación con crayones fosforescentes en sistemas de trozado semiautomático



Figura 8
Producto calidad rerip o reproceso



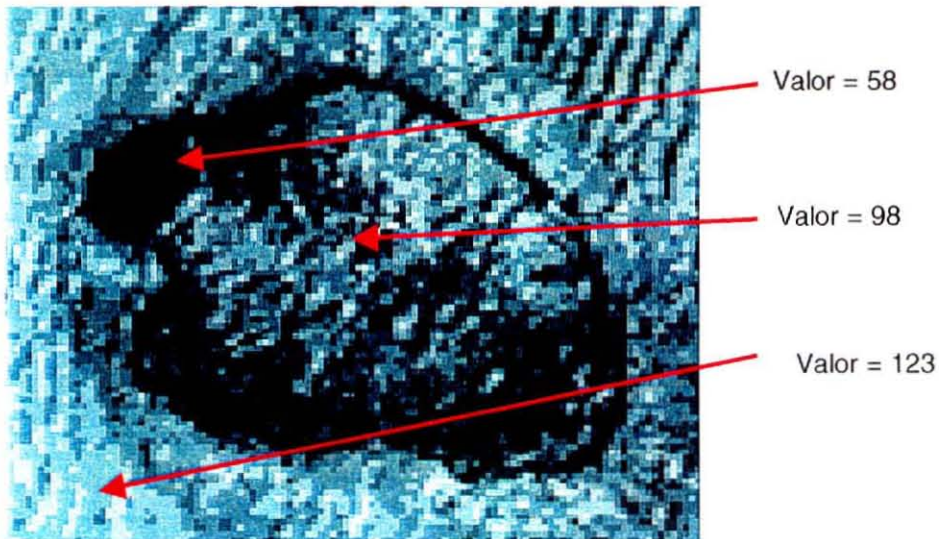
2.3 Representación digital de imágenes.

El elemento básico en la representación digital de imágenes es el *pixel*, el cual es un cuadro dentro de la imagen que está representado por el valor de la intensidad de la luz en una escala de grises. Esta escala va desde el "0" que representa al negro y un valor superior que representa al blanco, este último valor dependerá de la resolución de los sensores, siendo 255 el valor superior más utilizado, lo cual implica que hay una escala de grises de 256 niveles.

En la siguiente figura se muestra un acercamiento a una imagen digitalizada de un nudo, en la que se pueden identificar los *pixel* y sus escalas de grises que componen la imagen completa del defecto.

Figura 9

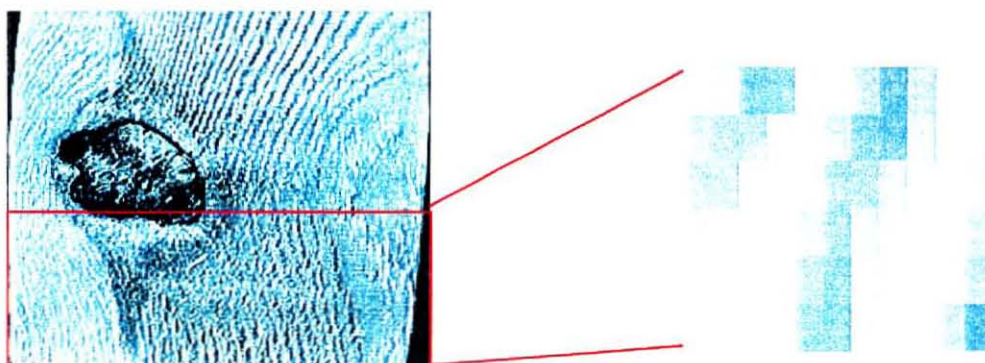
Acercamiento a una imagen digitalizada, en la cual se muestran los *pixel* que la componen.



El sensor básico para realizar la digitalización de imágenes es la cámara en blanco y negro, la cual puede ser de matriz o en línea. La cámara de matriz o de área está constituido por una matriz de fotodetectores², esta cámara toma una especie de fotografía formada por una matriz de *pixeles*, como se muestra en la figura 10. En el caso de la inspección transversal de una pieza de madera, este tipo de cámara toma varias fotografías digitales a la pieza de madera a medida que ésta avanza, uniendo estos cuadros para completar la información de la pieza

Figura 10.

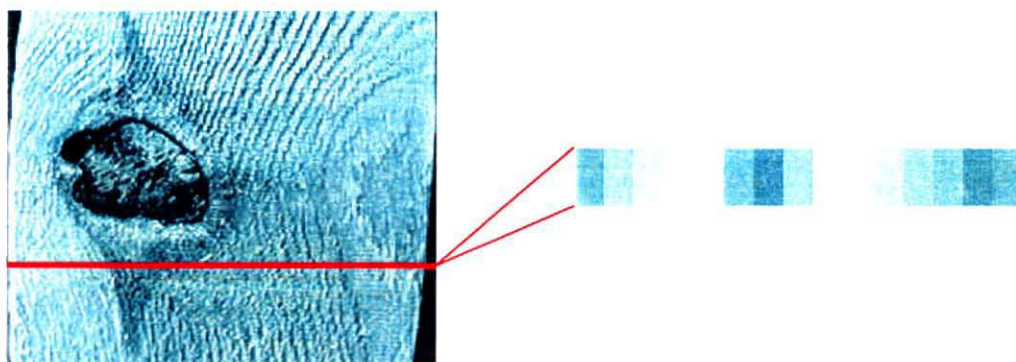
Esquematización de una cámara de matriz.



² Los fotodetectores también se denominan píxeles, sin embargo, en este documento pixel es el elemento básico de una imagen digitalizada.

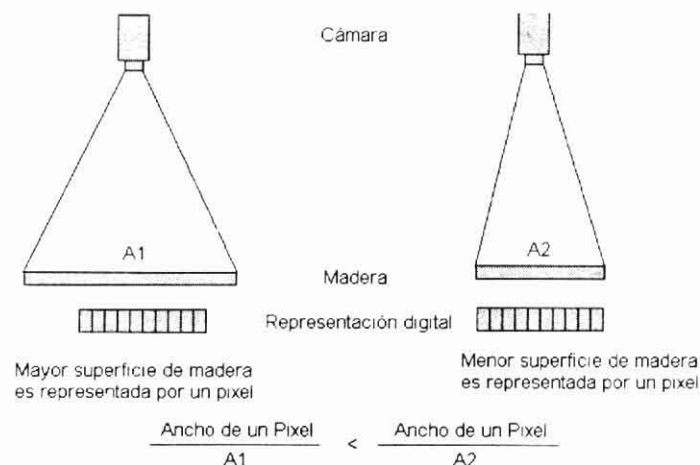
La cámara en línea está constituida por una fila de fotodetectores y produce una imagen bidimensional por el movimiento relativo entre la madera y el detector (González, 1992). Es decir, captura las imágenes por medio de la digitalización de una línea de *pixel*, la que a través del movimiento de la pieza en el sistema de transporte y a la velocidad de avance forman la línea de escaneado (ver figura 11). A medida que la pieza avanza la cámara en línea va registrando estas líneas de *pixel*, uniendo cada una de ellas para completar la información de la pieza.

Figura 11
Esquematzación de una cámara en línea



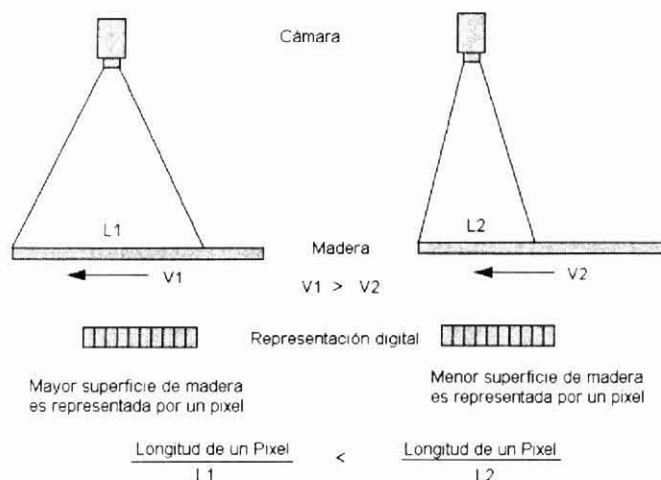
Las cámaras en línea son las más empleadas, éstas se fijan en la línea de producción y las piezas de madera son transportadas delante de esta cámara en la dirección longitudinal. Una cámara en línea permite variar en forma fácil la resolución a lo largo de ambos ejes longitudinales, esto es muy importante porque de las dimensiones reales que son representadas por un pixel, dependen las dimensiones mínimas de los defectos que se pueden llegar a detectar. Si se inspecciona madera de mayor ancho, la capacidad de detección de pequeños defectos disminuye porque la superficie de madera que es representada por cada pixel aumenta. Si se inspecciona madera de menor ancho se produce el efecto inverso, ya que se aumenta la capacidad de detección de defectos, porque la superficie de madera que es representada por cada pixel disminuye. En la figura 12, se muestra la inspección de una pieza de madera de un ancho A1 y una pieza de madera con un ancho menor denominado A2, en ambos casos, el número de pixeles y su tamaño no cambia, pero en la pieza de madera de menor ancho la superficie de madera que es representada por cada pixel disminuye, siendo posible detectar defectos más pequeños aumentando la capacidad de detección.

Figura 12
Efecto del ancho de la pieza en la capacidad de detección.



Este efecto también se produce con la velocidad de alimentación; si se aumenta la velocidad de alimentación la capacidad de detección de defectos pequeños disminuye porque la superficie de madera que es representada por cada pixel aumenta. Si se disminuye la velocidad de alimentación se tiene el efecto inverso, ya que se aumenta la capacidad de detección de defectos, porque la superficie de madera que es representada por cada pixel disminuye. En la figura 13 se muestra la inspección de una pieza de madera en dos velocidades de alimentación $V1$ y $V2$ ($V1 > V2$), en ambos casos, la velocidad de captura de la cámara, el número de pixel y su tamaño no cambia, pero con la velocidad de alimentación menor ($V2$), en un mismo lapso de tiempo pasa menor superficie de madera bajo la cámara, con lo cual, es menor la superficie de madera que será representada por un pixel, haciendo posible detectar defectos más pequeños aumentando la capacidad de detección.

Figura 13
Efecto de la velocidad de alimentación en la capacidad de detección



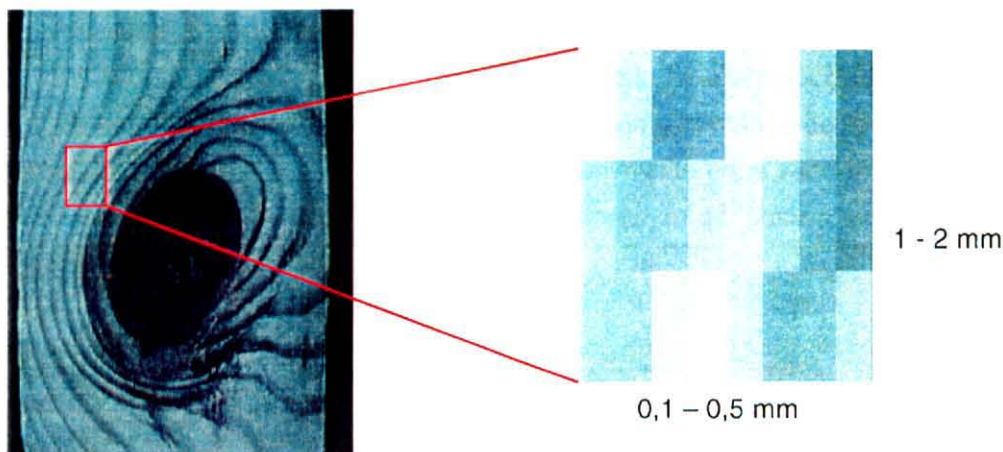
Al aumentar la velocidad de alimentación también puede disminuir la capacidad de detección al perderse información.

La resolución dependerá del tamaño de los defectos que nos interesa detectar, por ejemplo:

- Medición de la posición 1 – 5 mm.
- Detección de nudos 1 – 2 mm.
- Mediciones de ancho 0,1 – 1 mm.
- Detecciones de grietas 0,1 – 0,5 mm.

La resolución típica es de aproximadamente 1- 2 mm de largo de los pixel y de 0,1 – 0,5 mm en el ancho de los pixel, como se muestra en la figura 14.

Figura 14
Resolución típica.



Para poder evaluar la cantidad de información generada en la inspección automática de una pieza de madera, se presenta en la siguiente fórmula:

$$C.P = \frac{A_S \times V_A}{A_P \times L} \quad (5)$$

Donde:

- C.P = Capacidad de procesamiento (*pixel/s*)
- A_S = Área a escanear (mm^2/pieza)
- V_A = Velocidad de alimentación (mm/s)
- A_P = Área de un *pixel* (mm^2)
- L = Largo de la pieza de madera (mm/pieza)

Ejemplo:

Datos:

Area de un *pixel* ($0,4 \text{ mm}^2$):

Ancho de los *pixel* $0,2 \text{ mm}$

Largo de los *pixel* 2 mm

Area a escanear ($1.000.000 \text{ mm}^2/\text{pieza}$):

Ancho de la pieza de madera 200 mm

Largo de la pieza de madera 5.000 mm

Velocidad de alimentación:

$90 \text{ m/min. (1.500 mm/s)}$

$$\text{C.P} = \frac{1.000.000 \times 1.500}{0,4 \times 5.000} = 750.000 \text{ (Pixel/s)}$$

Si la inspección se realiza sólo en las caras, el sistema debe ser capaz de procesar $1.500.000 \text{ (Pixel/s)}$, por lo cual se necesitaría una computadora con una alta velocidad de análisis de datos. Por esto, el primer paso que se realiza en la inspección automática de la madera es aplicar la técnica denominada de *Umbrales*, explicada con detenimiento en la sección 2.6, con esta técnica se filtran los datos identificando las zonas de interés o de posible presencia de defectos disminuyendo la cantidad de datos a analizar.

2.4 Fuente de iluminación.

Una parte importante de un sistema de visión para detectar defectos en madera aserrada es la iluminación. Una superficie de madera puede verse muy diferente dependiendo de la dirección y ángulo de la iluminación.

Las fuentes de iluminación pueden ser:

- Tubos fluorescentes
- Lámparas dirigidas
- Fibra óptica
- Láser

Entre las características de la fuente de iluminación se encuentran, por ejemplo:

- Color (Alto o bajo espectro)
- Intensidad
- Dirigida o difusa

La fuente de iluminación debe ser blanca, por lo tanto poseer un bajo espectro de color. Normalmente, es preferible una luz de origen difuso, pero una luz directa dará un ángulo que puede mejorar la detección de algunos defectos. La fuente de iluminación más utilizada en los sistemas de detección de defectos son los tubos fluorescentes.

Sin embargo, a menudo es muy difícil alcanzar una distribución uniforme de la luz, por lo cual se requiere del uso de algún sistema de corrector de matices. Controlando el fondo de la iluminación se puede contribuir en la detección de los cantos y agujeros en una pieza de madera. Si se inspeccionan piezas de madera con perfiles no rectangulares como, por ejemplo las molduras, los problemas de iluminación requieren siempre de una mayor atención, debido a las sombras que pueden ocasionar los perfiles de la madera producto de una incorrecta dirección de la fuente de iluminación, lo cual puede ocasionar que el sistema interprete estas sombras como defectos.

2.5 Sensores.

Sin lugar a dudas, el resultado de cualquier procesamiento de imágenes dependerá de la calidad de la imagen recibida desde los sensores. El término sensor generalmente se asocia a una cámara, sin embargo, puede referirse a cualquier otro tipo de elemento que permita la captura de información desde el objeto inspeccionado. En un sistema de inspección automática de la madera se incluyen distintos tipos de sensores, con la finalidad de detectar o capturar los diferentes defectos presentes en la madera.

- **Cámara en blanco y negro**

Se debe recordar que el elemento básico en la representación digital de imágenes es el *pixel*, el cual es un cuadro dentro de la imagen que está representado por el valor de la intensidad de la luz en una escala de grises, que va desde el "0" que representa al negro y un valor superior que representa al blanco.

Muchos defectos de la madera son más oscuros que la madera que los rodea, por lo tanto, pueden ser detectados simplemente a través de una escala de grises, por medio de las imágenes capturadas a través de una cámara en blanco y negro. Esta cámara también permite realizar una medición precisa del ancho de las piezas de madera.

Este tipo de cámaras utiliza la técnica denominada de *Umbrales*, que corresponde a establecer los límites en los cuales todo lo que se encuentre bajo este límite será considerado como madera con defectos y lo que está sobre este límite madera clara o libre de defectos. En la figura 15, se esquematiza el escaneo con una cámara en blanco y negro en línea. A continuación se muestra un

gráfico de la intensidad de la luz de cada *pixel* a través del ancho de la pieza de madera, en el cual se puede establecer los límites de intensidad de los *pixel* para que una zona sea definida como: con presencias de defectos o libre de defectos.

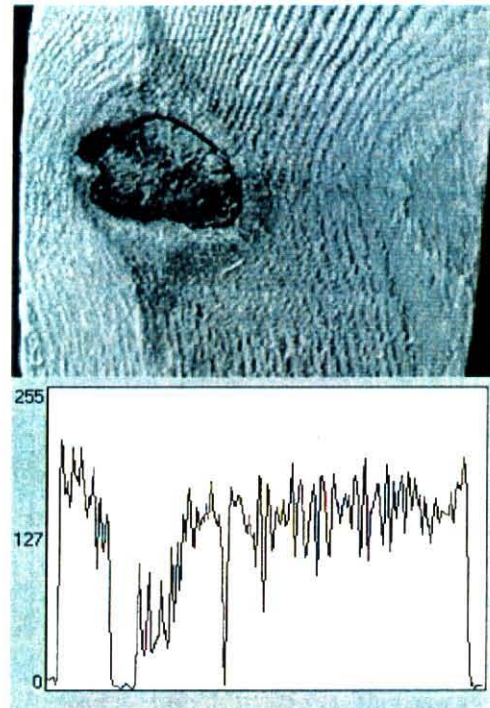
Figura 15

Esquematzación de una cámara en blanco y negro en línea, y su operación en umbrales

Línea de escaneo

Gráfico de intensidad de la luz en una escala de grises, a lo largo de la línea de escaneo.

Las zonas libres de defectos se encuentran sobre los 127 y bajo este límite se encuentra la madera con defectos, ya que estas zonas son más oscuras.



- **Cámara a color**

Estas cámaras son usadas para encontrar los defectos que no presentan ninguna forma típica o ningún contraste en la escala de grises, necesitando para su detección información del color, como por ejemplo la detección de la mancha azul, producida por el hongo cromógeno *Ceratocystis pilifera*, la mancha café producida durante el secado de la madera, y para medir el color de cualquier otro defecto que pueda usarse como parámetro en un proceso de clasificación. Esta información se puede obtener utilizando cámaras estándar RGB, filtros ópticos especiales o espectrometría completa.

- **Triangulación láser**

Una parte importante dentro de la inspección de la madera, es verificar que las dimensiones de las piezas de madera se encuentren dentro de ciertos rangos de tolerancia. Esta evaluación puede realizarse por medio de un contraste de escala de grises cuando la pieza de madera no presenta perfiles en sus caras ni canto muerto, que puedan inducir a errores al sistema de inspección automática.

El método más utilizado para capturar la información de la geometría de una pieza de madera es la triangulación láser, que consiste como se esquematiza en la figura 16, en un proyector de línea láser y una cámara de alta resolución que captura el movimiento del láser sobre la superficie de la madera. Por medio del desplazamiento de la pieza de madera en sentido longitudinal y de la aplicación de este sistema en sus cuatro caras se puede obtener la geometría completa de la pieza de madera inspeccionada. Este sistema permite detectar dimensiones, pequeños agujeros, canto muerto, fibra desgarrada, rugosidad superficial, arista faltante y partiduras.

Figura 16
Esquematación de la triangulación láser.

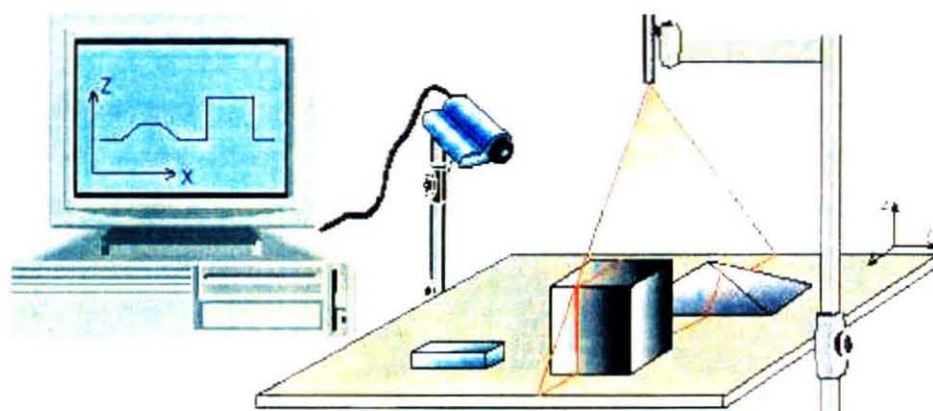


Figura 17
Triangulación láser aplicado en una pieza de madera.



- **Efecto Traqueida**

Al aplicar un láser sobre la superficie de madera éste será transmitido dentro de ella dependiendo de la densidad de la madera y siguiendo la dirección de las fibras. Este fenómeno denominado *efecto traqueida*, permite detectar defectos como nudos blancos y brillantes o cualquier otro defecto que visualmente no presente ningún contraste significativo con la madera libre de defectos o clear.

Por medio de este fenómeno es posible detectar la dirección de las fibras en la madera, lo cual permite al sistema descartar la suciedad, manchas de aceite, marcas de rodillos u otros defectos fantasmas similares a los nudos como un defecto, ya que no existirá movimiento de fibras alrededor de ellos, como si ocurre en la cercanía de los nudos.

En la figura 18, se muestra el efecto *traqueida* en forma esquematizada. Al aplicar una línea láser en una pieza de madera en las zonas sin defectos, ésta se transmite abarcando un mayor ancho debido a que la madera libre de defectos presenta menor densidad y las fibras se encuentran en sentido longitudinal, transmitiéndose el láser en la dirección de las fibras. En cambio en las zonas con nudos, el láser se transmite en menor porcentaje debido a que los nudos presentan mayor densidad y las fibras se encuentran hacia el interior de la pieza de madera.

Figura 18
Esquematización del efecto traqueida.

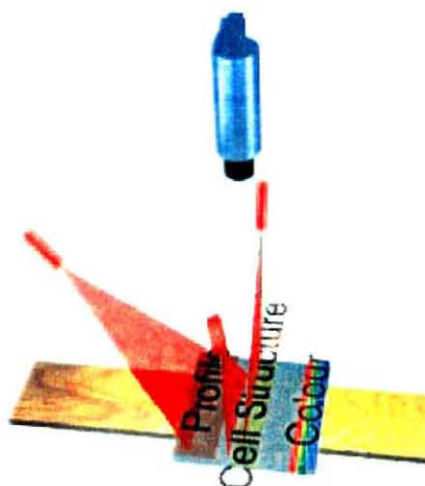


- **Multisensores**

Se denominan también cámaras inteligentes y consisten en sensores que llevan integrados en una sola unidad, diferentes tipos de sensores como por ejemplo, una combinación muy efectiva se presenta en algunos sensores múltiples que poseen la capacidad de medir el perfil con triangulación láser, el color con filtros ópticos y la estructura de las fibras con arreglos especiales de láser, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 19

Cámara MAPP 2000 calcula los perfiles en 3D, la estructura de la fibra y el color simultáneamente.



En el cuadro 2, se presenta un resumen con los sensores más utilizados en la detección de defectos superficiales en madera aserrada y los tipos de defectos que son capaces de detectar.

Cuadro 2

Resumen de sensores utilizados para la detección de defectos superficiales en madera aserrada.

Defectos		Sensores			
		Cámara Blanco/Negro	Cámara Color	Fibra (Efecto traqueida)	Triangulación Láser
Nudo vivo	Sound knots	D		S	
Nudo Muerto	Black knots	D		S	
Nudo Blanco	White knots			D	
Grietas	Cracks	D			
Médula	Pith	D			
Bolsillo de corteza	Bark pocket	D			
Bolsillo de resina	Resin pocket	D		S	
Canto muerto	Wane				D
Agujeros	Holes	D			D
Mancha Azul	Blue stain		D,S	D,S	
Pecas	Freckles	D			
Pudrición	Rot		D		
Mancha Café	Brown stain		D		
Dimensiones	Dimension	D			D
Arista faltante	Broken edge	D			D
Fibra desgarrada	Fibre tear up	D			D
Suciedad	Dirt	D		S	

Nota:

D= Sensor utilizado para detectar el defecto.

S= Sensor utilizado como apoyo en la detección del defecto.

2.6 Segmentación y clasificación de defectos.

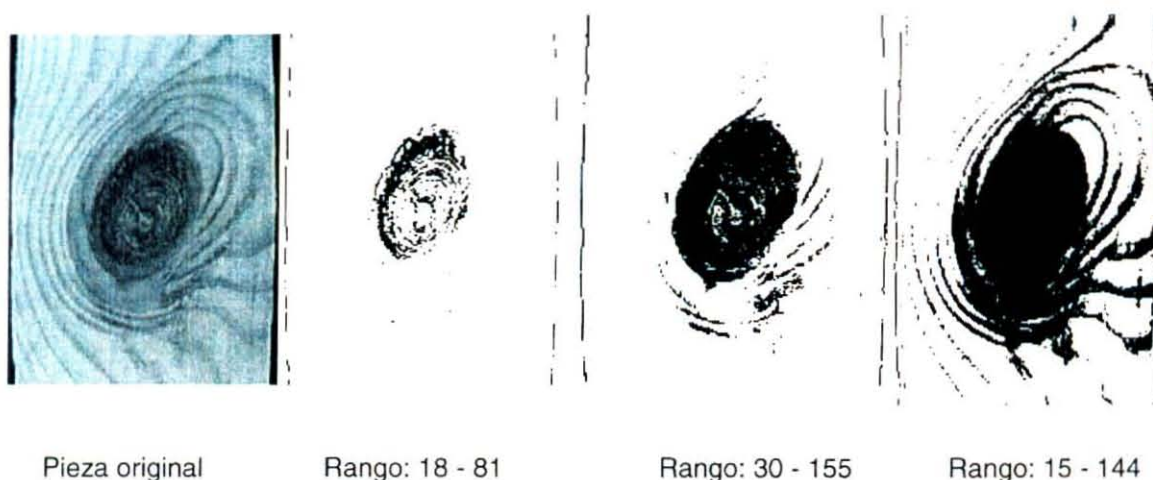
La generación de datos entregados por el trabajo conjunto de los sensores, origina una gran cantidad de información que debe ser procesada para detectar y medir los defectos presentes en la superficie de la madera aserrada. Una alternativa es reducir esta información tanto como sea posible directamente en los sensores.

El primer paso para el procesamiento de la información obtenida desde los sensores, es la aplicación de la técnica denominada de *segmentación*, esto consiste en identificar por medio de algoritmos especiales zonas u objetos de interés, donde es posible la existencia de algún tipo de defectos en la madera, con esta operación se logra reducir significativamente los datos a procesar y las velocidades necesarias para llevar a cabo esta actividad.



Para poder reconocer algunas zonas de interés, se tiene que hacer contraste en la escala de grises, estableciéndose qué será considerado como un objeto de interés y qué será madera sin defectos. Durante la operación de segmentación se realizan contrastes por *umbrales* y *filtrado*, los cuales son una manera matemática de manipular las imágenes. Estos cálculos matemáticos consideran los valores de los pixel de interés, y también toman en cuenta los pixel alrededor de estos objetos de interés. Para los umbrales se establece un rango de intensidad en el cual todos los *pixel* dentro del rango aparecen y los pixel fuera del rango no aparecen (ver figura 20).

Figura 20
Imagen de un nudo con diferentes rangos de umbrales



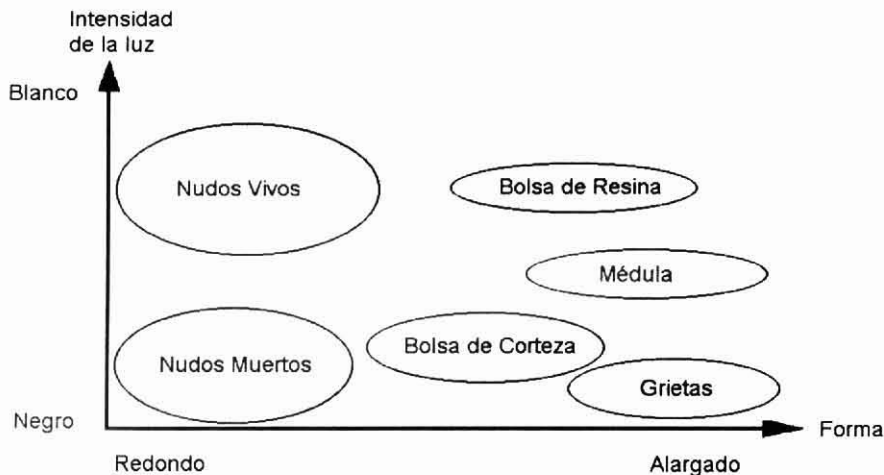
Cuando la operación de umbrales es efectuada y los pixel interesantes son agrupados, se realiza al mismo tiempo la clasificación de los defectos. Un determinado número de parámetros de cada objeto de interés es analizado y a la vez comparado dentro de los patrones predefinidos. Los parámetros para la identificación de los defectos pueden ser:

- Tamaño (desde pequeño a grande)
- Forma (desde redondo a rectangular)
- Intensidad de la luz (desde negro a blanco)
- Posición en la pieza de madera
- Gradiente de intensidad
- Relación entre pixel oscuros y claros
- Color
- Dirección de las fibras

- Geometría del defecto

Los parámetros predefinidos se encuentran establecidos en lo que se denomina el *espacio de objetos*, el cual consiste en un espacio multidimensional, en que cada parámetro predefinido posee una dimensión. Los *objetos de interés* que se encuentren dentro de algún *espacio* serán clasificados como defectos y los *objetos* fuera de estos espacios serán descartados como defectos (ver figura 21).

Figura 21
Espacio de los objetos predefinidos para dos parámetros.



2.7 Descripción de defectos.

En esta sección se analizan los principales defectos que es necesario identificar en la madera aserrada. Como se señaló anteriormente, el término defecto corresponde a toda característica de la madera, que sea utilizada en las reglas de calidad o clasificación para establecer diferentes grados de calidad de una pieza de madera. En la mayoría de los casos, se considera que la madera clear es la de mejor calidad; por lo tanto, los defectos son desviaciones a partir de la madera clear.

Hasta el momento, no se ha mencionado nada sobre las diferentes especies de madera; por ejemplo, la madera de color oscuro, como la encina, presenta un contraste mucho menor que el pino radiata y puede ser más difícil de manejar la detección de defectos. Sin embargo, debido a que el pino radiata está dominando totalmente la industria nacional, este capítulo se concentra en esta especie. No obstante, la mayoría de los razonamientos también son válidos para otras especies.

A continuación los defectos serán descritos en términos de su apariencia visual, en especial la apariencia dada por la imagen en escala de grises o por la captura en una cámara a color.

a) Nudos

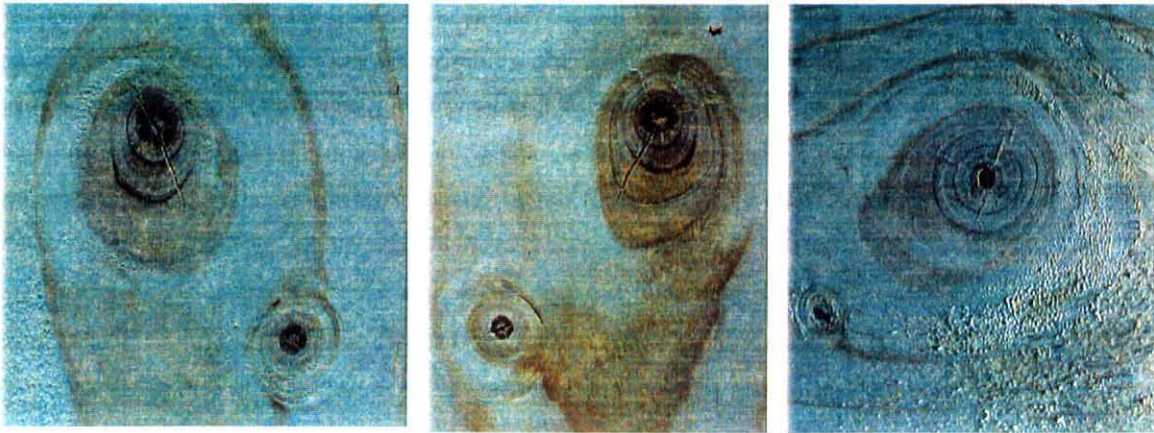
El defecto más común en casi todos los tipos de madera es el nudo. Existen diferentes clases, que depende de la etapa en que se encuentran las ramas al momento de la cosecha del árbol. Un nudo vivo (figura 22) contiene madera joven de crecimiento. Este nudo es, por lo general, más oscuro que la madera circundante y puede ser detectado por una simple operación de *umbral*. Sin embargo, en algunos casos el nudo no es del todo oscuro, comparado con la madera alrededor de él y la única señal de que existe es la estructura diferente en la dirección de la fibra, por lo cual la aplicación del *efecto traqueida* sirve como apoyo para su correcta detección. El nudo también puede ser sólo parcialmente oscuro, en cuyo caso, puede ser detectado usando la técnica de *umbral*, aún cuando el tamaño no se puede medir con precisión.

La posición y orientación del nudo con relación a la superficie de la madera, también son importantes. Si el nudo es cortado perpendicular a su dirección de crecimiento, se tiene un nudo redondo. Si termina cerca del borde de la pieza de madera, se verá como en la figura 22. Dependiendo del ángulo entre el nudo y el plano de corte, el nudo también puede ser más o menos ovalado. Estos nudos también deben ser clasificados como tales, aún cuando su apariencia visual sea completamente distinta a la de un nudo normal.

El nudo muerto consiste en madera muerta, la cual por lo general es oscura y, por lo tanto, fácil de detectar usando simples técnicas de *umbral* (figura 23). Las diferentes orientaciones del nudo, descritas anteriormente para un nudo vivo, son aplicables para uno muerto.

Un caso especial de nudo se presenta cuando el nudo en sí es reciente, pero rodeado de corteza. Este nudo es llamado nudo con corteza (figura 23).

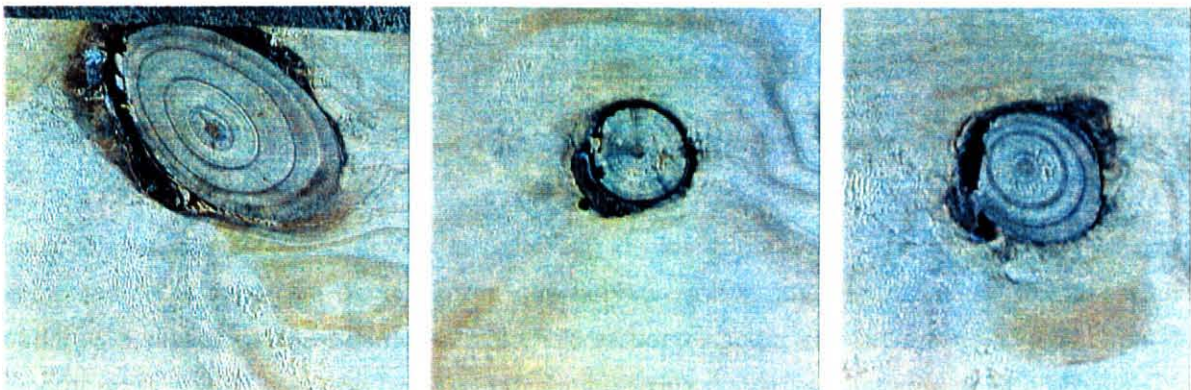
Figura 22
Ejemplos de nudos vivos



El nudo con pudrición es un nudo muerto que ha empezado a degradarse. Un nudo vivo con una grieta es un nudo considerado frecuentemente como un defecto grave. Tales nudos pueden ser muy difíciles de detectar, especialmente si se utilizan *pixel* rectangulares con baja resolución en dirección longitudinal. La razón para usar estos *pixel* es facilitar la detección de pequeñas grietas que casi siempre se ubican en la dirección longitudinal de la madera. Sin embargo, en el caso de grietas ubicada dentro de un nudo, ésta puede ir en cualquier dirección.

Un último tipo de “nudo” es el nudo hueco, donde el nudo se ha caído. Éste puede ser difícil de distinguir de un nudo negro en una imagen, a menos que se use reproducción de imágenes de rango o iluminación desde la parte de atrás de la pieza. Otra forma de detectarlos es por medio de ciertas aplicaciones de triangulación láser.

Figura 23
Ejemplos de nudos muertos.



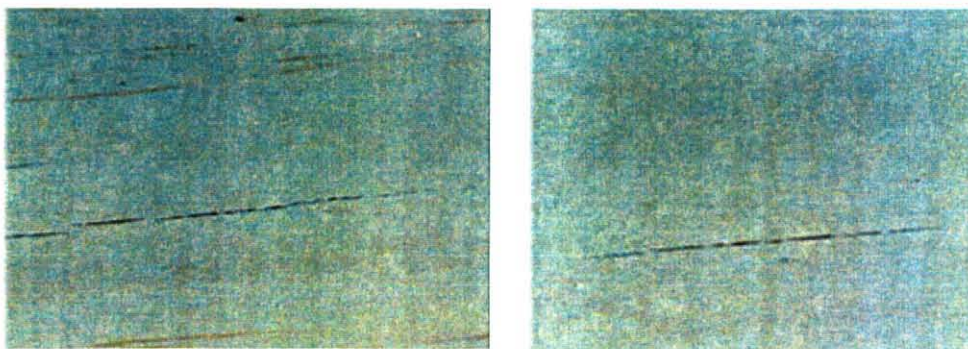
b) Grietas

Existen diferentes tipos de grietas dependiendo del origen físico de ellas. Las más comunes son las grietas longitudinales, que se originan por liberación de tensiones de la madera durante el proceso de secado. Sin embargo, desde el punto de vista de la detección del defecto, se pueden manejar todas las grietas como un único tipo de defecto. El ancho de la grieta puede ir desde 0,1 milímetro hasta varios centímetros, siendo las grietas delgadas las más difíciles de detectar.

Normalmente, la grieta es más oscura que la madera circundante y puede, por lo tanto, ser detectada mediante la técnica de *umbral*, siendo además su forma típica larga y estrecha (figura 24). Un hecho que puede causar problemas, es cuando una grieta más larga está formada por una serie de grietas pequeñas, y debido a que las reglas de calidad a veces están expresadas en términos de longitud de la grieta, debemos ser capaces de unir las pequeñas grietas en un solo defecto.

El contraste de la grieta también se ve muy afectado por la iluminación. Si usamos la luz directa de una serie de lámparas y si el ángulo de una de ellas coincide con el ángulo de la grieta, entonces el contraste puede ser muy bajo. Generalmente, los arreglos con iluminación difusa funcionan mejor en este caso.

Figura 24
Grietas



Un problema que se presenta con la detección de las grietas, es el hecho que existen otros elementos en la superficie de la madera que también son largos y oscuros. Si se inspecciona madera sin cepillar, la rugosidad de la superficie en combinación con la iluminación directa puede generar una serie de pequeñas y delgadas sombras que pueden ser interpretadas erróneamente como grietas.

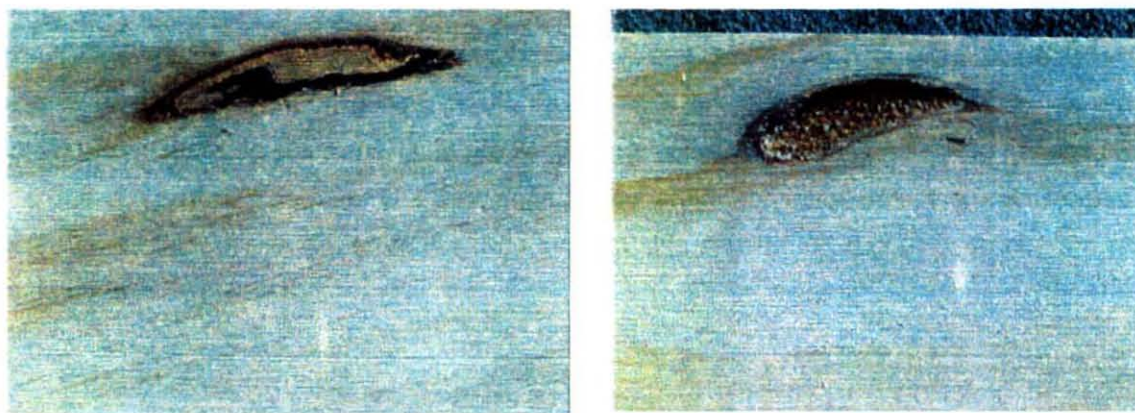
Un problema para detectar las grietas puede presentarse cuando se inspecciona madera en bruto, ya que existen por naturaleza astillas a lo largo del canto, que pueden inducir al sistema a detectar falsas grietas en estas zonas. Debido a que las grietas son defectos bastante graves, una incorrecta detección negativa, es decir, cuando algo es clasificado erróneamente como grieta, puede tener importantes consecuencias económicas.

Un aspecto importante a considerar en la detección de las grietas es la definición de la resolución necesaria para lograr detectar este defecto, esto principalmente en la determinación del ancho mínimo de los pixel, lo cual depende del tamaño de las grietas que deseamos detectar (normalmente el ancho de los pixel 0,1 – 0,5 mm).

c) Bolsas de Resina

Las bolsas de resina (figura 25) son largas cavidades llenas de resina. Normalmente, no son tan oscuras como las grietas y son más anchas. Tienen por lo general como forma típica, un lado recto y el otro levemente curvo, que es más o menos acentuado dependiendo del ángulo entre la superficie de la pieza de madera y la dirección del anillo de crecimiento. Si la superficie es perpendicular a la bolsa de resina, aparecerá más estrecha y probablemente más profunda, lo que la hará verse más oscura en la imagen. En este caso, será difícil diferenciarla de una grieta.

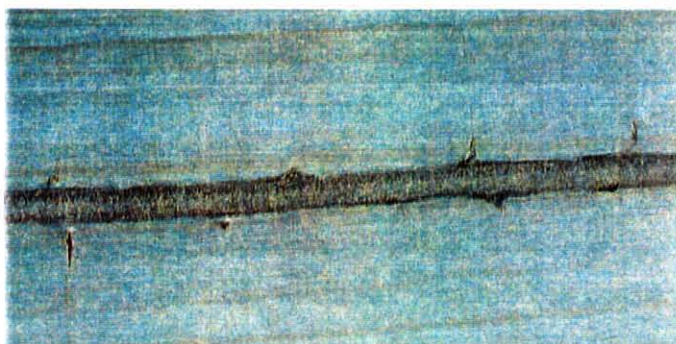
Figura 25
Bolsas de Resina



d) *Médula*

La médula aparece en largas franjas, como se observa en la figura 26. La longitud relativa de las franjas de médula es importante, como también el que sea más anchas y menos oscuras que las grietas, y más largas que las bolsas de resina. Sin embargo, debido a que las bolsas de resina y la médula pueden tener muy diferentes tamaños, por lo general es imposible distinguirlas basándose sólo en su forma y oscuridad.

Figura 26
Médula



e) *Bolsas de Corteza*

Las bolsas de corteza o corteza interna, que se observan en la figura 27, son normalmente de color negro y, en general, no hay problemas para detectar que existe algún defecto. El problema es que la forma y la estructura de una bolsa de corteza es impredecible y, por lo tanto, puede ser fácilmente mal interpretada como otro defecto, en especial cuando es pequeña. Las bolsas de corteza de mayor tamaño son generalmente mucho más grandes que la mayoría de los otros defectos. Una manera de solucionar este problema sería utilizar una clase de defecto general para todo lo que sea oscuro y grande. Las secciones de la madera con estos defectos probablemente deberían eliminarse, por lo que en realidad no importa si la causa fue un gran nudo negro o una bolsa de corteza.

Figura 27
Bolsa de corteza



f) Mancha azul y otros defectos de color

La mancha azul, consiste en una coloración azul de la madera, causada por un hongo cromógeno denominado *Ceratocytis pilifera* y aparece principalmente en el pino radiata. Es prácticamente imposible detectar este defecto en una imagen de escala de grises, ya que otras partes de la madera clear también pueden presentar un color oscuro; además, la mancha azul no presenta ninguna forma o estructura típica. Por otra parte, si se da la información de color correcta, es posible, por lo general, detectar el defecto.

Otros defectos de color incluyen la decoloración química causada por diversas exposiciones al medio ambiente durante el secado y almacenamiento de la madera; por ejemplo, la mancha café (figura 28). En estos casos es importante determinar qué tan profunda está afectada la superficie de la madera. Si las piezas deben ser cepilladas después de la inspección, la decoloración puede ser aceptable. Sin embargo, este defecto es un problema, ya que puede hacer más difícil la detección de otros defectos en las áreas afectadas y en muchas ocasiones dependiendo de la forma que presenten estas manchas café, pueden ser confundidas por un nudo, lo cual ocasiona importantes pérdidas económicas al eliminar madera clear.

g) Pudrición

La pudrición puede aparecer en diferentes formas y es, por lo tanto, difícil de detectar, incluso para un clasificador humano. Probablemente, se debe usar algún tipo de propiedad relacionada con la textura o el color, ya que ni la forma ni el contraste son característicos.

h) Madera de Compresión

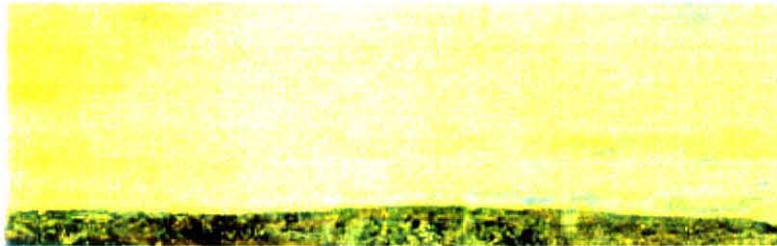
La madera de compresión consiste en irregularidades en el anillo de crecimiento, producido por el esfuerzo mecánico del árbol al crecer, por ejemplo, debido a los fuertes vientos. La madera de compresión, a menudo, se caracteriza por presentar granos más grandes y gruesos. Infortunadamente, el grano también puede ser igual en otros casos. Estudios realizados muestran que la madera de compresión tiene algunas importantes propiedades espectrales. Utilizando información de color, podría ser posible resolver el problema.

i) Fallas Dimensionales

Una de las tareas básicas para un aparato de inspección automática es verificar que el material cumpla con las dimensiones mínimas y máximas estipuladas. En este caso, se tiene una importante ventaja comparado con un clasificador manual, que a menudo está limitado a realizar

pruebas al azar con un instrumento de medición. La falla dimensional más común es el canto muerto, como se muestra en la Figura 28.

Figura 28
Canto muerto.

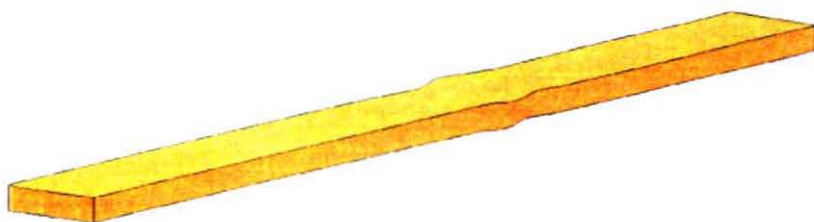


Si el canto muerto está cubierto con corteza, es decir, cuando es oscuro, normalmente no es problema detectarlo en la imagen, ya que siempre está ubicado adyacente a un borde o canto y, por lo general, es más largo que otros defectos. Si estamos inspeccionando las cuatro caras de la pieza de madera, también podemos correlacionar la imagen de 2 cámaras y así medir el tamaño del canto muerto, asumiendo que es convexo. Sin embargo, si el canto muerto es de color claro, se necesitan otros métodos. Generalmente, para solucionar este problema se utilizan varias aplicaciones con láser.

Si se dispone de una cámara de rango de alta resolución, se podrían detectar una serie de otros tipos de defectos que involucren dimensiones. Algunos ejemplos podrían ser las grietas y los agujeros, que se podrían detectar con mayor exactitud que con las imágenes comunes de la escala de grises.

Otra falla dimensional que requiere de una resolución mucho mayor para ser detectada, se muestra en la Figura 29. En este caso, la pieza de madera fue movida al pasar por la cepilladora y el resultado es un pequeño defecto con la forma de una onda que puede ser casi invisible al ojo humano, pero que trae problemas si la pieza de madera formará parte de un elemento encolado en las caras.

Figura 29
Un tipo de falla dimensional



j) Rugosidad

Cuando se pegan las superficies, es muy importante que éstas estén bien cepilladas, lo que significa que el sistema debe ser capaz de detectar la rugosidad como un defecto. La rugosidad es fácil de distinguir en forma manual, pero difícil de hacerlo en una imagen. Usualmente, la rugosidad es causada por una baja dimensión y, por lo tanto, se podría detectar midiendo las dimensiones; sin embargo, podrían existir también otras razones, tales como herramientas mal ajustadas o gastadas.

k) Arqueadura y torcedura

Las fallas en las dimensiones analizadas hasta ahora son todas de naturaleza más localizada, es decir, se podría usar información de cámaras en línea. Fallas geométricas atribuibles a toda la pieza como la arqueadura y torcedura, no se pueden medir de esta manera. Además, si se utiliza un transporte longitudinal, probablemente se tendrá algunas ruedas a presión que sujeten la pieza de madera durante la inspección, lo que ocultará este tipo de defecto. El resultado puede ser una imagen absolutamente recta aún cuando la pieza este arqueada. Ésta es una propiedad fácilmente detectada manualmente cuando la pieza es vista a distancia.

l) Defectos Falsos

Comparado con un inspector humano, la inspección automática es muy fácil que tienda a entregar una serie de defectos falsos. La suciedad, aceite, huellas de pies, marcas de los rodillos de transporte, marcas de los elementos de corte, quemaduras, etc., pueden ser interpretados como defectos graves. Normalmente, estos tipos de defectos sólo afectan la superficie de la madera y probablemente serán eliminados en una etapa posterior de la producción, a través del cepillado y lijado de las piezas de madera. Los defectos falsos no constituyen problema para un inspector manual, pero la forma impredecible y oscuridad de estas áreas hacen que sea difícil para un sistema de inspección automático pasarlos por alto y no considerarlos como defectos.

La detección de estos defectos falsos es una de las principales razones de por qué la inspección de la madera sin cepillar es mucho más difícil que la madera cepillada. Si la madera es aserrada dentro de la misma planta y se controla el manejo de las piezas desde el área de aserrado a la estación de inspección, se puede tener seguridad que los defectos falsos no estarán incorporados a la madera en el área de aserrado. Es fundamental que los trabajadores comprendan la importancia de mantener la madera limpia.

En resumen se puede mencionar que existen distintos tipos de defectos que se deben detectar, existiendo también grandes variaciones en la apariencia de cada uno de ellos. Siempre se encontrarán casos especiales en los defectos, los que por una u otra razón toman otro aspecto. El propósito, por supuesto, es encontrar métodos para detectar la mayor cantidad de defectos; pero el costo de un método para detectar un determinado defecto debe ser analizado de acuerdo a la frecuencia con que este defecto ocurra en la materia prima y al costo del daño si este defecto se deja de detectar. Nunca se logrará un sistema con un 100% de exactitud.

Algunos de los defectos pueden ser bastante fáciles de detectar, pero difíciles de distinguir entre sí, por ejemplo, las bolsas de resina y médula o diferentes tipos de nudos. En algunos casos distinguirlos no importa, pero en otros, puede existir una diferencia significativa.

La frecuencia relativa de los distintos defectos en las diferentes especies también es de gran importancia, tanto al diseñar los procedimientos de clasificación, como al evaluar el rendimiento de un sistema.

3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ESCÁNER PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS SUPERFICIALES EN MADERA ASERRADA.

La metodología desarrollada, se basa en la comparación entre los resultados que se obtienen del procesamiento de un lote de piezas de madera en el sistema de escáner de detección de defectos superficiales en madera aserrada y una posterior inspección visual. En primer lugar se realiza la inspección automática y posteriormente la inspección manual, con el fin de evitar que las piezas de madera se dañen o ensucien, provocando lecturas erróneas del sistema.

Antes de pasar las piezas seleccionadas por el sistema, éstas deben ser identificadas de acuerdo a su posición de ingreso. Luego pasadas por el sistema de escáner, registrando para cada pieza la información en cuanto al tipo, posición y tamaño de los defectos detectados, además de los resultados de la optimización de los productos en relación a las dimensiones y valor económico de las soluciones entregadas por el sistema.

En la inspección visual se registran los defectos en tipo, posición y tamaño, realizando además una optimización teórica de la pieza. Los resultados de la inspección visual son comparados con los registros entregados por el sistema de escáner, a través de los siguientes parámetros (Figura 30):

a) Capacidad para detectar defectos.

- Detectar defectos y tipos.
- Medir el tamaño de los defectos.

b) Rendimiento de la clasificación.

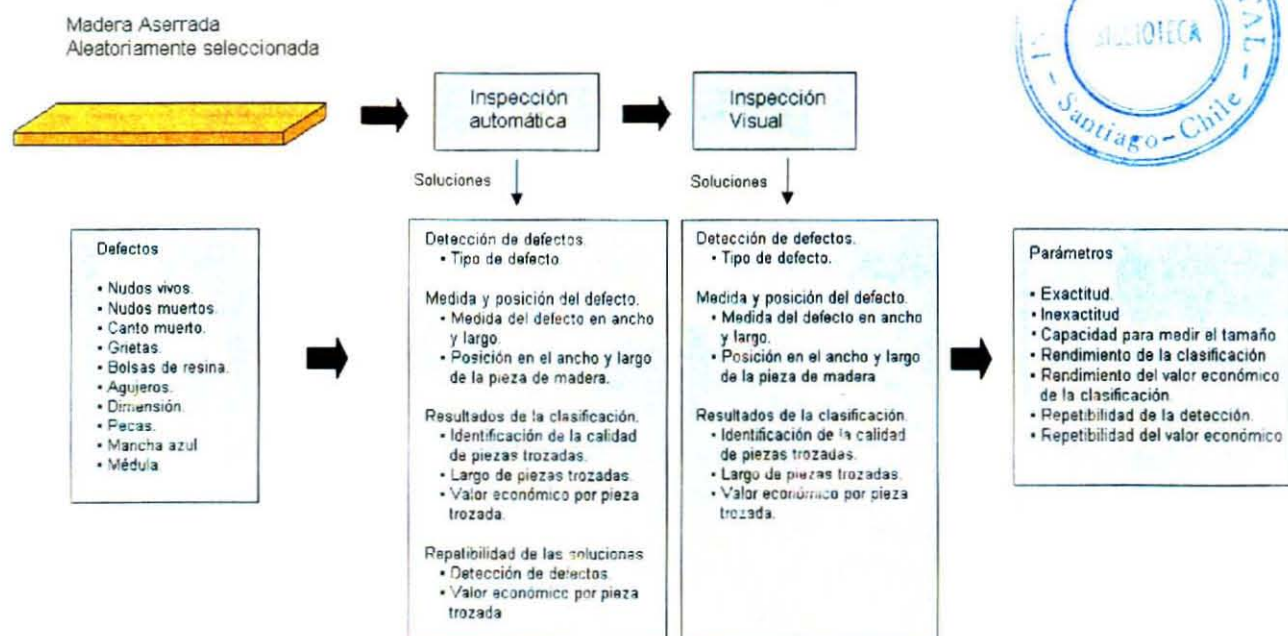
- Calidad de la clasificación.
- Valor económico.

c) Repetibilidad

- Detección de los defectos
- Valor económico de la optimización.



Figura 30
Esquematzación de la metodología propuesta



a) Capacidad para detectar defectos

Capacidad para detectar y establecer el tipo de defectos.

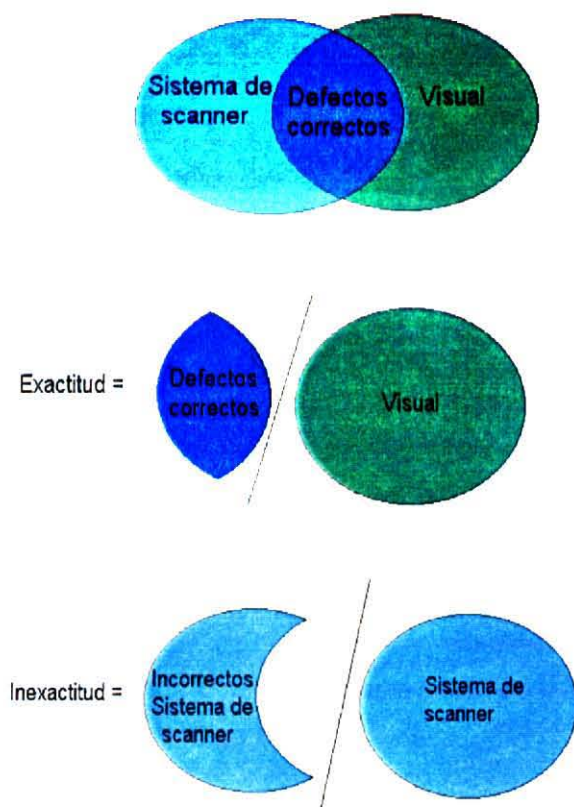
Muestra la capacidad del sistema automatizado para detectar y establecer el tipo, tamaño y posición de los defectos en una pieza de madera. Se determina a través de los parámetros de la exactitud e inexactitud para detectar defectos a gran escala y en una escala más detallada. La detección a gran escala corresponde a la capacidad de encontrar algún defecto en la posición correcta, sin establecer el tipo de defecto y en una escala más detallada es el tipo de defecto que se investiga, de tal forma de determinar si el sistema presenta mayores o menores capacidades para detectar ciertos defectos.

$$\text{Exactitud} = \frac{\sum \text{Defectos correctos detectados por sistema}}{\sum \text{Total de defectos en forma visual}} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$\text{Inexactitud} = \frac{\sum \text{Defectos Incorrectos detectados por sistema}}{\sum \text{Total de defectos detectados por el sistema}} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Las fórmulas anteriores se pueden representar en forma gráfica como se muestra en la figura 31.

Figura 31
Esquematzación de las fórmulas de exactitud e inexactitud



Ejemplo:

Para calcular la capacidad de detección de nudos vivos, de acuerdo a los siguientes datos

Datos:

Nudos vivos detectados por el sistema = 823

Nudos vivos detectados en forma visual = 245

Nudos vivos detectados por el sistema correctamente = 166

Nudos vivos detectados por el sistema incorrectamente = 657

$$\text{Exactitud} = \frac{166}{245} \times 100 = 67,7\%$$

$$\text{Inexactitud} = \frac{657}{823} \times 100 = 79,8\%$$

Capacidad para medir los defectos.

Se evalúa a través del promedio de las diferencias entre las dimensiones de los defectos detectados por el sistema en forma correcta y las dimensiones de éstos en forma manual, sin considerar los defectos que no fueron detectados por el sistema de escáner.

$$C_{TD} = \frac{\sum |TDA - TDM|}{m} \quad (4)$$

Donde:

- C_{TD} = Capacidad para medir el tamaño de los defectos (mm).
- TDA = Dimensión del defecto medido por el sistema $\neq 0$ (mm).
- TDM = Dimensión del defecto medido en forma real $\neq 0$ (mm).
- m = Número de defectos donde simultáneamente TDA y TDM $\neq 0$.

Ejemplo

A continuación se muestra un esquema de la medición del tamaño de los defectos por el sistema de escáner y en la inspección visual o manual, de una pieza de madera (Figura 32).

Figura 32

Ejemplo de evaluación de la capacidad para medir defectos

Sistema de scanner

Inspección visual



Nº Defectos	Dimensiones (mm)	
	Sistema de scanner	Inspección visual
1	4	6
2	—	3
3	4	—
4	8	8
5	5	3

$$C_{TD} = \frac{|4 - 6| + |8 - 8| + |5 - 3|}{3} = 1,33 \text{ mm}$$

El resultado de los parámetros para evaluar la capacidad de detección de defectos deberá ser:

- Alta exactitud, cercano a un 100%.
- Baja inexactitud, cercana a un 0%.
- El valor de C_{TD} debe ser pequeña, cercana a 0 mm.

b) Resultado de la clasificación de piezas en el sistema para detectar defectos superficiales en madera aserrada

Esto se evalúa a través de los parámetros denominados:

- Rendimiento de calidad de la clasificación.
- Rendimiento de valor económico de la clasificación.

Rendimiento de calidad de la clasificación

El resultado de la calidad de la clasificación; se calcula como el rendimiento al considerar que las piezas son clasificadas correcta (o por lo menos permitidas) como 1 y una pieza mal clasificada o defectuosa como 0. Entonces este rendimiento se obtendrá de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento de calidad} = \frac{\sum \text{Piezas correctamente clasificadas}}{\sum \text{Total de Piezas}} \times 100 (\%) \quad (5)$$

Ejemplo:

El rendimiento de calidad de la clasificación del sistema de escáner, de acuerdo a los datos siguientes:

Datos:

Total piezas clasificadas = 382

Total de piezas clasificadas correctamente = 295

$$\text{Rendimiento de calidad} = \frac{295}{382} \times 100 = 77,2\%$$

Rendimiento de valor económico de la clasificación

El valor consiste en el precio económico de las piezas o simplemente un valor numérico que permite al sistema conocer qué piezas poseen una mayor precio, y por ende deberá poseer prioridad en la producción.

El valor clasificado automáticamente por el sistema debe ser recalculado, de acuerdo al valor real de cada pieza, con el objetivo de castigar los errores cometidos por el sistema.

$$V_{\text{RECALCULADO}} = V_{\text{REAL}} - |V_{\text{SISTEMA}} - V_{\text{REAL}}| \quad (6)$$

Donde:

$V_{\text{RECALCULADO}}$ = Valor clasificado por el sistema recalculado de una pieza.

V_{SISTEMA} = Valor clasificado automáticamente en el sistema para cada pieza.

V_{REAL} = Valor real de una pieza.

Al aplicar la formula señalada se pueden presentar dos casos:

1. Si a una pieza de madera clasificada por el sistema se le asignó un valor igual al real, el $V_{\text{RECALCULADO}}$ será igual al real.
2. Para una pieza de madera clasificada por el sistema con un valor menor o mayor al real, al aplicar la formula se obtendrá que el $V_{\text{RECALCULADO}}$, será igual al valor real menos la diferencia producida, entre el valor asignado en forma automática por el sistema y el valor real de la pieza de madera.

El rendimiento de valor se calcula dividiendo la sumatoria de los valores clasificados automáticamente recalculados y la sumatoria de los valores reales, obtenidos por medio de la inspección visual de las piezas.

$$\text{Rendimiento de valor} = \frac{\sum \text{Valor clasificado por el sistema recalculado}}{\sum \text{Valor Real}} \times 100 (\%) \quad (7)$$

Ejemplo:

El rendimiento de calidad de la clasificación del sistema de escáner, de acuerdo a los datos siguientes:

Datos:

Para un producto obtenido durante el proceso de trozado:

	Producto	Largo (mm)	Valor
Sistema Escáner	Q1	165	56
Inspección visual (Real)	RERIP	165	34

$$V_{\text{RECALCULADO}} = 34 - |56 - 34| = 12$$

El rendimiento de valor se calcula dividiendo la sumatoria de los valores clasificado automáticamente recalculados y la sumatoria de los valores reales del lote en estudio.

Datos:

Para el lote en estudio:

$$\Sigma \text{ Valor de la clasificación real} = 23.815$$

$$\Sigma \text{ Valor de la clasificación del sistema recalculado} = 18.521$$

$$\text{Rendimiento de valor} = \frac{18.521}{23.815} \times 100 = 77,8\%$$

c) Repetibilidad

La repetibilidad consiste básicamente, en someter al sistema de detección de defecto a pruebas con la finalidad de determinar la confiabilidad del sistema, a través del procesamiento de una misma pieza varias veces, verificando si toma las mismas decisiones tanto en la detección de los defectos como en las soluciones de la optimización.

Repetibilidad de los defectos

La repetibilidad de los defectos puede ser analizada en descubrir solamente un defecto o en la determinación del tipo y tamaño del defecto. El descubrir es una manera de mostrar la capacidad de detectar un defecto en alguna pieza, prescindiendo del tipo y tamaño.

$$R_{\text{DEFECTO}} = \frac{1}{n \times (n-1)} \times \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n D_{kj} \times 100 \quad (8)$$

$$R_{\text{PIEZA}} = \frac{1}{m} \times \sum R_{\text{DEFECTO}} \quad (9)$$

Donde:

R_{DEFECTO} = Repetibilidad para un defecto en una pieza.

R_{PIEZA} = Repetibilidad total de una pieza en la detección de defectos.

M = Número total de defectos.

n = Número total de repeticiones o corridas de la misma pieza en el sistema.

D_{kj} = Defecto presente en una repetición al cual se le asigna:

1 si $D_k = D_j$ con $k \neq j$

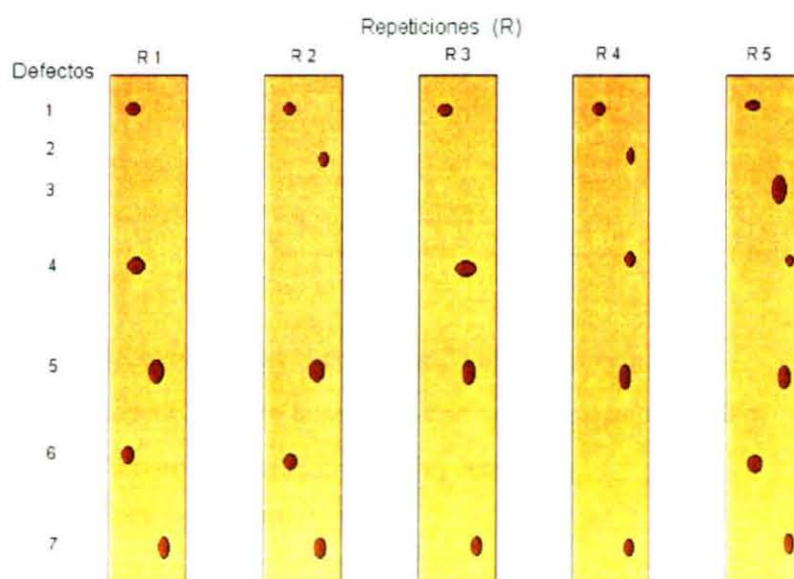
0 en otro caso.

k, j = Número de repeticiones de la pieza.

Ejemplo:

Se realizan 5 repeticiones o pasadas de una pieza de madera por el sistema de escáner y se comparan los datos registrados en cada repetición.

Figura 33
Esquematzación de las repeticiones



Cuadro 3

Resultados de las cinco repeticiones en la detección del tipo de defecto.

Defecto	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	Tipo correcto	%
1	N.Vivo	N.Vivo	N.Vivo	N.Vivo	N.Vivo	(4+4+4+4+4)/20	100
2		N.Vivo		N.Vivo		(2+1+2+1+2)/20	40
3					Grieta	(3+3+3+3+0)/20	60
4	N.Vivo		N.Vivo	N.Vivo	N.Vivo	(3+0+3+3+3)/20	60
5	N.Muerto	N.Vivo	N.Muerto	B.Resina	N.Muerto	(2+0+2+0+2)/20	30
6	N.Vivo	N.Vivo			N.Muerto	(1+1+1+1+0)/20	20
7	N.Vivo	N.Vivo	N.Muerto	N.Vivo	N.Vivo	(3+3+0+3+3)/20	60
R _{PIEZA}							53

Repetibilidad de la optimización

La repetibilidad de las decisiones en la optimización de las piezas de madera puede calcularse para una pieza individual o para un lote en estudio. La repetibilidad de la optimización para una pieza individual puede ser calculada usando la expresión siguiente:

$$R_{V.PIEZA} = \left(1 - \frac{DS}{M} \right) \times 100 \quad (10)$$

Donde:

- R_{V.PIEZA} = Repetibilidad de la optimización de una pieza de madera.
- DS = Valor de la desviación estándar del valor de la optimización.
- M = Valor promedio del valor de la optimización para la pieza de madera.

La repetibilidad de la optimización para el lote de piezas de madera se obtiene a través de la siguiente formula:

$$R_{V.LOTE} = \sum_{K=1}^m \frac{R_{V.Pieza}}{m} \quad (11)$$

Donde:

- R_{V.LOTE} = Repetibilidad en la optimización el lote en estudio.
- R_{V.PIEZA} = Repetibilidad de la optimización de una pieza de madera
- m = Número de piezas de madera evaluadas.
- K = Pieza de madera número.

Idealmente, los valores obtenidos en la repetibilidad de las piezas debiera mantenerse constante, es decir, que el sistema tome más o menos las mismas decisiones durante todo el tiempo.

4. COMENTARIOS FINALES

Los últimos avances en la tecnología de inspección automática de la madera, han permitido mejorar las capacidades de detección de defectos de estos sistemas. Sin embargo, al igual que los clasificadores manuales, los sistemas de inspección automática incurren en algunos errores, pero normalmente de una manera mucho más sistemática.

Es importante que previo a la decisión de incorporar esta tecnología al proceso productivo, se realice una evaluación de los niveles de eficiencia que se registran en las instalaciones actuales con que se cuenta, para poder cuantificar el grado de mejoramiento al incorporar la inspección automática de la madera.

En las evaluaciones Es necesario de esta tecnología considerar la influencia que puede tener en los resultados obtenidos, las características de la materia prima empleada. No se puede evaluar estos sistemas sólo con los resultados de la clasificación. Un sistema de escáner puede alcanzar un 85% de piezas clasificadas correctamente, pero este mismo escáner si es evaluado utilizando materia prima que presenta algún defecto que es detectado con dificultades por el sistema, este 85% de clasificaciones correctas, bajará en forma sustancial. Si este mismo escáner es alimentado con madera con una alta presencia de defectos que el sistema detecta sin dificultades, el 85% de clasificaciones correctas aumentará significativamente. Debido a esto, la evaluación de esta tecnología debe realizarse analizando varios parámetros, como los indicados en el Capítulo 3, poniendo especial énfasis en la evaluación de las capacidades de detección, ya que la clasificación y optimización serán normalmente un reflejo de este parámetro.

Otra consideración importante al evaluar estos sistemas sólo por medio de la clasificación, es cierto tipo de inmunidad que se presenta cuando un sistema detecta correctamente; por ejemplo, las bolsas de resina y las grietas, pero en algunos casos tiene dificultades para diferenciarlos. Cuando las bolsas de resinas y las grietas son tratadas de igual manera en las reglas de clasificación aplicadas, el confundirlas no causará ningún error en la clasificación. Pero la incorporación de nuevos productos en el futuro que necesiten diferenciar estos defectos, podría llevar a este escáner a aumentar sus errores de clasificación.

Dentro de un listado de posibles dificultades que podría presentar un sistema de escáner en la detección de defectos y que en la actualidad deberían tener solución, se mencionan a continuación:



- Para detectar y medir correctamente el tamaño de los nudos muy brillantes o blancos, que tienen el mismo color de la madera libre de defectos.
- Para medir correctamente el tamaño de los nudos que están rodeados de corteza.
- Para clasificar cada tipo de nudo en forma correcta, por ejemplo: vivo, muerto, con anillo de corte, agrietado, etc.
- Para ignorar suciedad, áreas quemadas, madera áspera y otros objetos que pueden ser mal interpretados como defectos.
- Para diferenciar entre grietas, bolsas de resina y médula.
- Para diferenciar orificios de nudos muy oscuros.

Para entender qué herramientas están disponibles para encontrar solución a los problemas recién señalados y considerando los elementos que forma un sistema de detección de defectos, se puede mencionar:

- Mejorar los sensores. Combinando sensores de diferentes tipos puede mejorarse tanto la capacidad de detección, como también la habilidad para diferenciar los tipos de defectos. Los diferentes sensores enfatizan los diferentes tipos de defectos y combinándolos es posible obtener mejor información. Mejorar los sensores normalmente es la forma más efectiva de aumentar las capacidades de detección, pero no siempre es el medio más económico.
- Para los sensores de luz visible, la calidad y las características de la fuente de iluminación son muy importantes. Una luz difusa ha mostrado, en la mayoría de las aplicaciones, el mejor resultado. Algunos tipos de defectos pueden enfatizarse usando por ejemplo luz dirigida.
- Mejorar los algoritmos de detección. Estos algoritmos trabajan para reducir la enorme cantidad de datos, por ejemplo, ignorar madera libre de defectos y escoger áreas de interés que deberán seguir siendo procesadas. Los defectos que no aparecen en las áreas de interés, nunca podrán ser detectados por el sistema. De este modo, si el problema es que el sistema está ciego a ciertos tipos de defectos, pero éstos puede ser fácilmente identificado en una o más de las imágenes de entrada, entonces este grupo de algoritmos es el punto de inicio para solucionar estos problemas.
- Mejorar los algoritmos para la clasificación de cada defecto potencial. Todas las áreas de interés encontradas por un paso previo necesitan mayor investigación para ser eventualmente clasificadas o rechazadas. Realmente estos son los algoritmos que deciden si un defecto se considera o no como tal.

- Mejorar los algoritmos para medir el tamaño de cada defecto. Incluso si un defecto ha sido identificado correctamente, su tamaño medido es crucial para la clasificación.
- Mejorar la calidad de la madera. Alimentar el sistema de escáner con madera de mejor calidad, sin importar las capacidades que tiene el sistema, las piezas de madera más limpias y planas harán que el escáner tenga un mejor rendimiento que en el caso de utilizar piezas de madera ásperas y sucias.

BIBLIOGRAFÍA

- Erik Astrand, 1996 "Automatic inspección of wood"
Linköping University, Suecia
- Arders Lycken, 1998. "On some important things in scanning and evaluation of wood
scanning systems"
Trätek, Suecia
- Magnus Peterson, 1998 "Una revisión de la tecnología actual de sistemas de escáner"
Innovativ Visión AB, Suecia
- Mikael Ronnqvist, 1994 "Crosscut optimization of boards given complete defect information"
Forest Products Journal, vol 44,

ANEXO 1

Empresas proveedoras de esta tecnología.

INNOVATIV VISION AB
Attorpsgatan 7
SE – 58273 Linköping
Sweden
Fono : +46 13 460 51 00
Fax : +46 13 460 51 99
Email: info.iv@ivab.se
Internet: <http://www.ivab.se>

MICROTEC
I – 39042 BRIKEN (BZ) J. Durst – Strasse, 98
Fono: (+39)/(0) 472 / 831606
Fax : (+39)/(0) 472/833633
Email: microtec@microtec.dnet.it
Internet: www.microtec-at.it

BMI BARR-MULLIN INC
2506 Yonkers Road, Raleigh, North Carolina 27604 – 2241 USA
Fono: 919-832-2848 1-800-457-3411
Fax 919-831-9340
Email: Sales@barr-mullin.com
Internet: www.barr-mullin.com

LUXSCAN TECHNOLOGIES
Technoport Schlassgoart
BP 144, 66 route de Luxembourg
L-4002 Esch/Alzatte, Luxembourg
Fono: (+352) 540 416
Fax : (+352) 540 417
Email: info@luxscan.lu
Internet: www.luxscan.lu

AUTRONIC
Autronic North America
23933 Allen Road, Suite 6
Woodhaven, Michigan 48183 / USA
Fono: (001) 734 – 692 – 0500
Fax : (001) 734 – 692 – 0503
Email: autronic@pobox.com ó info@autronic.com
Internet www.autronic.com



SYSTEM TM

Skovdalsvej 35
Postboks 255
Dk-8300 Odder
Fono: (+45) 86 54 33 55
Fax : (+45) 86 54 32 19
Email: tm@systemtm.com
Internet: www.systemtm.com

NEWNES MACHINE LTD.

P.O. Box 8
3550 – 45 th Street S.E
Salmon Arm, B.C
Canadá V1E 4N2
Fono: 250 – 832 – 7116
Fax : 250 – 804 – 4000
Email: sales@caenewnes.com
Internet: www.ceanewnes.com

GRECON DIMTER

D-31042 Alfeld-Hannover
Hannoversche Strasse 58
Fono: +49 5181 939 –0
Fax : +49 5181 939 – 225
Email: grecon_dimter@grecon.de
Internet www.weinigusa.com/dimtmain.htm

ULTIMIZERS. INC

28380 S.E Stone Rd Boring OR 97009
Fono: (503) 663 7263
Fax : (503) 663 9555
Email: cutoff@teleport.com
Internet www.ultimizers.com

PAUL MASCHINENFABRIK

D – 88525 Dürmentingen
Fono: +49 (0) 73 71 / 500 –0
Fax : +49 (0) 73 71 / 61 46
Email: Paul@t-online.de ó machines@paul.org
Internet home.t-online.de/home/Paul.d/index.htm

CENTRO TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT (CTBA)

Rue de Blénod – Maudières
547000 Pont-à-Mousson France
Fono: 33.3 83 83 23 33
Fax : 33.3 83 81 11 59
Email: ctba@hol.fr
Internet www.ctba.fr



INFOR
Instituto Forestal

SANTIAGO

Huérfanos 554

Casilla 3085

Fono: (56-2) 693 0700

Fax: (56-2) 638 1286

CONCEPCION

Camino a Coronel

km 7,5 - Casilla 109C

Fono: (56-41) 27 9273

Fax: (56-41) 27 9273

VALDIVIA

Fundo Teja Norte

Casilla 385

Fono: (56-63) 21 1476

Fax: (56-63) 21 8968

COYHAIQUE

Baquedano 645

Fono: (56-67) 23 3585

Fax: (56-67) 23 3585

e-mail: info@infor.cl

<http://www.infor.cl>