

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LA CHAPA DE MADERA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN
DISEÑO PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

QUEZADA CANTUÑA ANA LUCÍA

anluquezada@yahoo.com

DIRECTOR: ING. ÁLVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGAN. PH.D.

alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

Quito, Julio del 2015

DECLARACIÓN

Yo Ana Lucía Quezada Cantuña, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría ; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

.....

Ana Lucía Quezada Cantuña

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Ingeniera Ana Lucía Quezada Cantuña, bajo mi supervisión

.....

Dr. Álvaro Aguinaga B. MSc. Ph.D.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Álvaro Aguinaga B. Ph.D. por ser el mentor del presente proyecto de investigación por su aporte académico y su mano amiga para superar las diversidades.

Al Ing. Mario Granja MSc por su acertada ayuda y apoyo incondicional para culminar este trabajo con éxito.

Gracias a Todos

DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional siempre, a mi madre Clarita por su exigencia y amor incondicional, a mi padre Jorge por su apoyo.

A mi esposo Alexander por su acompañamiento siempre en cada una de mis metas.

Con todo mi amor a toda mi familia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN	xi
PRESENTACIÓN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 HIPÓTESIS	3
2. GENERALIDADES	4
2.1 GENERALIDADES DE LA CHAPA DE MADERA	4
2.1.1 TABLEROS CONTRACHAPADOS	4
2.1.2 CHAPAS DE MADERA	5
2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA CHAPA DESPUÉS DE SECADA	6
2.1.4 ACABADO DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS	7
2.1.5 CONTROL DE CALIDAD	7
2.1.6 TERMINOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE CHAPAS Y MADERAS CONTRACHAPADAS. Norma INEN 2 342:2003	7
2.1.6.1 DEFINICIONES:	7
2.1.6.2 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN:	12
2.1.7 USOS	14
2.2 GENERALIDADES DE VISIÓN ARTIFICIAL Y CONTROL DE PROCESOS	15
2.2.1 SISTEMA DE VISIÓN HUMANA	16
2.2.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL (SVA)	17
2.2.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES Y VISIÓN HUMANA	19

2.2.4	APLICACIONES	19
2.2.5	MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR COMPUTADOR	20
2.3	IMAGEN DIGITAL	20
2.3.1	RESOLUCIÓN DE UNA IMAGEN	21
2.3.2	NÚMERO DE PLANOS	22
2.3.3	TIPOS DE IMÁGENES DIGITALES	22
2.3.4	FORMATOS DE IMAGEN DE MAPA DE BITS	24
2.3.5	TAMAÑO	24
2.4	ANÁLISIS DE LA IMAGEN	25
2.4.1	HISTOGRAMA	25
2.4.2	PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN	27
2.5	TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN	28
2.6	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE LabVIEW	32
2.7	RED NEURONAL ARTIFICIAL	34
2.7.1	PROPIEDADES DE UNA RED NEURONAL	35
2.7.2	ARQUITECTURA DE UNA RED NEURONAL	35
2.7.3	VENTAJAS	35
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN	37
3.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	37
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	38
3.3	SELECCIÓN DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA	39
3.4	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	40
3.5	SELECCIÓN DE LAS CHAPAS DE MADERA	40
3.6	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y SISTEMA DE ILUMINACION	42
3.7	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES	43
3.7.1	MENU RECONOCIMIENTO	43
3.8	IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE ADQUISICIÓN UTILIZANDO LabVIEW	45
3.8.1	ADQUISICIÓN DE IMAGEN	45
3.8.2	ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE COLORES	48
3.8.3	ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE DEFECTOS	53
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA	56
4.1	VERIFICACIÓN DE ENCENDIDO DE ILUMINACIÓN	56
4.2	COMPARACION DE RECONOCIMIENTO DE IMAGENES EN FUNCION DE LA ILUMINACIÓN	56

4.3	PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO CÁMARA	60
4.4	PRUEBAS DE RECONOCIMIENTO	60
4.4.1	RECONOCIMIENTO DE CARAS B.....	60
4.4.2	RECONOCIMIENTO DE CARAS C	64
4.5	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	66
4.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1	CONCLUSIONES.....	68
5.2	RECOMENDACIONES.....	70
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	ANEXOS.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tablero Contrachapado.....	5
Figura 2.2 Chapa de Madera desenrollada.....	8
Figura 2.3 Corte Rebanado	9
Figura 2.4 Corte periférico	9
Figura 2.5 Nudo suelto	10
Figura 2.6 Bolsas de resina	10
Figura 2.7 Grano cruzado	11
Figura 2.8 Machas negras o grises	11
Figura 2.9 Manchas de proceso.....	12
Figura 2.10 Muebles recubiertos con chapa.....	15
Figura 2.11 Partes del sistema ocular del ojo humano	16
Figura 2.12 Captura de imágenes ojo humano	17
Figura 2.13 Elementos de un sistema de visión artificial	17
Figura 2.14 Cámara digital con entrada USB	18
Figura 2.15 Representación de un Pixel.....	20
Figura 2.16 Digitalización de imágenes.....	21
Figura 2.17 Escala de resolución de imágenes.....	21
Figura 2.18 Representación de imágenes.....	23
Figura 2.19 Ejemplo de aumento de tamaño en una imagen	23
Figura 2.20 Ejemplo de imagen JPEG preparada para web.....	24
Figura 2.21 Tres tamaños de imagen diferentes.....	25
Figura 2.22 Histograma	26
Figura 2.23 Representación lineal y logarítmica	26
Figura 2.24 Iluminación Posterior.....	28
Figura 2.25 Iluminación frontal	29
Figura 2.26 Iluminación lateral	30
Figura 2.27 Iluminación por campo oscuro	31
Figura 2.28 Iluminación coaxial.....	31
Figura 2.29 Iluminación Difusa continua.....	32
Figura 2.30 Ejemplo de una red neuronal	34
Figura 3.1 Diseño de la estructura.....	38
Figura 3.2 Esquema de trabajo de la interfaz	39
Figura 3.3 Chapas de madera proveedor selectas	41
Figura 3.4 Implementación de la estructura	42
Figura 3.5 Instalación de iluminación	42
Figura 3.6 Pantalla de Inicio del proyecto	43
Figura 3.7 Pantalla reconocimiento	44
Figura 3.8 Interfaz de resumen norma INEN	45
Figura 3.9 Selección de recurso de adquisición.....	46
Figura 3.10 Pantalla de selección de tipo de adquisición	46
Figura 3.11 Pantalla de configuración de parámetros.....	47

Figura 3.12 Pantalla de selección de controles	48
Figura 3.13 Pantalla de acceso de visión asistant.	49
Figura 3.14 Pantalla principal de color clasification	49
Figura 3.15 Pantalla de creación de clases	50
Figura 3.16 Fase de adquisición de muestras	50
Figura 3.17 Pantalla de entrenamiento	51
Figura 3.18 Resultados fase de entrenamiento.....	51
Figura 3.19 Detalle de muestras almacenadas después de entrenamiento.....	52
Figura 3.20 Resultado del aprendizaje de la red neuronal y clasificación del color	52
Figura 3.21 Selección de controles de color clasification de LabVIEW	53
Figura 3.22 Creación de clases para reconocimiento de defectos.....	53
Figura 3.23 Pantalla de entrenamiento de defectos de la chapa de madera	54
Figura 3.24 Pantalla de imágenes de entrenamiento de defectos	54
Figura 3.25 Programación.....	55
Figura 4.1 Aislamiento de rayo de luz en la estructura	56
Figura 4.2 Iluminación 4 focos Elaborado: Ana Quezada.....	58
Figura 4.3 Iluminación 3 focos Elaborado: Ana Quezada.....	59
Figura 4.4 Iluminación 2 focos Elaborado: Ana Quezada.....	59
Figura 4.5 Iluminación 1 foco Elaborado: Ana Quezada.....	59
Figura 4.6 Verificación de adquisición de la cámara.	60
Figura 4.7 Chapa Rose, sin defectos cara B	61
Figura 4.8 Chapa Etimoe sin defectos cara B	61
Figura 4.9 Chapa Eukaliptus sin defecto cara B	62
Figura 4.10 Chapa Sapelly sin defectos caras B	62
Figura 4.11 Chapa Sapelly sin defectos caras B	63
Figura 4.12 Chapa Reconstituida sin defectos caras B	63
Figura 4.13 Chapa Rose con mancha caras C	64
Figura 4.14 Chapa Rose con polilla caras C.....	64
Figura 4.15 Chapa Eukaliptus rotas caras C	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requisitos chapas de uso decorativo NORMA INEN	13
Tabla 3.1 Dimensiones de las chapas del prototipo	37
Tabla 3.2 Dimensiones de la estructura	38
TABLA 4.1 Reconocimiento Especie Vs Iluminación.	57
Tabla 4.2 Resultados Iluminación por especie	57
Tabla 4.3 Reconocimiento de defectos Vs iluminación	58
Tabla 4.4 Resultados iluminación por defecto	58
Tabla 4.5 Tabla de muestras para evaluación del sistema	66

RESUMEN

Actualmente la industria maderera ecuatoriana no dispone de un sistema automático para la clasificación de chapa de madera, siendo necesario insertar nuevas tecnologías de control automático y mecatrónica para mejorar el control de la calidad de productos, es allí donde nace la oportunidad de implementar este proyecto mediante el desarrollo de un sistema de visión artificial para el reconocimiento y clasificación de chapas de madera con el uso de la plataforma LabVIEW.

Este proyecto identifica el color y defectos presentes en las chapas de madera comerciales en el Ecuador, entre ellas Eukaliptus, Sapelly, Rose, Etimoe y chapas reconstituidas. Los defectos como manchas, polillas, rotos están verificados de acuerdo a la norma INEN que rige los parámetros de chapas de madera que se utilizan con fines decorativos para tableros recubiertos con chapa.

La clasificación de defectos de la chapa de madera actualmente se realiza manualmente, con altos costos operativos y procesos de clasificación lenta, la Norma Ecuatoriana INEN, el software LabVIEW procesar imágenes de las chapas de madera y luego asignar la misma a una categoría se está B o C, verificando el tipo de veta de la chapa de madera

Para lo cual se ha seleccionado una cámara de resolución de 10 megapíxeles que es conectada al ordenador, a una altura de 50 cm desde la base del prototipo, con la cual se puede diferenciar el color que corresponde la chapa, identificar defectos y finalmente se asigna a una categoría. El sistema cerrado cuenta con una iluminación frontal que evita mayores porcentajes de error en la medición.

Luego de concluido el proyecto se evidencia que este trabajo abre la puerta al campo de investigación en aplicaciones de la industria maderera, puede ser desarrollado e instalado en líneas de producción de juntado de chapa, donde los volúmenes de productividad son mayores, con esto se disminuiría la fatiga y estrés laboral del personal que se dedica a la clasificación de chapa de madera.

PRESENTACIÓN

La investigación está distribuida en capítulos que se sintetizan a continuación.

En el capítulo I se realiza la presentación de los objetivos y justificación de la investigación.

En el capítulo II se refiere a la introducción sobre la importancia de la clasificación de la chapa de madera, y se refuerza los conocimientos de visión artificial que se requieren para la implementación del proyecto tales como los sistemas mecatrónicos, técnicas de visión artificial, automatización de procesos que se requieren para el reconocimiento y adquisición de señales, redes neuronales.

En el capítulo III, se realiza el diseño e implementación del sistema de adquisición de señales para el reconocimiento de defectos de la chapa de madera mediante la utilización del software LabVIEW y sus librerías de visión artificial y herramienta color classification.

En el capítulo IV se detallan los resultados obtenidos y la evaluación del sistema, verificación de la hipótesis.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La investigación se ha elaborado con la finalidad de ayudar a los pequeños y grandes sectores dedicados a la carpintería, etc., mediante el diseño de una aplicación robotizada con visión artificial que permite identificar los defectos de la chapa de madera para mejorar la productividad y reducir tiempo de inspección en la fabricación de muebles.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Ecuador la industria maderera es el sector que se ocupa del procesamiento, tratamiento y producción de derivados de la madera, desde su plantación hasta transformación tablones, tableros, muebles, etc, pasando por la cosecha forestal, corte, almacenamiento o tratamiento bioquímico, molienda y prensado. El producto final es utilizado en ser la fabricación de mobiliario, materiales de construcción, industria de fabricación de papel. Uno de sus derivados es la laminación de madera para obtención de chapa que brinda a los muebles texturas únicas y da armonía en los diferentes ambientes decorativos.

La comercialización de chapas de madera, se da desde 1926. Hoy en día, se consideran a las chapas de madera son un elemento fundamental en trabajos de arquitectura y decoración. La chapa de madera le da una calidad especial a cualquier trabajo, por ello los productos chapeados son espectaculares, en varias aplicaciones inmobiliarias.

En el Ecuador esta actividad está en dos sectores estratégicos como son el industrial y el artesanal. En ambos casos el proceso de clasificación de las chapas de madera se lo realiza de forma manual, donde los operadores segregan los defectos en función de su experiencia cumpliendo los estándares de calidad fijados con la normativa INEN vigente. Sin embargo este trabajo es lento y genera

fatiga en el personal que realiza esta actividad.

Actualmente la industria maderera ecuatoriana no dispone de un sistema automático para la clasificación de chapa de madera, siendo necesario insertar nuevas tecnologías de control automático y mecatrónica para mejorar la calidad de los productos.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La implementación de un sistema de visión artificial para el reconocimiento y clasificación de chapas de madera permitirá incrementar la competitividad de las microempresas de artesanos del país, ya que tendrán mejor calidad en la elaboración de mueble con chapas, de esta manera se busca reducir los altos costos operativos y procesos de clasificación lentos.

Con la ejecución del proyecto se eliminará los errores y fatigas del personal que se dedica a la clasificación de chapas de madera, los grandes y pequeños artesanos contarán con una interfaz amigable para reconocimiento de defectos que les permitirá optimizar tiempos de producción.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar y construir un prototipo de sistema de visión artificial para clasificar y controlar la calidad de la chapa de madera

Objetivos Específicos

- Identificar mediante un sistema robotizado de visión artificial los diferentes tipos de vetas de la chapa de madera.
- Detectar, segmentar y reconocer los defectos y fallas de la chapa de madera.
- Elevar la eficiencia en la clasificación y reconocimiento de defectos de la chapa de madera.

- Demostrar que las tecnologías de visión artificial son aplicables para mejorar la calidad de la industria ecuatoriana.

1.4 HIPÓTESIS

Mediante la utilización de sistemas de visión artificial se puede clasificar las chapas de madera en función de sus defectos basados en normas de control de calidad vigentes en el Ecuador.

CAPITULO II

2. GENERALIDADES

El propósito fundamental de la presente investigación es implementar un sistema robotizado de visión artificial para el control de defectos en las chapas de madera, muy utilizadas en la industria maderera y en la carpintería en general, para la fabricación de enchapes y caras de los tableros contrachapados, basados en la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 342:2003 2003-12 TABLEROS DE MADERA CONTRACHAPADA. CHAPAS. REQUISITOS.

Los tableros contrachapados con vista y trascara de madera son para usos en interiores y exteriores, tanto para muebles, recubrimiento y uso estructural, varias especies de maderas ofrecen buenas condiciones para obtención de chapa con características excelentes de densidad, humedad, forma, veta, color, habilidad de pegado y descortezado.

2.1 GENERALIDADES DE LA CHAPA DE MADERA

2.1.1 TABLEROS CONTRACHAPADOS

Según Nutsch, (2000), “el término “panel” se ha aceptado como denominación genérica de tableros contrachapados, como tableros de fibra, tableros de partículas, tableros de lana de madera, planchas de paja prensada y productos a fines como tableros de corcho de fibra inorgánica y otros, estos pueden fabricarse con la madera, en forma de madera maciza, chapa, cintas, partículas, fibras o corteza (incluso corcho) o a partir de otras materias primas lignocelulósicas en forma de tallos, partículas y fibras; partículas y fibras”.

En la figura 2.1, se observa un tablero contrachapado fabricado con una cara y trascara de chapa de madera rameada como cita Arriaga (1989).



Figura 2.1 Tablero Contrachapado

Fuente: Tecnología de la madera y mueble (2000)

2.1.2 CHAPAS DE MADERA

Según Dudek, (1974), “Chapas de madera son láminas delgadas con un espesor uniforme obtenidos por el desarrollado o guillotinado (tranchado) de un tronco”.

Para la elaboración de chapas se utilizan troncos de excelente calidad, buena longitud y diámetro, cilíndricos con un mínimo de defectos y recientemente cortados, la materia prima a laminarse dependen del tipo y calidad de la chapa o tablero a obtener, donde influye la densidad, humedad y veta. En Ecuador la materia prima proveniente de España y bosques africanos posee buen color, figura y apariencia decorativa, con alto, mediano y bajo grado las propiedades físicas como densidad, módulo de flexión y elasticidad. Chapas o tableros para exportar o para consumo nacional demandan especial calidad de madera cita Louko, (1978).

La materia prima que demanda la elaboración de tableros contrachapados posee características especiales para su producción. Los diámetros de los troncos varían de 17 a 200 cm, antes de convertir las trozas en chapa o chapilla hay que prepararlas adecuadamente, para ello primeramente se corta la troza a la longitud deseada, los cortes deben ser rectos con el fin de facilitar el ensamble de la troza

en el torno. Los troncos luego son ablandados con vapor o agua caliente para el posterior descortezado, en éste paso se procede a la eliminación de defectos y partes malas, etc, que dañarían el aspecto decorativo de la chapa. El objetivo de calentar los troncos con vapor o agua caliente es el plastificar y optimizar el desenrollado. Algunas especies de madera no requieren este proceso, otras son muy duras, es decir de alta densidad, que no se pueden desenrollar sin ablandarlas. Cuando la madera es calentada se logra una menor fuerza de desenrollado, la cuchilla corta las fibras suavemente, los nudos se suavizan y el afilado de la cuchilla dura más tiempo, adicionalmente se evita que la cuchilla deje marcaciones que no son decorativas a la hora de fabricar los muebles. Durante el calentamiento la lignina y la hemicelulosa se plastifican con la elevación de temperatura mientras que la celulosa no se altera porque no es plástica, el tiempo de ablandamiento depende del tipo de especie, longitud, tamaño, densidad y contenido de humedad.

Es importante secar la chapa inmediatamente a temperaturas elevadas de 150 a 230°C, debido a que sus espesores son pequeños hay riesgo de ondulamiento. El tiempo total de secado depende del contenido de humedad de la chapa, la velocidad del aire que seca la chapa es de 15 a 25 m/seg y el contenido de humedad final ideal debe estar entre 4 - 12%.

2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA CHAPA DESPUÉS DE SECADA

La chapilla de madera seca es clasificada en caras, centros o trascara. En algunas fábricas de tableros contrachapados la chapa que va a servir de centros, generalmente esta contiene defectos no decorativos, como nudos abiertos, trizaduras, etc. La clasificación depende del tipo de chapa que se va a utilizar y del tipo de tablero contrachapado que se va a producir.

Una vez hecha ésta clasificación se procede a preparar la chapa, para la elaboración del tablero. En el mundo existen varias normas que rigen el proceso de clasificación a nivel de sus defectos.

2.1.4 ACABADO DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS

Luego de prensadas las chapas con resina, se procede al corte de los tableros para obtener unas dimensiones finales(1.22x2.60, 2.12x2.60,1.83x2.44, 2.15x2.44), para ello se refilan los 4 lados de forma recta y paralela, por último se lleva a cabo el lijado de la superficie del tablero para lograr un grosor uniforme en la chapa y obtener buena superficie. Normalmente se reduce 0.2 a 0.3 mm después de lijado en ambas caras (superficies) de los tableros.

2.1.5 CONTROL DE CALIDAD

Todos los tableros decorativos deben cumplir especificaciones de dimensiones, resistencia a la encoladura, rajadura y calidad de las chapas empleadas, así como también las chapas se rigen por normas de clasificación, en Ecuador se sustenta la norma INEN para control de calidad. El control durante la fabricación de tableros enchapados va desde la inspección cualitativa de las chapas para verificar sus características externas hasta las mediciones rigurosas del espesor, contenido de humedad y otros factores que determinan la calidad y costos de producción.

2.1.6 TERMINOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE CHAPAS Y MADERAS CONTRACHAPADAS. Norma INEN 2 342:2003

2.1.6.1 DEFINICIONES:

Para efectos de norma se establecen las siguientes definiciones a más de las indicadas en las NTE INEN 892, 900, 1156 y 1157:

- **Madera contrachapada (terciada o multilaminar):** Aquella que consta de 3 o más chapas de madera pegadas por medio de adhesivos una contra otra, por lo general dispuesta en forma tal que el grano de una chapa forma ángulo recto con la chapa adyacente.
- **Chapa (Lamina):** Hoja delgada de madera, de espesor uniforme, obtenida

por desenrollado, rebanado o aserrado y que se emplea en la fabricación de la madera contrachapada.

- **Cara o vista:** superficie principal de la lámina con base en la cual se juzga la calidad de la misma. Cuando las dos superficies son de igual calidad las dos reciben el nombre de caras.
- **Contracara o travista:** superficie opuesta a la cara.
- **Ensamble o junta lateral:** procedimiento que consiste en pegar las chapas longitudinalmente por medio de máquinas empalmadoras, con el objeto de unir las y formar chapas más anchas. Las chapas pueden unirse mediante hilos, cintas o adhesivos y pueden cantearse o biselarse los bordes.
- **Corte a torno o desenrollado:** aquel en el cual la madera gira sobre un eje longitudinal sobre una cuchilla, permitiendo obtener la chapa de la superficie de la troza, véase figura 2.2.

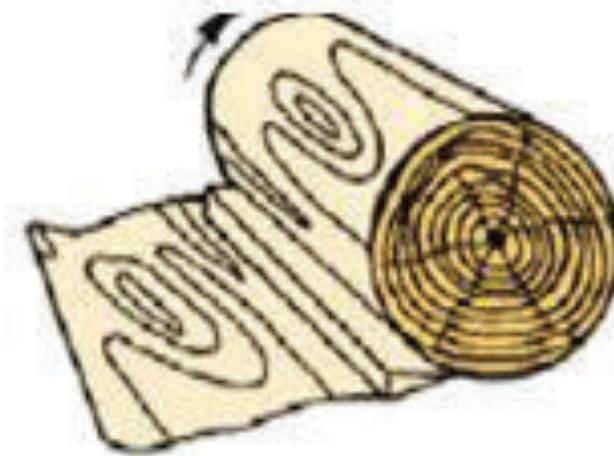


Figura 2.2 Chapa de Madera desenrollada.

Fuente: AHEC Europa

- **Corte rebanado (half round slicing):** Aquel en el cual al pasar la madera por la cuchilla cortadora sigue un plano vertical, horizontal o inclinado. La chapa obtenida es de fibras rectas o malladas, véase figura 2.3.

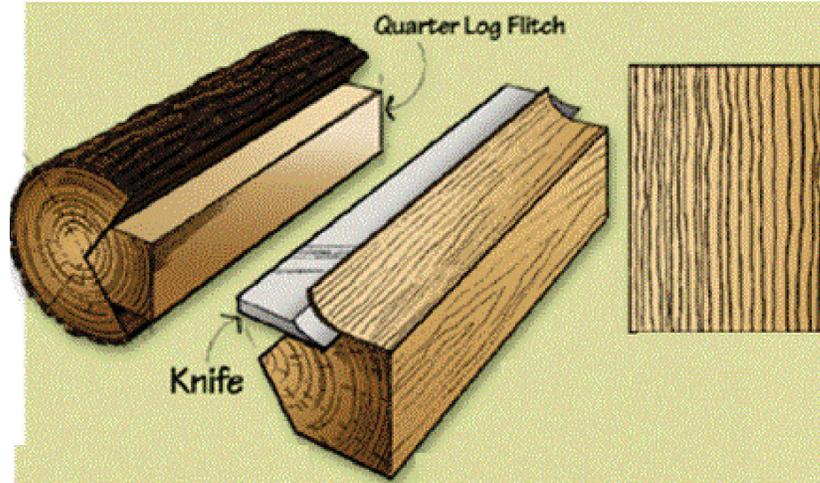


Figura 2.3 Corte Rebanado

Fuente: AHEC Europa

- **Desenrollo periférico discontinuo de cuartón (rift curl):** Se obtiene mediante el desenrollo discontinuo de un cuartón con el ataque de la cuchilla siguiendo la periferia del rollo. La chapa obtenida es de fibras ojivales en el centro y rectas en los bordes, ver figura 2.4.

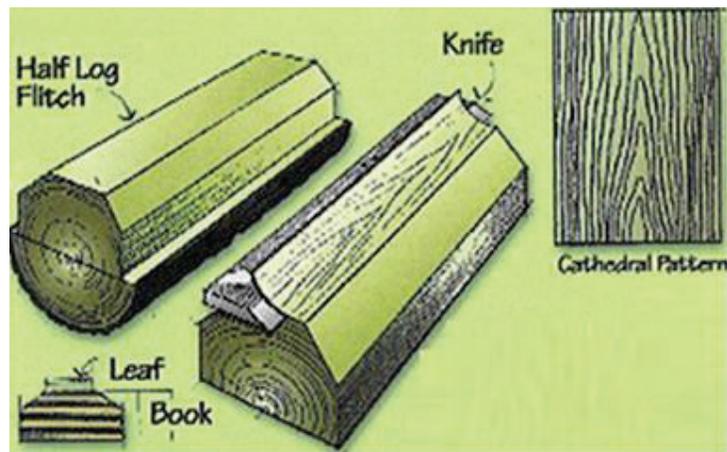


Figura 2.4 Corte periférico

Fuente: AHEC Europa

- **Rajadura:** Separación de la fibra de madera en dirección longitudinal en una chapa, que se extiende completamente de una cara a la opuesta.

- **Nudo suelto:** Aquel que no se encuentra adherido al leño circundante, ver figura 2.5.



Figura 2.5 Nudo suelto

Fuente: Columbia Forest products

- **Defecto abierto:** el natural o de otra índole que causa hendidura o agujero en la cara o contracara de la línea.
- **Despegue:** separación de las chapas que forman la lámina.
- **Grieta:** hendidura que aparece en las caras o superficies de las láminas, producida por la separación del grano en el sentido longitudinal.
- **Bolsa de resina:** Es el efecto que se manifiesta por la presencia de una cavidad bien delimitada, que contiene resina, goma o tanino, ver figura 2.6.



Figura 2.6 Bolsas de resina

Fuente: Columbia Forest products

- **Daños causados por plagas y/o enfermedades:** Aquellas alteraciones producidas principalmente por la acción de hongos, bacterias, insectos, moluscos y crustáceos.
- **Grano:** Disposición de los elementos constitutivos de la madera en dirección horizontal.

- **Grano arrancado:** Grupos de fibras que por efectos de procesamiento (cuchillas) han sido desprendidas dejando orificios de forma triangular, ver figura 2.7.



Figura 2.7 Grano cruzado

Fuente: Columbia Forest products

- **Grano afelpado (superficie peluda):** Conjunto de fibras largas y delgadas que se encuentran levantados originando una superficie no lisa.
- **Manchas:** defectos de coloración de la madera, producido generalmente por hongos o por reacciones químicas de las sustancias de la misma madera o de la madera con los adhesivos, véase figura 2.8.



Figura 2.8 Machas negras o grises

Fuente: Columbia Forest products

- **Mancha biológica:** Es la coloración anormal que presenta la madera, producida por hongos cromógenos que afectan la albura, el duramen o ambos. Se denominan según el color, mancha azul, gris, castaña, etc.

- **Mancha de procesamiento:** Es el cambio del color natural de la madera ocasionada por los procesos de maquinado, almacenamiento, etc, como se observa en la figura 2.9.



Figura 2.9 Manchas de proceso

Fuente: Columbia Forest products

- **Corrugado:** Defecto que consiste en la formación de ondas pronunciadas en la superficie de las chapas producidas en el proceso de corte y en el secado, que impiden una unión y pegado perfectos.
- **Ondulaciones:** Defecto que consiste en la formación de ondas suaves en superficie de la chapa, producido por madera de tensión y madera de compresión durante el proceso de secado y que no afecta su unión ni pegado.
- **Rayas:** Marcas producidas por la cuchilla durante el corte, rebanado o desenrollado.
- **Sobrepuesto o montura:** defecto debido a sobre posición de una junta lateral, que altera la uniformidad en el espesor de la lámina dando lugar a un aumento del mismo.
- **Veta:** Se denomina a la figura que presentan las superficies de las chapas debidas al corte de sus elementos constituyentes de distinta coloración, al grano, o por ambos. Protuberancia producida por la cuchilla durante el corte, rebanado o desenrollado, debido principalmente a la presencia de grano entrecruzado.

2.1.6.2 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN:

Las chapas de madera se clasifican según su aplicación en dos clases.

- **Uso corriente (no decorativo).** Las chapas destinadas para uso corriente se clasifican en los grados especificados.
- **Uso decorativo.** Las chapas destinadas para uso decorativo se clasifican en los grados especificados en la tabla 2.1.

Para las chapas de uso decorativo se establecen los siguientes requisitos:

Tabla 2.1 Requisitos chapas de uso decorativo NORMA INEN

DEFECTO	A	B	C
Nudos firmes	Se aceptan	Se aceptan	Se aceptan
Nudos sueltos	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho	Se aceptan 5 de 2 mm de largo x 2 mm de ancho
Rajaduras	No se aceptan	Se aceptan 2 masillados en cada extremo de la chapa de 1.6 mm x 150 mm	Se aceptan 4 en cada extremo de la chapa de 3,2 mm x 203 mm
Bolsas de resina	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Daños por insectos: Pasador	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie	Se aceptan 5 hasta de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie
Polilla	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie	Se aceptan 5 hasta de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie
Manchas azules y grises	No se aceptan	No se aceptan	Se acepta en sus extremos hasta un 10 % de su longitud.
Otras Manchas	No se aceptan	Se aceptan el 10% del área de la chapa	Se acepta el 15% del área de la chapa.

Pudrición	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Grano afelpado	No se aceptan	Se aceptan hasta un 5 % del área masillados	Se aceptan
Arrancado	No se aceptan	Se aceptan hasta un 5 % del área masillados	Se aceptan
Corrugado	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Ondulaciones	No se aceptan	Se aceptan	Se aceptan
Rayas	No se aceptan	Se aceptan hasta 2 por chapa	Se aceptan

Fuente: Norma INEN 2 342:2003

2.1.7 USOS

Los tableros recubiertos con chapa se elaboran para aplicaciones que requieren características decorativas únicas en muebles y decoración interior, donde lo esencial es la belleza del grano o veta elegante que presentan diversas clases de maderas, por su forma de laminación. En el Ecuador la chapa de madera se puede recubrir en tableros MDP, MDF o Aglomerado dependiendo de la aplicación sea por industriales o artesanos que crean sensaciones únicas en sus creaciones, como se muestra en la figura 2.10.





Figura 2.10 Muebles recubiertos con chapa

Fuente: Decoración guía DKN

2.2 GENERALIDADES DE VISIÓN ARTIFICIAL Y CONTROL DE PROCESOS

Hablar de control de procesos hoy en día es implementar sistemas mecatrónicos, definidos como sistemas digitales que recogen señales, para procesarlas y emitir una respuesta por medio de actuadores o elementos de control final, que permiten incrementar la productividad y reducir tiempos de procesamiento.

Según la revista Mechatronics, (1991) la mecatrónica "Es la integración sinérgica de ingeniería mecánica con electrónica y control inteligente por computador en el diseño y manufactura de productos y procesos industriales".

Hoy en día la mecatrónica permite desarrollar aplicaciones que evolucionan los procesos productivos tradicionales a la automatización industrial mediante el uso de sistemas o elementos automatizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales, con el fin de supervisar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Los sistemas de visión artificial, cubren la necesidad de detectar errores que un operador puede no considerar debido a la fatiga. Una desventaja es la falta de criterio ante una situación imprevista, a la que un operador puede ser capaz de solucionar inmediatamente por tomar sus propias decisiones en beneficio del proceso. A continuación una descripción de los sistemas de visión humana versus los artificiales.

2.2.1 SISTEMA DE VISIÓN HUMANA

Según Bernard, (2002), "el sentido de la vista es el más complejo y especializado del cuerpo humano ya que por medio de la visión, el ser humano es apto de captar la forma, el volumen, los colores, la luminosidad, el tamaño y demás cualidades de los objetos que lo rodean". En la figura 2.11 se detallan las partes del sistema de visión humano.

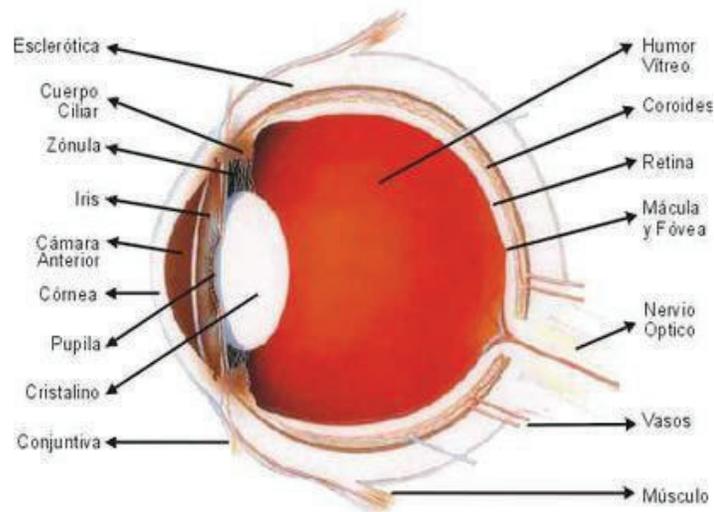


Figura 2.11 Partes del sistema ocular del ojo humano

Fuente: Dilicenses

El funcionamiento de la vista es analógico al de una cámara fotográfica (véase figura 2.12), en donde la retina capta la imagen así como sucede en el lente, por medio de ambos se puede detectar las características de las imágenes para el procesamiento.

El proceso de adquisición de las imágenes por la vista inicia desde que los rayos de luz entran a través de las pupilas y son registrados en la retina, dichas imágenes están invertidas y se convierten en impulsos eléctricos que son enviados al cerebro a través de los nervios ópticos.

Según Puell, (2010), los campos visuales son sobrepuestos parcialmente, debido a que las imágenes captadas por cada ojo tiene pequeñas diferencias. La percepción de profundidad es calculada en la zona de visión binocular que es la distancia del objeto con respecto al ojo, esta distancia se denomina distancia focal.

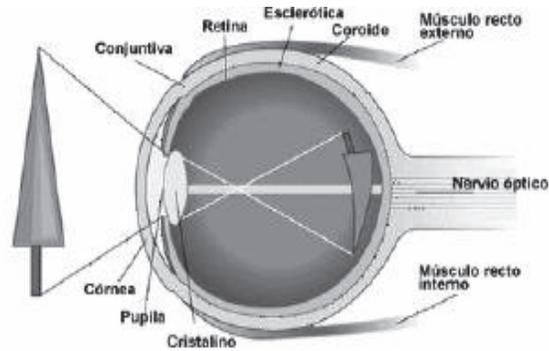


Figura 2.12 Captura de imágenes ojo humano

Fuente: Dilicenses

2.2.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL (SVA)

El sistema de visión artificial (SVA) nació a partir del desarrollo de la inteligencia artificial, con el objetivo de programar un computador para que sea capaz de “entender” las características de una imagen. Por lo que según Gordillo & Yanez, (2009) la visión es el “proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes utilizando para ello un computador”. Otra definición bastante aceptada es “ciencia que estudia la interpretación de imágenes mediante computadores digitales”, como se aprecia en la figura 2.13.

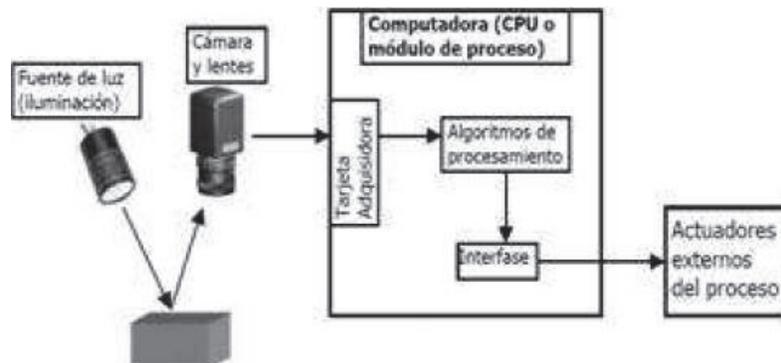


Figura 2.13 Elementos de un sistema de visión artificial

Fuente: Gordillo y Yánez

Un sistema de visión artificial (SVA) tiene los siguientes componentes:

- A) Fuente de Luz:** La iluminación es el elemento fundamental para la implementación de un sistema de visión artificial, debido a que la luz puede modificar las características de la imagen al generar reflejos en el entorno y

ocasionar fallas en la medición. Existen diferentes tipos de iluminación: direccional, frontal, difusa, contraluz, estructurada, estroboscópica.

B) Sensores de Imagen: Son elementos sensibles a la luz que modifican los pulsos eléctricos en función de la intensidad luminosa que reciben de una fuente. Un ejemplo de sensor es la webcam o cámara que es la encargada de tomar las características del objeto bajo estudio.

Existen varios tipos de cámaras que son utilizadas en función de la aplicación, por ejemplo: cámaras progresivas son precisas para trabajar en ambientes de constante movimiento de alta velocidad y corto plazo, y las cámaras lineales se emplean en reconocimiento de piezas de gran tamaño, las cámaras infrarrojas son utilizadas cuando se desea medir rasgos sensibles. La imagen es adquirida por la cámara, a través de un sistema de sensores basados en dispositivos de acoplamiento de carga (CCD), véase figura 2.14.



Figura 2.14 Cámara digital con entrada USB

Fuente: Wikipedia

C) Sistemas de Adquisición: El sistema de adquisición toma la información desde la cámara para convertirla en una señal digital que llega al computador. En el mercado existen tarjetas de adquisición que leen y transfieren la velocidad de transmisión, la profundidad del píxel, la capacidad de captura, el formato de los datos, la velocidad de transferencia de la imagen.

D) Procesamiento de imágenes: Con la imagen adquirida, se procede al procesamiento sobre la señal para extraer la información, el procedimiento que se aplicará a la imagen va a depender del tipo de análisis a realizar y resultados deseados.

2.2.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES Y VISIÓN HUMANA

A continuación se detallan aspectos importantes y similitudes de los sistemas de visión artificial y el sistema humano:

- Las personas al igual que algunos sistemas de visión artificial, necesitan de condiciones mínimas de luz para poder distinguir los objetos; sin estos parámetros la información obtenida es errónea. En un sistema de visión artificial la iluminación determina la precisión de los sistemas de control.
- En el ser humano el sensor de imagen es el iris y los componentes del globo ocular mientras que en un SVA la cámara posee un lente, sensores fotoeléctricos en un arreglo de CCD, un objetivo, un diafragma y demás componentes que se convierten en el sensor.
- El ser humano posee el nervio óptico que se encarga de llevar la información hacia el cerebro en forma de pulsos eléctricos; el SVA posee el sistema de adquisición, que transforma la información eléctrica en una señal digital.
- En el SVA la aplicación de procesamiento depende del software instalado y el cerebro es autónomo.

2.2.4 APLICACIONES

En el mercado existe varias cámaras como las térmicas, infrarrojas, ultravioletas, etc.; que son diseñadas para un sinnúmero de aplicaciones que dependen de la resolución del producto a clasificarse y área de medición, los sectores industriales pueden ser semiconductores, automovilismo, petróleo y servicios, industria maderera, biomédico, electrónico, farmacéutico, alimenticio, textil, seguridad, robótica, agricultura, etc.

Las tareas donde se utilice visión por computador pueden ser la inspección visual, manejo de brazos robóticos, adquisición de imágenes de microscopía con la finalidad de detectar virus, células, proteínas, etc., análisis de resonancias magnéticas. Otro campo es la agricultura efectuar interpretación de

fotografías aéreas para llevar el control de plantaciones de diferentes productos.

2.2.5 MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS POR COMPUTADOR

Para enseñar a una computadora a clasificar objetos existen dos métodos de detección según Andame & Llovert, (2007):

- Los métodos tradicionales basados en detección de características.
- Los métodos basados en el reconocimiento de patrones que obtienen la información de manera implícita mediante el aprendizaje desde ejemplos iniciales.

Los métodos basados en detección de características se basan el aprendizaje en contornos, niveles de gris, el color y el movimiento, mientras que los métodos basados en reconocimientos de patrones utilizan un proceso de búsqueda por muestras a diferentes resoluciones (diferentes escalas y posiciones), basados en redes neuronales artificiales.

Los métodos basados en patrones son apropiados para el procesado de imágenes en tiempo real cuando el color y el movimiento son posibles. Actualmente existen diferentes programas que ofrecen excelentes prestaciones para la producción, dentro de este grupo están plataformas como LabVIEW que ofrece flexibilidad a costo moderado.

2.3 IMAGEN DIGITAL

Según Guanoluisa & Sánchez, (2009) “Una imagen digital es un arreglo en dos dimensiones de valores que representan la intensidad luminosa $f(x,y)$, en un sistema de coordenadas x, y ”, tal como se muestra en la Figura 2.15

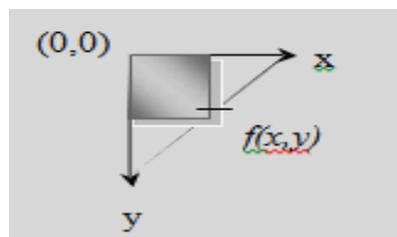


Figura 2.15 Representación de un Pixel

Fuente: Guanoluisa & Sánchez.

Donde f es la intensidad luminosa en el punto (x, y) , el cual se denomina píxel o unidad básica de una imagen. El punto $(0,0)$ es una referencia para las coordenadas en la imagen. En procesamiento un sensor convierte una imagen en un número finito de píxeles, de esta manera se asigna a cada píxel una coordenada y un nivel de gris o color que especifique el brillo o el color del píxel, como se evidencia en la figura 2.16.

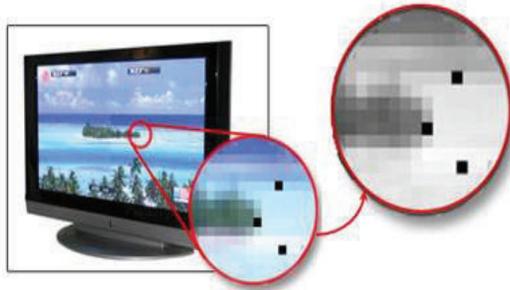


Figura 2.16 Digitalización de imágenes

Fuente: Guanoluisa & Sánchez,

Una imagen digital tiene tres propiedades básicas: resolución, definición y número de planos.

2.3.1 RESOLUCIÓN DE UNA IMAGEN

La resolución se especifica en el número de filas y columnas de píxeles que contiene una imagen, m columnas y n filas tiene una resolución de $m \times n$, es decir m píxeles a lo largo del eje horizontal y n píxeles a lo largo del eje vertical, por ejemplo 510×705 píxeles, la resolución de impresión es un concepto muy importante que indica el número de píxeles que hay en una pulgada –ppp–, o en un centímetro –ppcm– (Una pulgada equivale a 2,53 centímetros: $1'' \approx 2,53$ cm), ver figura 2.17.

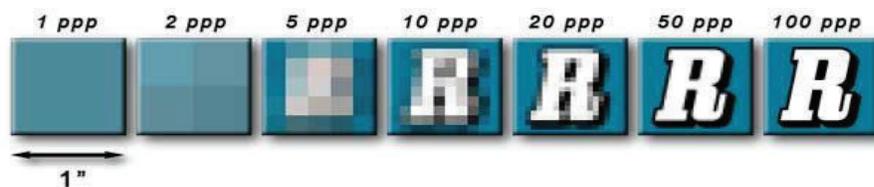


Figura 2.17 Escala de resolución de imágenes

Fuente: Aprende TIC

2.3.2 NÚMERO DE PLANOS

El número de planos en una imagen es el número de matrices de los píxeles que componen la imagen. Una imagen a escala de grises o color se compone de un solo plano, una imagen de color tiene tres planos: uno para el componente rojo, el segundo para el azul, y otro para el verde, es así que una imagen en color es la combinación de los tres arreglos de píxeles correspondientes a los colores rojo, verde y azul en una imagen RGB.

2.3.3 TIPOS DE IMÁGENES DIGITALES

Imagen Binaria: Este tipo de imagen está compuesta por píxeles que pueden tener dos valores, 0 ó 255 para el caso de una definición de 8 bits.

Las imágenes binarias se utilizan para la aplicación de técnicas de detección de bordes, medición de áreas o distancias.

Imagen de Escala de Grises : Está compuesta por un solo plano de píxeles donde cada pixel es codificado usando uno de los siguientes números:

- Un número entero sin signo de 8 bits representando valores de escala de grises entre 0 y 255.
- Un número entero con signo de 16 bits representando valores entre 32,768 y +32,767.
- Un número de punto flotante de 4 bytes representando valores desde $-\infty$ hasta $+\infty$.

Imagen a Color: Una imagen a color puede ser codificada de dos formas, RGB (Red, Green, Blue) o HSL (Hue, Saturation, Luminance). En general, las imágenes a color están compuestas por cuatro planos; uno para el valor R o H, otro para el valor G o S, otro para el valor B o L y un último plano llamado alfa que contiene información sobre la transparencia de cada pixel. La información del plano alfa es usada cuando se combinan múltiples imágenes para elaborar composiciones gráficas y efectos visuales en mapas.

Imagen compleja: Una imagen compleja contiene información de la frecuencia

de una imagen en escala de grises; dicha información se obtiene aplicando una FFT (Fast Fourier Transform) a la imagen. Luego de transformada la imagen, se le pueden aplicar operaciones en el dominio de la frecuencia.

Hay dos tipos de imágenes digitales según Gonzales, (2015):

- Imágenes vectoriales
- Imágenes de mapa de bits

Las imágenes vectoriales están compuestas por objetos geométricos como líneas, curvas, polígonos,..., definidos por vectores que determinan sus características como forma, color, posición. Las imágenes de mapa de bits están formadas por una serie de píxeles, como se ve en la figura 2.18.



Figura 2.18 Representación de imágenes

Fuente: Aprende TIC

Las imágenes vectoriales se crean con programas de diseño o dibujo vectorial (Adobe Illustrator, Corel Draw, Inkscape...) y suelen usarse en dibujos, rótulos, logotipos... Su principal ventaja es que una imagen puede ampliarse sin sufrir el efecto de “pixelado” como se muestra en el siguiente ejemplo de la figura 2.19.



Figura 2.19 Ejemplo de aumento de tamaño en una imagen

Fuente: Aprende TIC

2.3.4 FORMATOS DE IMAGEN DE MAPA DE BITS

Algunos formatos de mapa de bits son los siguientes:

- BMP. Formato introducido por Microsof.
- GIF. Formato con el fin de conseguir archivos de tamaño muy pequeños.
- JPEG. Formatos más usados para fotografías digitales ya que admite millones de colores. (véase figura 2.20).



Figura 2.20 Ejemplo de imagen JPEG preparada para web

Fuente: Aprende TIC

- PNG. Formato creado con el fin de sustituir a GIF.
- TIFF. Formato utilizado para el escaneado, la edición e impresión de imágenes fotográficas. Es compatible con casi todos los sistemas operativos y editores de imágenes.

2.3.5 TAMAÑO

Las dimensiones de una fotografía, dependen del uso o el tamaño del monitor:

- Monitores de 14" y 15": 800 x 600 píxeles
- Monitores de 17": 800 x 600 ó 1024 x 768 píxeles
- Monitores de 21": a partir de 1024 x 768 píxeles

A continuación los tamaños fotográfico más usuales para copias en papel (tamaño en píxeles indicados para una resolución de salida 72 ppp), del ejemplo de la figura 2.21.

- 283x392 píxeles (10x13 cm)
- 340x470 píxeles (12x16 cm)
- 369x510 píxeles (13x18 cm)
- 425x588 píxeles (15x20 cm)
- 510x705 píxeles (18x24 cm)



Figura 2.21 Tres tamaños de imagen diferentes

Fuente: Aprende TIC

El tamaño de las imágenes indica sus dimensiones en píxeles.

2.4 ANÁLISIS DE LA IMAGEN

2.4.1 HISTOGRAMA

El histograma es una herramienta fundamental de análisis que describe la distribución de la intensidad de los píxeles en la imagen y permite determinar cuántos píxeles existen para cada valor de la escala de grises, con esto se puede saber si la imagen es óptima desde el punto de vista de exposición y contraste para un análisis exitoso.

Se define el histograma figura 2.22 como la función definida en el rango

$|0, \dots, k, \dots, 255|$, tal que el número de pixeles iguales al valor de escala de grises igual a:

$$H(k) - n_k$$

Donde k es el valor de escala de grises y n_k es el número de pixeles en la imagen con un valor de escala de grises igual a k , representado en la figura 2.23.

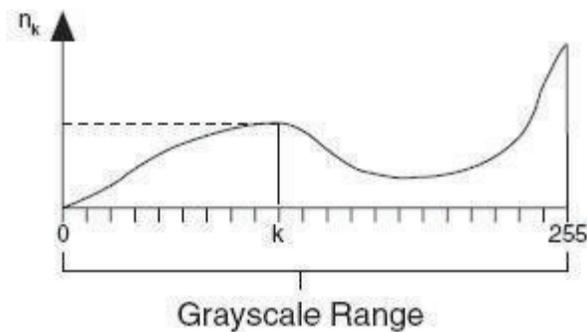


Figura 2.22 Histograma

Fuente: Procimagen.com

La escala del eje vertical de histograma puede ser lineal o logarítmica (Figura 2.23); en la segunda se visualizan mejor los valores de escala de grises usados por pocos pixeles:

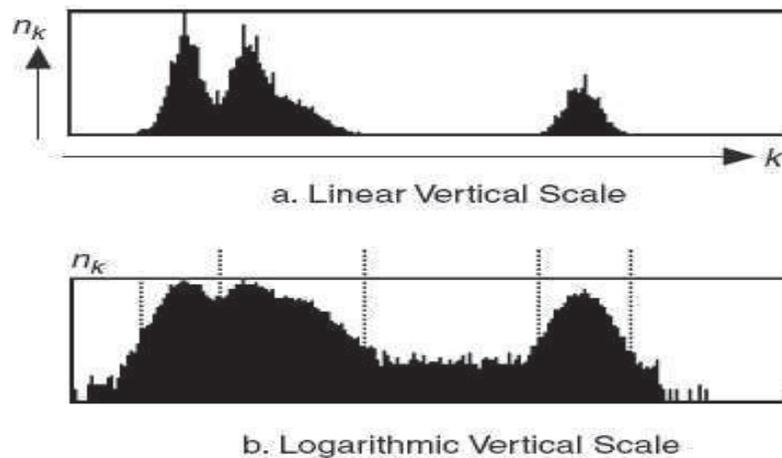


Figura 2.23 Representación lineal y logarítmica

Fuente: Procimagen.com

2.4.2 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

LUT :Las LUT (Lookup Table Transformations), son funciones básicas de procesamiento de imágenes que resaltan detalles en áreas que contienen información importante sacrificando otras áreas.

Las LUT se usan para mejorar el contraste o el brillo modificando la intensidad dinámica de regiones con pobre contraste. Para el caso de una imagen de resolución de 8-bit, una LUT es una tabla de 256 elementos donde cada elemento de ésta representa un pixel y el valor de cada elemento indica el valor del pixel después de la transformación.

FILTROS.

Según Bellera & Medina, (2015) los filtros espaciales cambian el valor del pixel respetando las variaciones de intensidad luminosa en sus alrededores. Los filtros espaciales pueden ser sensibles a la presencia o ausencia de variaciones en la intensidad luminosa. Estos filtros se usan con diferentes fines, tales como detección de aristas en una dirección específica, resaltar patrones, deducir ruido y suavizar detalles.

Si se toma $P(i,j)$ como el valor de la intensidad de un pixel con coordenadas (i,j) , sus alrededores (de dimensión 3×3) pueden ser representados de la siguiente forma:

$P(i-1,j-1)$	$P(i,j-1)$	$P(i+1,j-1)$
$P(i-1,j)$	$P(i,j)$	$P(i+1,j)$
$P(i-1,j+1)$	$P(i,j+1)$	$P(i+1,j+1)$

Y de forma similar el kernel se define como sigue:

$K(i-1,j-1)$	$K(i,j-1)$	$K(i+1,j-1)$
$K(i-1,j)$	$K(i,j)$	$K(i+1,j)$
$K(i-1,j+1)$	$K(i,j+1)$	$K(i+1,j+1)$

2.5 TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN

La iluminación de la escena al momento de la adquisición, es de gran importancia para la obtención de imágenes con características especiales que permitan un mejor tratamiento y resultados más precisos. Una imagen con buen contraste, es decir que las regiones de interés se diferencien de las otras, es ideal para casi todas las aplicaciones de visión artificial. Existen varios tipos de iluminación que dependen explícitamente de la aplicación a desarrollar y resaltan diferentes aspectos de las piezas a analizar.

2.5.1 ILUMINACIÓN POSTERIOR

Esta técnica se basa en ubicar el objeto entre la fuente de iluminación y la cámara véase figura 2.24, este tipo de iluminación permite delinear el contorno de la pieza para su fácil dimensionamiento. Brinda un alto contraste entre la pieza y el fondo. Es fácil de implementar y de bajo costo.

Aplicaciones: indicada para resaltar incrustaciones y códigos alfanuméricos con poco contraste en metal sobre metal o gris sobre gris. Muy utilizada en la verificación de grabados tipo láser o troquel. Ventajas: destaca los detalles en superficies con muy poco contraste. Inconvenientes: no es recomendable en superficies que absorban la luz.

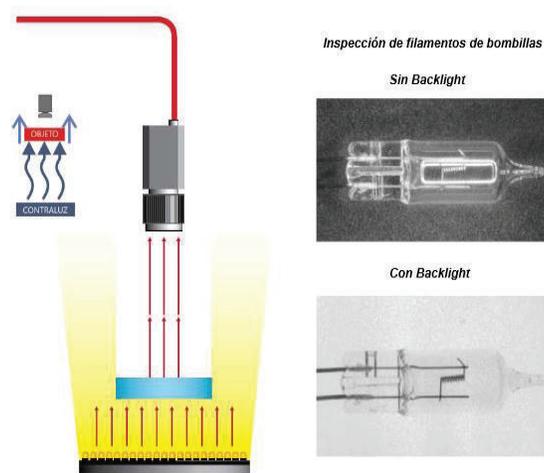


Figura 2.24 Iluminación Posterior

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.5.2 ILUMINACIÓN FRONTAL

Es la técnica que consiste en posicionar la cámara y la fuente de luz en la misma dirección de tal forma que la cámara reciba la luz reflejada por el objeto (Figura 2.25). Esta técnica es útil para inspeccionar superficies con pocos reflejos como el papel, la tela entre otros.

Aplicaciones: Indicada para superficies con pocos reflejos: papel, tela... para la detección de marcas de diferentes colores, caracteres y detección de todo lo que suponga un cambio de color en prácticamente cualquier superficie.

Ventajas: Elimina sombras, se puede utilizar a grandes distancias cámara/objeto.

Inconvenientes: Intensos reflejos sobre superficies reflectantes

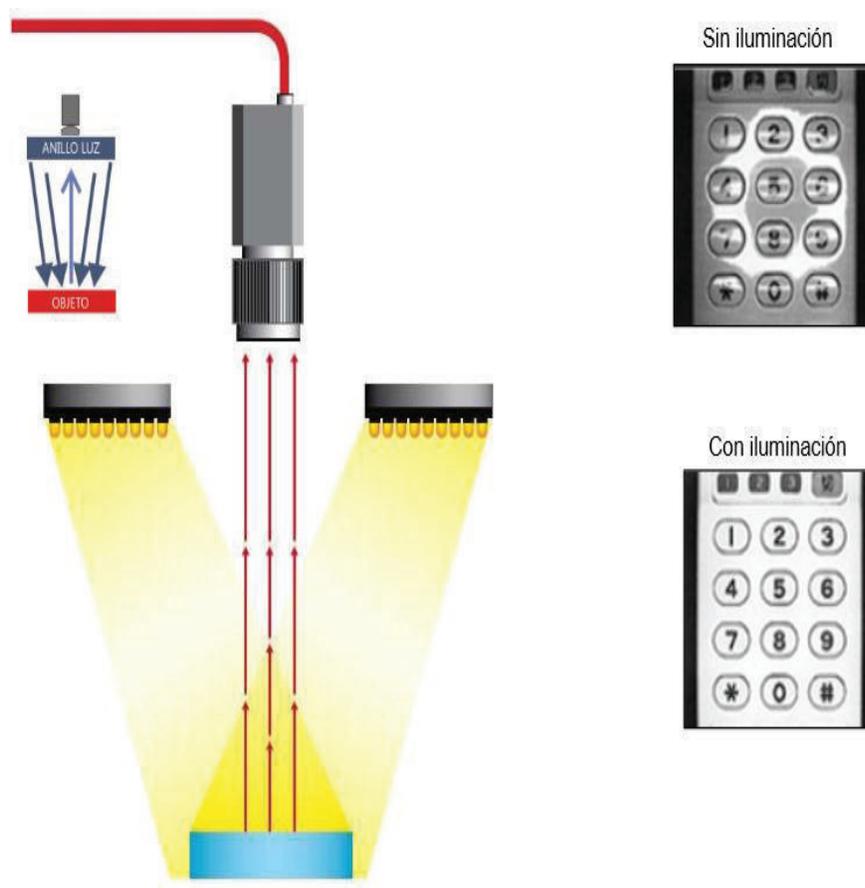


Figura 2.25 Iluminación frontal

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.5.3 ILUMINACIÓN LATERAL

Es utilizada para resaltar ciertos detalles laterales o para mostrar aspectos de la estructura superficial del objeto que solo son visibles orientando la luz de forma lateral a la posición de la cámara véase Figura 2.26; con el inconveniente de que se pueden formar sombras indeseadas.

Aplicaciones: Indicada para resaltar bordes, rayas y fisuras en una dirección determinada.

Ventajas: Resalta los relieves por pequeños que sean de los objetos, resultando una sombra muy definida.

Inconvenientes: Con ángulos pequeños respecto a la horizontal, la luz producirá sombras en todos los relieves y en el contorno de la pieza.

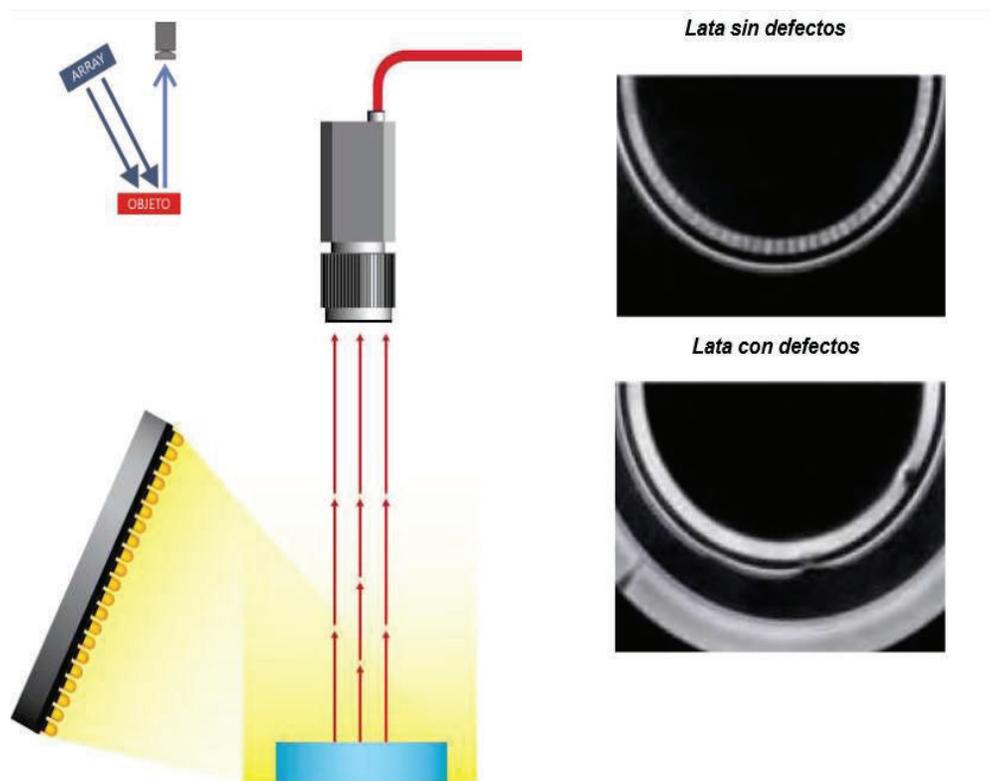


Figura 2.26 Iluminación lateral

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.5.4 ILUMINACIÓN POR CAMPO OSCURO

Esta técnica se utiliza para visualizar y analizar caracteres o códigos de barras grabados en la superficie del material; también se usa para detectar defectos superficiales. Este tipo de iluminación se logra con el uso de anillos especiales que emiten haces de luz perpendiculares al eje de la cámara Figura 2.27.

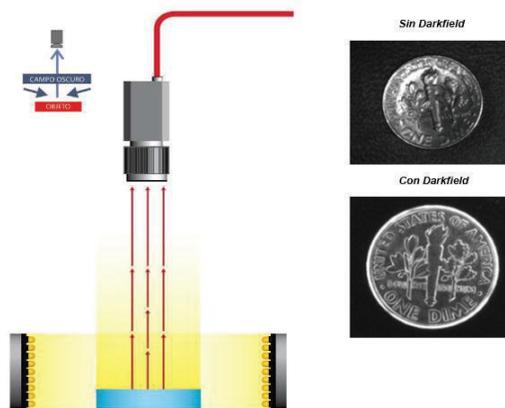


Figura 2.27 Iluminación por campo oscuro

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.5.5 ILUMINACIÓN COAXIAL

Este tipo de iluminación se usa para observar objetos reflectantes, ya que contiene un espejo semitransparente que desvía los haces en el mismo eje de la cámara generando una luz difusa homogénea que crea contraste entre las superficies reflectantes y las opacas. Este tipo de iluminación tiene el inconveniente de ser difícil de implementar y de alto coste, ver figura 2.28.

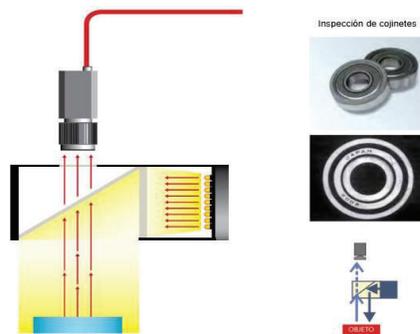


Figura 2.28 Iluminación coaxial

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.5.6 ILUMINACIÓN DIFUSA CONTINUA

También llamada Iluminación de Día Nublado, esta técnica es utilizada para materiales extremadamente reflectantes y tiene la ventaja de no generar ningún tipo de sombra. La Iluminación Difusa Continua une la iluminación reflectante en una cúpula esférica e Iluminación Coaxial en la parte superior Figura 2.29.

Aplicaciones: indicada para la inspección de superficies tales como instrumental médico, espejos, compact disk, latas, etc.

Ventajas: eliminación de sombras y minimizador de arrugas, polvo y relieves.

Inconvenientes: coste elevado.

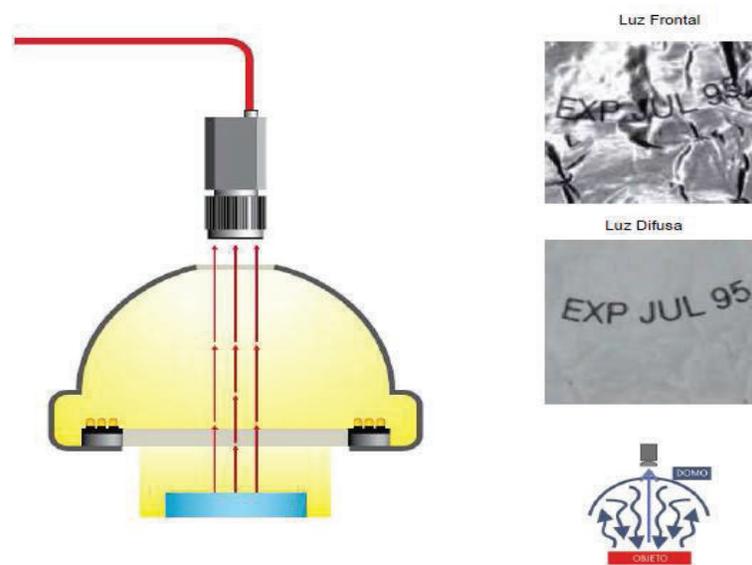


Figura 2.29 Iluminación Difusa continua

Fuente: Visión Artificial Unión Europea

2.6 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE LabVIEW

Creado por National Instruments, LabVIEW es una herramienta de programación gráfica que inicialmente fue concebida para realizar tareas de control a instrumentos de medición pero que actualmente es utilizada para fines tan diversos como automatización industrial, diseño, adquisición de datos, visión artificial, entre otros.

Según Roncancio, (2001) una de las ventajas del LabVIEW, es que puede ser usado tanto por programadores expertos, como por personas con pocos conocimientos en el tema ya que los programas, por estar “dibujados” y no escritos en líneas de código, se pueden comprender fácilmente. Los programas realizados en LabVIEW se denominan instrumentos virtuales “VIs”, sin embargo, poseen analogías con funciones provenientes de lenguaje de programación tradicionales.

Los VIs están conformados por dos interfaces: el panel frontal y el diagrama de bloques. El panel frontal es la interfaz con el usuario, ya que se pueden ingresar datos y visualizar resultados. En el diagrama de bloques se encuentra todo el código fuente del VI.

2.6.1 NI IMAQ

NI IMAQ es un paquete de funciones que controla el hardware de adquisición de imágenes y además contiene métodos para ejecutar tareas, que van desde la inicialización del hardware, adquisiciones simples y secuenciales, hasta adquisiciones avanzadas a alta velocidad.

2.6.2 IMAQ VISION

Es una librería de VIs que se puede usar para crear aplicaciones de visión artificial, ya que contiene funciones específicas para la implementación de un sistema de visión.

Dichas funciones son

- **Utilidades de Visión:** Permiten crear imágenes, cambiarles el tamaño, calibrarlas, manipular píxeles, mostrarlas en pantalla, guardarlas en archivos y en diferentes formatos.
- **Procesamiento de Imágenes:** Permiten aplicar a las imágenes técnicas de análisis y procesamiento como el histograma, los filtros, el thresholding y el análisis de partículas.
- **Visión por Máquina:** Estas funciones realizan tareas como conteo de objetos, detección de aristas, comparación de patrones, medición de

distancias y ángulos.

2.6.3 VISION ASSISTANT

Como su nombre lo dice es un asistente que permite realizar la estrategia de la aplicación sin ningún tipo de programación; ya que genera automáticamente el código en LabVIEW. Sin embargo luego de ejecutar el asistente, se le deben agregar al código algunos elementos adicionales para mejorar el desempeño de la aplicación. El asistente tiene acceso a todas las librerías, ya sean del LabVIEW, del NI IMAQ o de IMAQ Vision; por lo que simplifica la fase inicial de la elaboración de la aplicación. Además, el asistente facilita enormemente el proceso de calibración de las imágenes.

2.7 RED NEURONAL ARTIFICIAL

Las redes de neuronas artificiales (denominadas habitualmente como RNA o en inglés como: "ANN"¹) son parte de la Inteligencia Artificial, emulando el funcionamiento del cerebro humano, trata de crear modelos artificiales que solucionen problemas difíciles de resolver mediante técnicas algorítmicas convencionales. En la figura 2.30 se representan los elementos de un red neuronal.

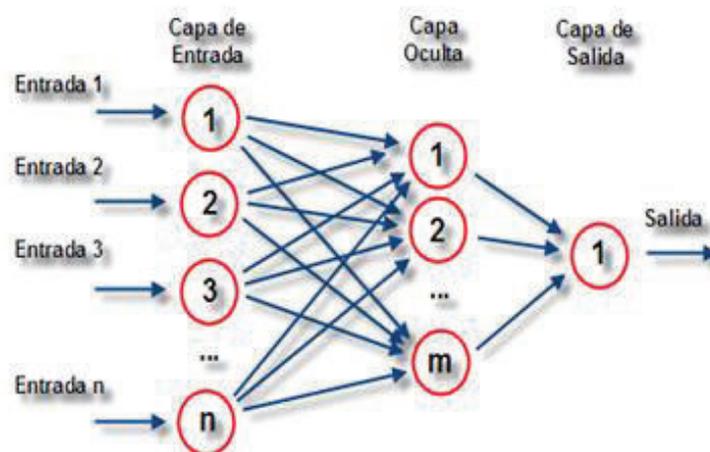


Figura 2.30 Ejemplo de una red neuronal

Fuente: Wikipedida: Redes neuronales

2.7.1 PROPIEDADES DE UNA RED NEURONAL

Una red neuronal se compone de elementos denominados neuronas. Cada neurona recibe una serie de pulsos a través de interconexiones llamadas sinapsis, la salida tiene tres funciones importantes tales como:

- Función de propagación o función de excitación, consiste en el sumatorio de cada entrada multiplicada por el peso de su interconexión (valor neto). Si el peso es positivo, la conexión se denomina excitatoria; si es negativo, se denomina inhibitoria.
- Función de activación, que modifica a la anterior. Puede no existir, siendo en este caso la salida la misma función de propagación.
- Función de transferencia, aplica al valor devuelto por la función de activación. Se utiliza para acotar la salida de la neurona.

2.7.2 ARQUITECTURA DE UNA RED NEURONAL

La arquitectura de una RNA es la estructura de conexiones de la red. En general, las neuronas suelen agruparse en unidades estructurales llamadas capas. Dentro de una capa, las neuronas suelen ser del mismo tipo. Se pueden distinguir tres tipos de capas:

- De entrada: reciben datos o señales procedentes del entorno.
- De salida: proporcionan la respuesta de la red a los estímulos de la entrada.
- Ocultas: no reciben ni suministran información al entorno (procesamiento interno de la red).

Las conexiones se realizan entre neuronas de distintas capas y también hay conexiones intracapa o laterales, conexiones de realimentación que siguen un sentido contrario al de entrada-salida, como se observa en la figura 2.30.

2.7.3 VENTAJAS

Las redes neuronales artificiales (RNA) tienen varias ventajas, entre ellas:

- Aprendizaje: Las RNA tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama etapa de aprendizaje, donde se recibe datos como entrada y se indica cuál es la salida (respuesta) esperada.
- Auto organización: Una RNA crea su propia representación de la información en su interior.
- Tolerancia a fallos: Una RNA almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir respondiendo de forma aceptable aun si se daña parcialmente.
- Flexibilidad: Una RNA puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada.
- Tiempo real: La estructura de una RNA es paralela, por lo cual si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.

CAPITULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN

En el mercado existe chapa de madera proveniente de varios países, que sirven para recubrir tableros de diferente longitud. Tales como:

- Medida 1240 x 2460 mm.
- Medida 2140 x 2460 mm.
- Medida 2150 x 2440 mm.
- Medida 1830 x 2440 mm.
- Espesor chapilla 0.5 -1 mm.

Este proyecto puede ser replicado para formatos de tablero a nivel industrial donde se utilice las dimensiones antes detalladas. El objeto de estudio está dirigido a nivel artesanal donde se clasifica la chapa de madera de forma lenta con formatos pequeños.

En este proyecto la chapa de madera es un prototipo que engloba los principales defectos a presentarse en la chapilla, cuyas dimensiones son las siguientes:

Tabla 3.1 Dimensiones de las chapas del prototipo

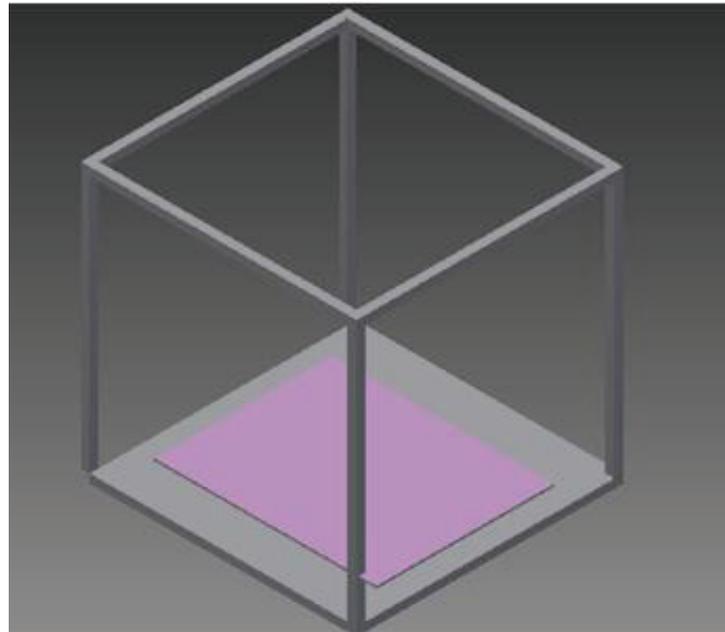
Largo	50cm
Ancho	40cm
Área	0.2 m ²

3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

En función del área de trabajo se ha diseñado una estructura de las siguientes dimensiones, a una altura que el enfoque de la cámara permita adquirir más del 80% de la superficie de la chapa juntada.

Tabla 3.2 Dimensiones de la estructura

Largo	60cm
Ancho	50cm
Altura	60cm

**Figura 3.1 Diseño de la estructura**

La estructura está completamente sellada que impida el ingreso de rayos solares u otra fuente de iluminación que distorsione las imágenes a adquirirse.

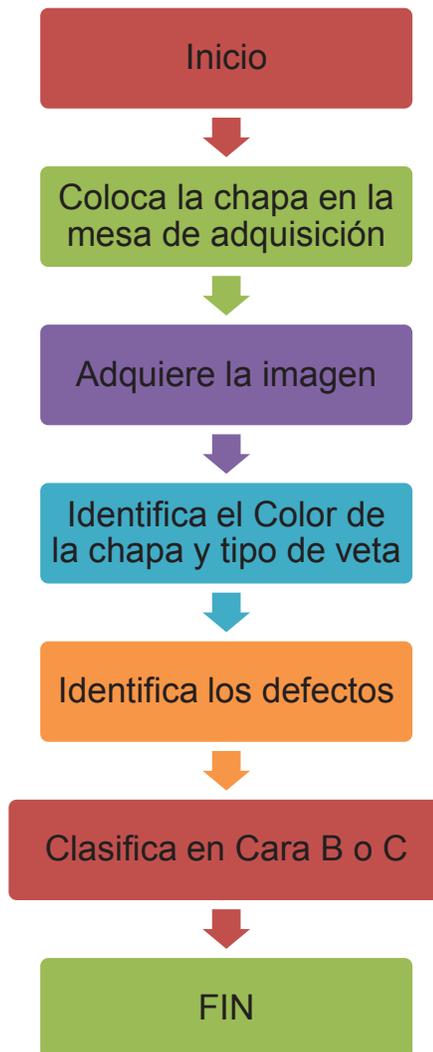
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Mediante la utilización de una cámara fotográfica o web cam, se permitirá reconocer los defectos de la chapa de madera bajo el siguiente esquema. Si la cámara detecta un defecto se desplegará en el software el tipo de defecto y la clasificación de la chapa se B o C, de acuerdo a la norma INEN.

La interfaz desarrollada en LabVIEW permitirá replicar este mismo procedimiento a nivel industrial donde se puede utilizar cámaras en línea dentro de los procesos

productivos ahorrando tiempos e incrementado la productividad, detallada en la figura 3.2.

Figura 3.2 Esquema de trabajo de la interfaz



Fuente: Ana Quezada

3.3 SELECCIÓN DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA

Para la aplicación de ha visto la necesidad de utilizar una cámara fotográfica que brinde una resolución optima y que esté al alcance económico de los artesanos.

En el mercado ecuatoriano existen cámaras sofisticadas, que tiene excelentes resoluciones y nitidez de imagen sin embargo superan el capital humano de los pequeños minoristas, este proyecto recomendará el uso de cámaras sofisticadas para fines industriales.

"Webcam" significa cámara para uso en red. Es un dispositivo que se conecta al puerto USB de la computadora, y así permite captar video y tomar fotos digitales con resolución baja, por lo que no ofrece una gran calidad de gráficos a diferencia de una cámara fotográfica digital, videocámara digital o un teléfono celular moderno.

Tiene una resolución por lo general baja, aproximadamente 640 X 480 píxeles.

- Pueden tomar fotos al instante pero con baja resolución.
- Su diseño es muy específico para aplicaciones de entretenimiento y en algunos casos como cámara de vigilancia.
- Alta resolución CMOS color sensor
- Interface : 2
- Velocidad de transmisión 13 frames/segundo
- Rango dinámico: : ≥ 72 db
- Automática compensación del color
- Resolución 10 Mpx

3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Las condiciones de iluminación son determinantes para detectar el color en la chapa de madera. Por eso se busca una superficie uniforme libre de brillo. EL sistema de Iluminación es frontal. Rodeado de 4 fotos de 100W, con una capacidad de iluminancia de 5400 lumens, que cubren toda el área de la chapa

3.5 SELECCIÓN DE LAS CHAPAS DE MADERA

En el mercado ecuatoriano existe diversidad de chapas de madera de diferentes proveedores, entre ellos CHAPAS SELECTAS, S.L, que es uno de los primeros

proveedores de chapilla en Ecuador. Para este proyecto se ha escogido las siguientes chapas reconocidas por su textura y versatilidad en el acabado y tinte de los tableros recubiertos con chapa como se detalla en la figura 3.3



Figura 3.3 Chapas de madera proveedor selectas

Fuente. Selectas. S.A

3.6 IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y SISTEMA DE ILUMINACION

Con el plano mecánico se procedió al armado de la estructura, utilizando perfiles angulares de lados iguales. Los perfiles son L 20x20x3mm, y 1 plancha de ACERO ASTM A36 de 3mm espesor para el recubrimiento. Se aplicó pintura negra para evitar la filtración de luz.



Figura 3.4 Implementación de la estructura

Elaborado por: Ana Quezada

Como el objeto a clasificarse es chapa de madera se optó por utilizar una iluminación Frontal. Se instalaron 4 focos de 1400lm cada uno con un total de 5600 lumens. La alimentación de voltaje es de 110V AC.



Figura 3.5 Instalación de iluminación

Elaborado por: Ana Quezada

3.7 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Para el proyecto se han diseñado 3 pestañas que contienen la siguiente información.

- **PRESENTACIÓN:** Contiene Información de las chapas de madera a clasificarse en este proyecto.
- **RECONOCIMIENTO:** Permite identificar el tipo de especie de madera, identifica si encuentra un defecto y segrega si es cara B o C, en función de la especie se determina el tipo de veta mallado o rameado.
- **NORMA INEN:** Se presenta la tabla de clasificación de caras B o C, de acuerdo a los defectos detallados en la norma INEN.



Figura 3.6 Pantalla de Inicio del proyecto

Elaborado por: Ana Quezada

3.7.1 MENU RECONOCIMIENTO

En esta ventana la chapa es identificada por especie y por tipo de defecto en las siguientes clases:

Por tipo de chapa.

- Chapas reconstituidas
- Etimoe
- Eukaliptus
- Rose
- Sapelly

Por tipo de defecto

- Rotos – grano cruzado
- Manchas
- Polillas
- Sin defecto.

Por clase

- Chapa B
- Chapa C

Por tipo de veta

- Mallado o Rameado

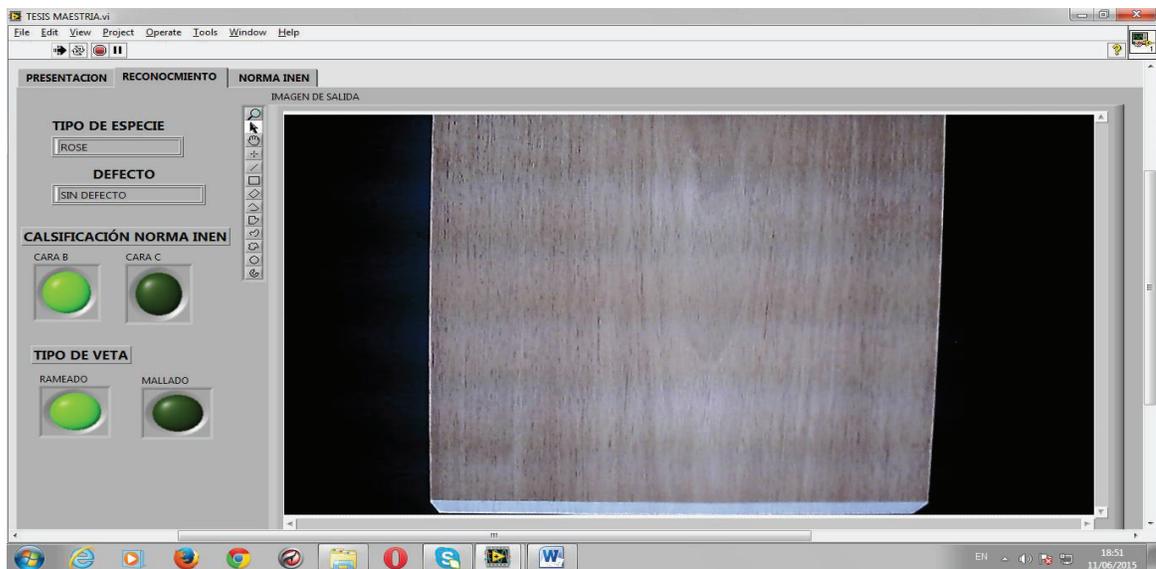


Figura 3.7 Pantalla reconocimiento

Elaborado por: Ana Quezada

Finalmente esta la tercera pestaña donde se encuentra la tabla resumen de los defectos de la chapa de madera, de acuerdo a la norma INEN.

Defecto	Grado		
	A	B	C
Nudos:			
Firmes	Se aceptan	Se aceptan	Se aceptan
Sueltos	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho	Se aceptan 5 de 2 mm de largo x 2 mm de ancho
Rajaduras	No se aceptan	Se aceptan 2 masillados en cada extremo de la chapa de 1.6 mm x 150 mm	Se aceptan 4 en cada extremo de la chapa de 3.2 mm x 203 mm
Bolsas de resina	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Daños por insectos:			
Pasador	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie	Se aceptan 5 hasta de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie
Pollita	No se aceptan	Se aceptan 3 masillados de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie	Se aceptan 5 hasta de 2 mm de largo x 2 mm de ancho distribuidos en toda la superficie
Daños por Hongos:	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Manchas:			
Azules y grises	No se aceptan	No se aceptan	Se acepta en sus extremos hasta un 10 % de su longitud.
Otras manchas:			
Minerales	No se aceptan	Se aceptan el 10% del área de la chapa.	Se acepta el 15% del área de la chapa.
Por luz y procesamiento:			
Putrición	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Grano:			
Afelpado	No se aceptan	Se aceptan hasta un 5 % del área masillados	Se aceptan
Arrancado	No se aceptan	Se aceptan hasta un 5 % del área masillados	Se aceptan
Corrugado	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan
Cintilaciones	No se aceptan	Se aceptan	Se aceptan
Rayas	No se aceptan	Se aceptan hasta 2 por chapa	Se aceptan

Figura 3.8 Interfaz de resumen norma INEN

Elaborado por: Ana Quezada

3.8 IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE ADQUISICIÓN UTILIZANDO LabVIEW

En la implementación del software se encuentran dos partes importantes como son la *adquisición de la imagen* y el *procesamiento de la imagen*, para finalmente emitirse los resultados si la chapa está libre de defectos o tiene defectos.

3.8.1 ADQUISICIÓN DE IMAGEN

En LabVIEW existe la librería NI Vision Acquisition que permite configurar la adquisición de imágenes mediante una cámara para ellos se siguen los siguientes pasos.

- A. Se verifica las cámaras disponibles y se selecciona la cámara cam 4 que corresponde al puerto de la cámara web que se utilizara para la aplicación., se presiona play para iniciar la captura de imágenes, a continuación se presiona siguiente.

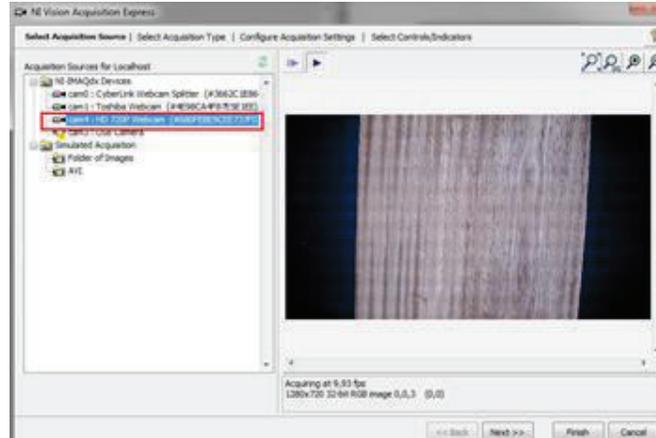


Figura 3.9 Selección de recurso de adquisición

Elaborado por: Ana Quezada

- B. Luego de esto aparece la pantalla de configuración del programa de adquisición donde se presentan 4 opciones de tratamiento, para la clasificación de chapas se requiere la adquisición continua y reconocimiento en línea de defectos, ya que las chapas se colocan una tras de otra en un proceso de producción para optimizar tiempos. Por esta razón se selecciona la OPCION 2 Continuous acquisition with inline process.

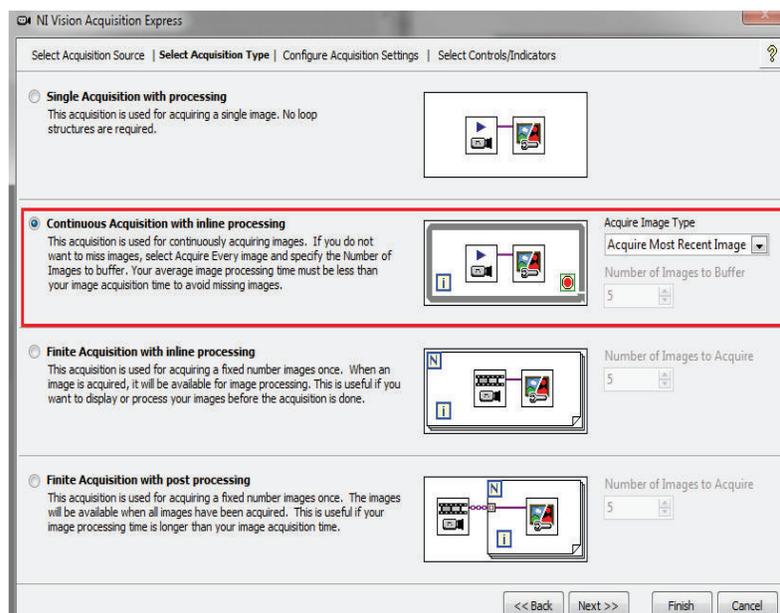


Figura 3.10 Pantalla de selección de tipo de adquisición

Elaborado por: Ana Quezada

- C. A continuación viene la pantalla de configuración de parámetros donde se selecciona la resolución de la imagen para este caso se ha seleccionado 960x544 10.fps, donde se puede captar más del 80% del área de la chapa de madera.

Existen otros parámetros de configuración como contraste, ganancia, brillo, que no son aplicables para este proyecto ya que hay similitud en los colores de las chapas EUKALIPTUS, ROSE, ETIMOE y SAPELLY, que si se configuran dichos parámetros de forma errónea distorsionarían la imagen incrementando el margen de error.

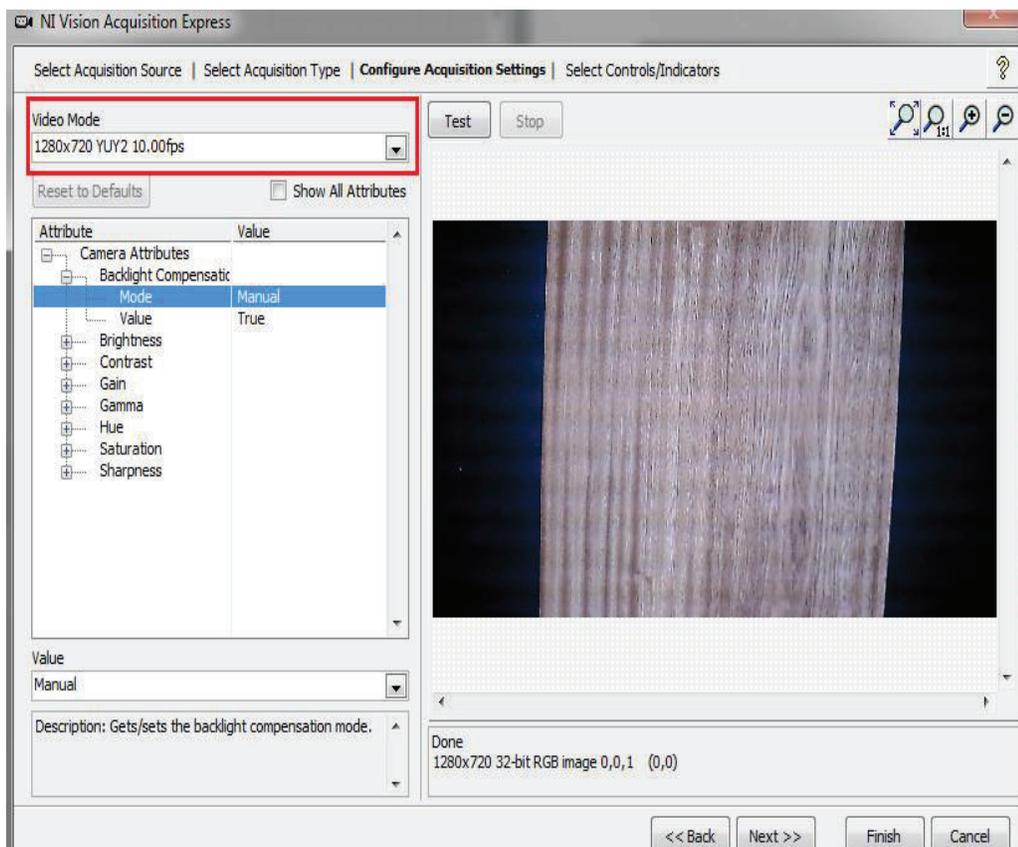


Figura 3.11 Pantalla de configuración de parámetros

Elaborado por: Ana Quezada

- D. En esta pantalla finalmente se selecciona los controles, entre ellos el número de imagen y se presiona finalizar y la cámara ya está configurada.

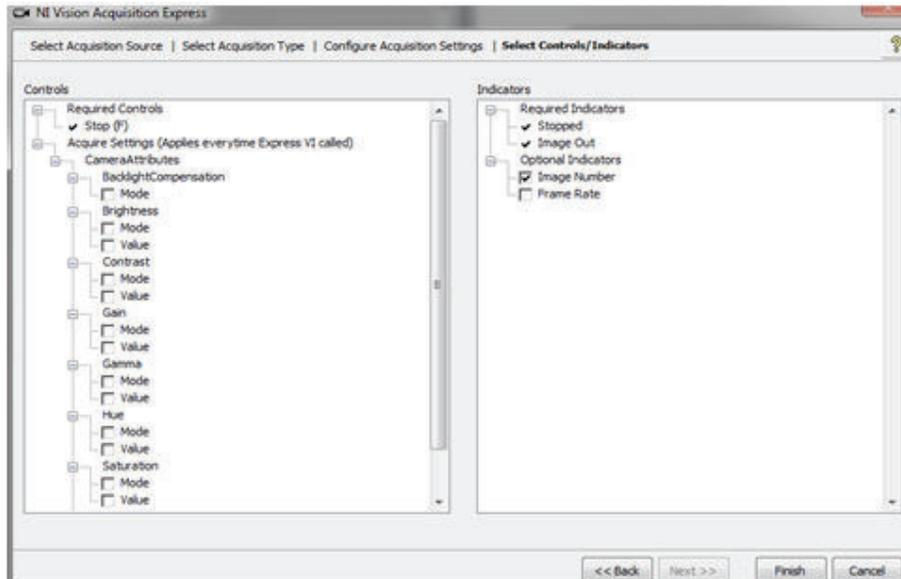


Figura 3.12 Pantalla de selección de controles

Elaborado por: Ana Quezada

3.8.2 ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE COLORES

En LabVIEW una de las herramientas que se utilizarán para el desarrollo de la aplicación es COLOR CLASIFICATION, que proporciona el clasificador con muestras conocidas.

Con esta instrucción se toma un sin números de muestras de enteramiento de un color mediante la segmentación de una región de una imagen. Por cada muestra que se agrega durante la fase de entrenamiento, el clasificador de color calcula una característica de color y le asigna una la etiqueta de clase asociada a la función. Con el tiempo, todas las muestras entrenadas se añaden a un archivo.

Después de entrenar el clasificador, se puede clasificar a las regiones en una imagen en sus correspondientes clases para la identificación de color para aplicaciones de visión artificial. En la fase de clasificación, el motor de clasificación calcula la función del color de la muestra que se desea identificar y los clasifica entre las muestra entrenadas usando uno de los algoritmos de clasificación existentes, este caso es un algoritmo de red neuronal con la función de propagación. Clasificación de los colores NI Vision utiliza los mismos

algoritmos de clasificación como el clasificador de partículas NI incluyendo la Media Distancia mínima, Vecino más cercano.

Para el proyecto se utilizara esta instrucción mediante el NI Vision Assistant, se selecciona un icono **Color Clasification** para identificar especie de chapa y otro **Color Clasification** para el reconocimiento de los defectos de la chapa de madera y tipo de veta. Bajo los siguientes pasos que se detallan a continuación.

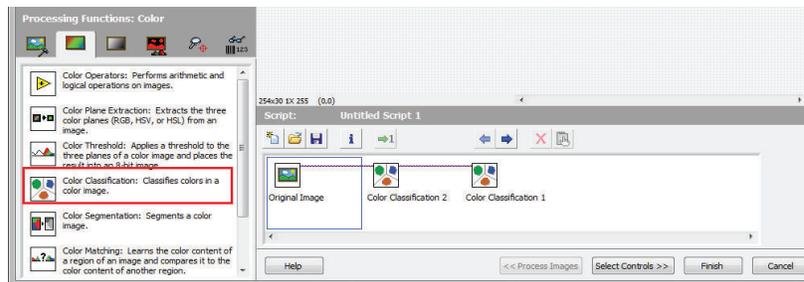


Figura 3.13 Pantalla de acceso de visión asistat.

Elaborado por: Ana Quezada

- A. Al dar doble click aparece la imagen capturada y la pantalla de interfaz de entrenamiento para clasificación de colores

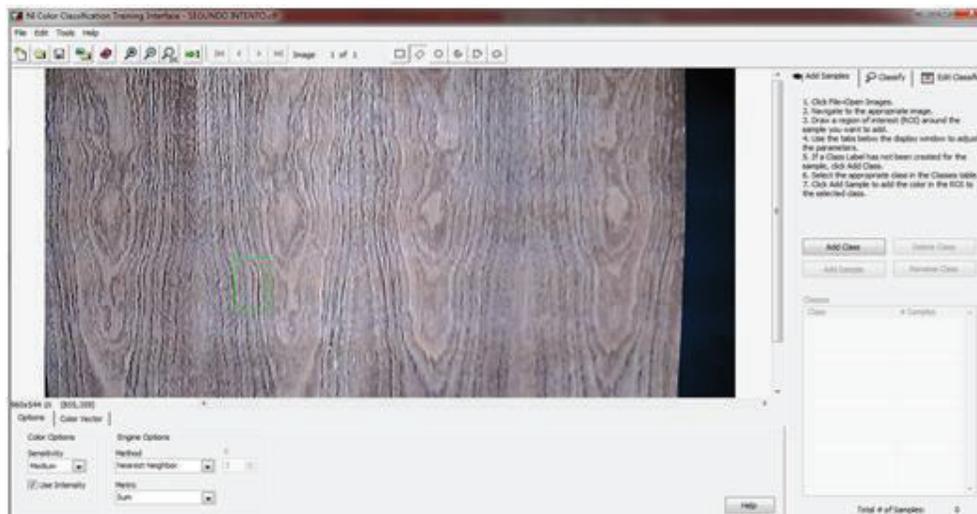


Figura 3.14 Pantalla principal de color clasification

Elaborado por: Ana Quezada

En esta pantalla se configura la sensibilidad de la adquisición, el método de adquisición reconocimiento por mayor cercanía.

- B. Para lo cual se agrega las clases donde se agrupara las muestras de cada color de chapa de madera para el reconocimiento.

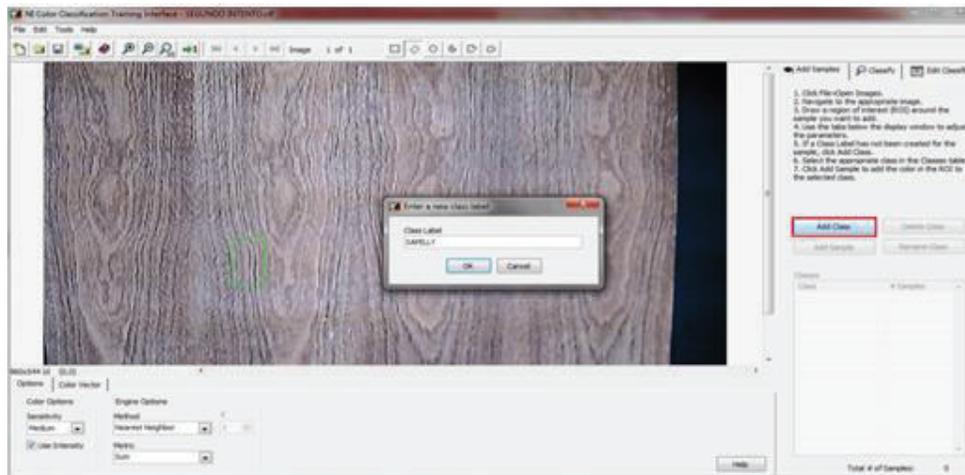


Figura 3.15 Pantalla de creación de clases

Elaborado por: Ana Quezada

- C. Se agrega las imágenes de muestra que están asignadas a la clases y sobre esta se ejecutará el entrenamiento.

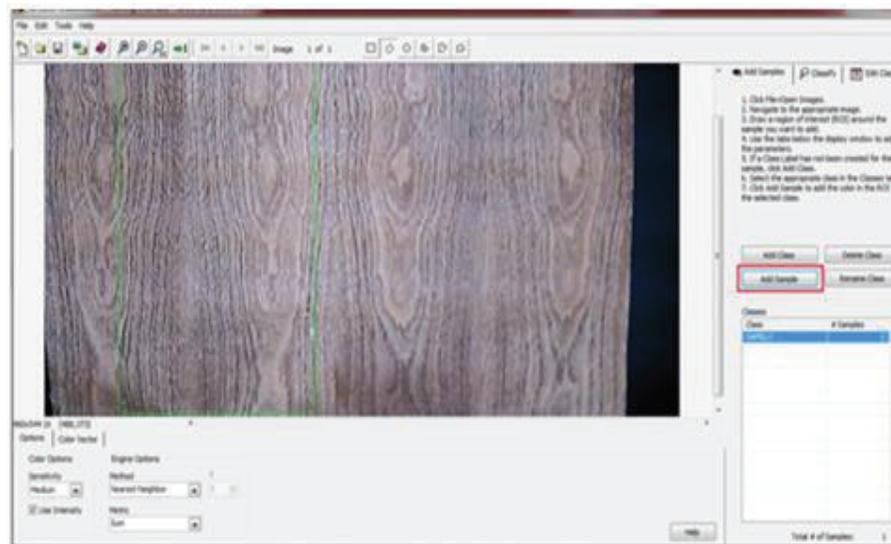


Figura 3.16 Fase de adquisición de muestras

Elaborado por: Ana Quezada

- D. Después de tomar diferentes muestras para una clase de chapa, como en el ejemplo se escoge una región de muestra de la chapa sapelly se pasa al entrenamiento donde el algoritmo matemático verifica la tonalidad

almacenada en la muestra y calcula la aproximación, ubicación del color dentro de la imagen.

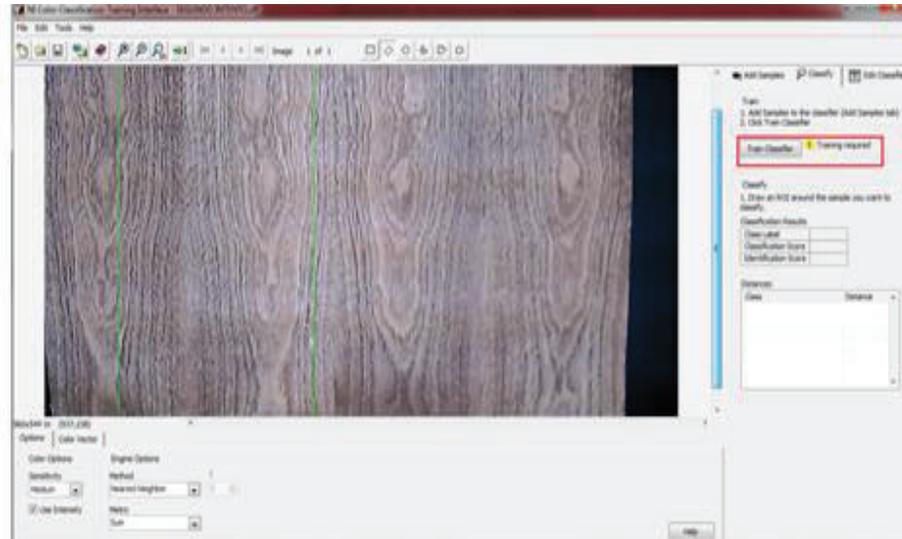


Figura 3.17 Pantalla de entrenamiento

Elaborado por: Ana Quezada

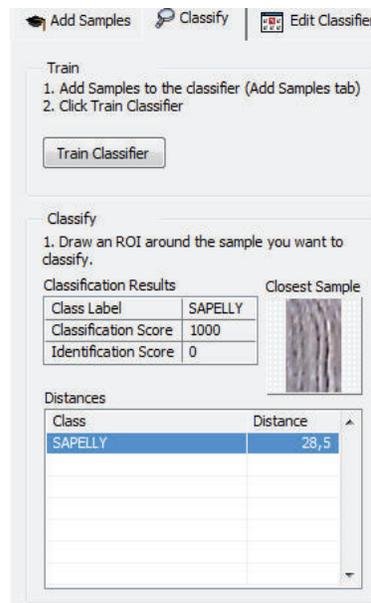


Figura 3.18 Resultados fase de entrenamiento

Elaborado por: Ana Quezada

E. Finalmente aparecen todas las muestras ya grabadas por el entrenamiento.

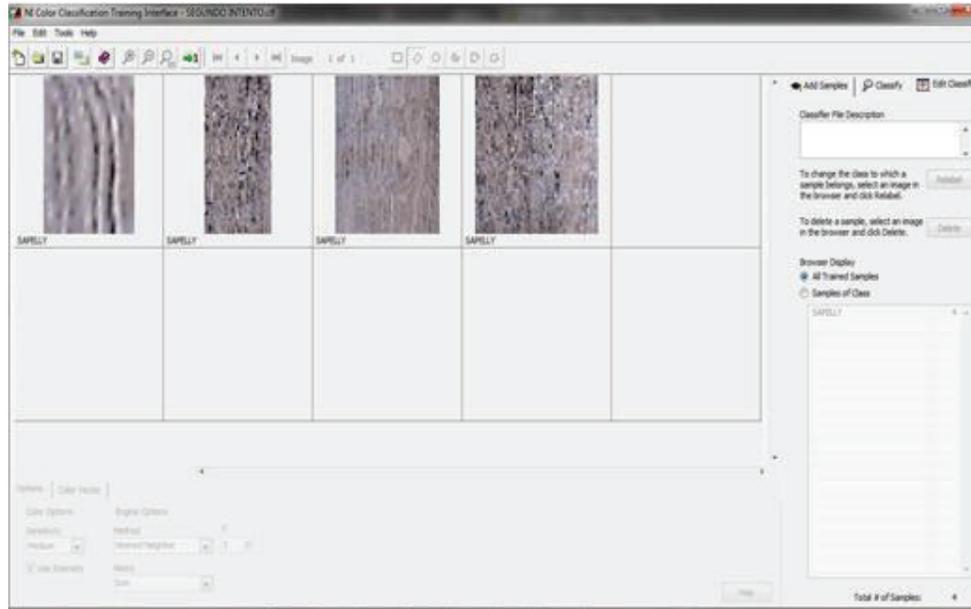


Figura 3.19 Detalle de muestras almacenadas después de entrenamiento

Elaborado por: Ana Quezada

- F. Se crea un archivo donde se guardaran todas las muestras y las clases. En la pantalla siguiente se evidencia la clase y la ubicación del color dentro de la imagen

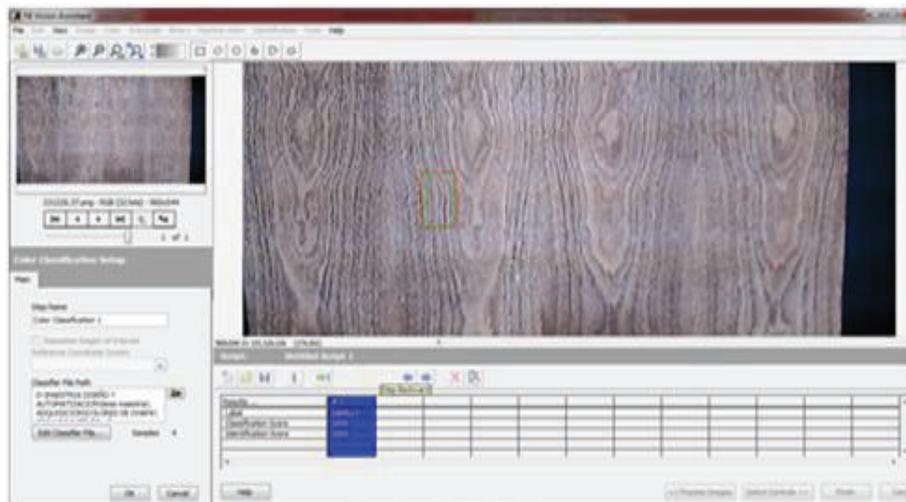


Figura 3.20 Resultado del aprendizaje de la red neuronal y clasificación del color

Elaborado por: Ana Quezada

- G. Se selecciona los controles y se presiona el botón FINALIZAR.

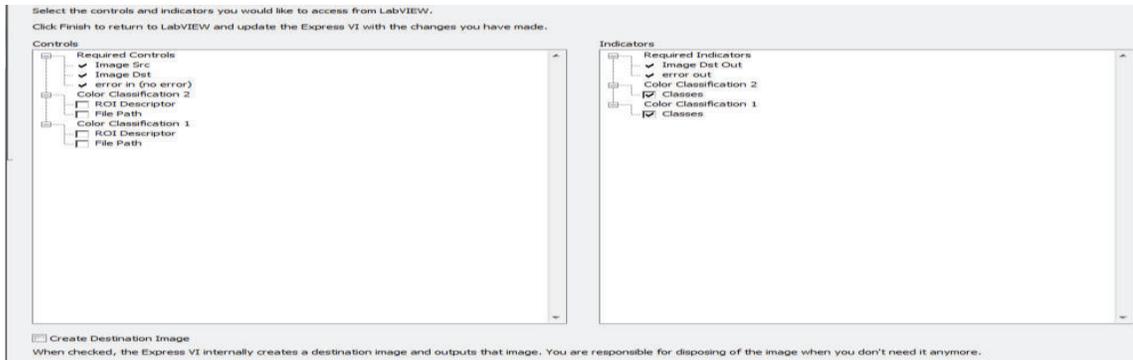


Figura 3.21 Selección de controles de color clasification de LabVIEW

Elaborado por: Ana Quezada

El procedimiento anterior se repite para identificar los colores de las diferentes especies de chapa Rose, etimoe, eukaliptus, y chapas reconstituidas.

3.8.3 ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE DEFECTOS.

Para esta aplicación se utilizara la instrucción color clasification con el entrenamiento mediante la adquisición de imágenes de los diferentes defectos que pueden presentarse en la chapa de madera así como también las chapas libres de defectos.

- A. Se han creado 4 clases como son mancha, polillas, rotos, sin defecto, se ha aplicado el algoritmo de entrenamiento por cada muestra.

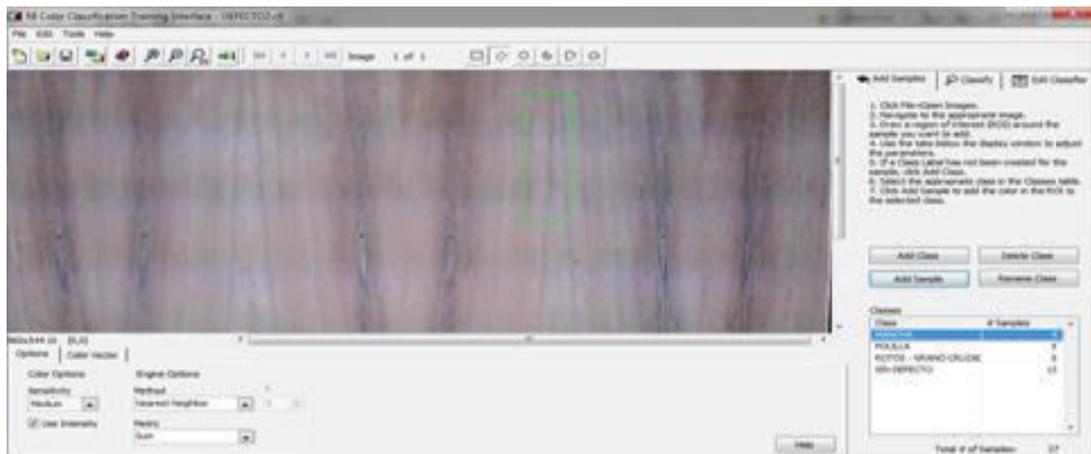


Figura 3.22 Creación de clases para reconocimiento de defectos

Elaborado por: Ana Quezada

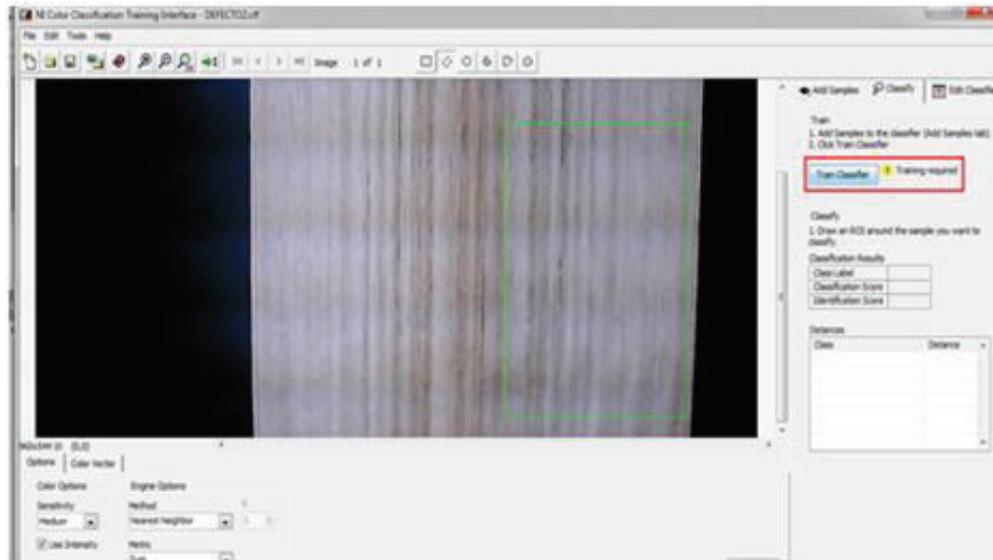


Figura 3.23 Pantalla de entrenamiento de defectos de la chapa de madera
Elaborado por: Ana Quezada

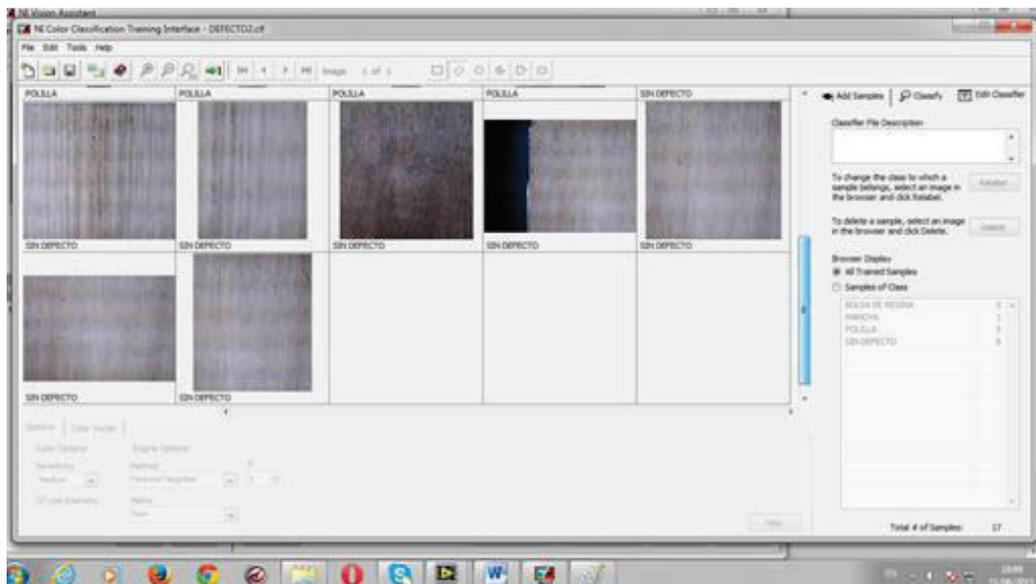


Figura 3.24 Pantalla de imágenes de entrenamiento de defectos

Elaborado por: Ana Quezada

Finalmente una vez creado el entrenamiento de patrones la ventana de la programación se detalla en la figura 3.25. Con esto está disponible el software de programación para los diferentes usuarios que pueden ampliar el panel de clasificación en función de sus necesidades.

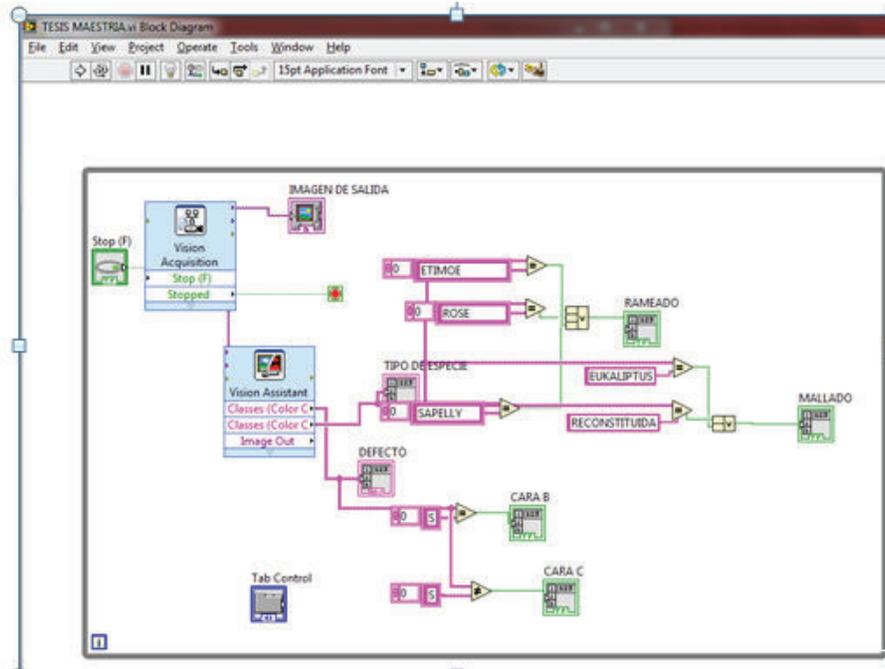


Figura 3.25 Programación

Elaborado por: Ana Quezada

CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA

4.1 VERIFICACIÓN DE ENCENDIDO DE ILUMINACIÓN

Se verifica que el cableado eléctrico este en buen funcionamiento. Los 4 focos estos encendidos, que no haya ingreso de otras fuentes de luz que distorsionen la imagen.



Figura 4.1 Aislamiento de rayo de luz en la estructura

Elaborado por: Ana Quezada

4.2 COMPARACION DE RECONOCIMIENTO DE IMAGENES EN FUNCION DE LA ILUMINACIÓN

Para identificar la influencia de la iluminación en el reconocimiento de especies de madera se realizó una prueba donde se eliminó 1 fuente de luz paulatinamente y se comparó la veracidad en la clasificación de especies que se detallan en la tabla 4.1.

TABLA 4.1 Reconocimiento Especie Vs Iluminación.

PATRÓN	N.-	ESPECIE	4 FOCOS	3 FOCOS	2 FOCOS	1 FOCO
SAPALLY SIN DEFECTOS	1	SAPALLY	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO
ROSE SIN DEFECTOS	2	ROSE	CORRECTO	CORRECTO	SAPALLY	SAPALLY
EUKALIPTUS SIN DEFECTOS	3	EUKALIPTUS	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO
EUKALIPTUS ROTO	4	EUKALIPTUS	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	RECONSTITUIDA
RECONSTITUIDA SIN DEFECTOS	5	RECONSTITUIDA	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO
ETIMOE SIN DEFECTOS	6	ETIMOE	CORRECTO	SAPALLY	SAPALLY	SAPALLY
ROSE POLILLA	7	ROSE	CORRECTO	SAPALLY	ETIMOE	EUKALIPTUS
SAPALLY MANCHA	8	SAPALLY	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	ROSE

De la prueba realizada se verifica que en reconocimiento de especie con 4 fotos son más efectivos que un menor número, ya que el umbral de color confunde al sistema de control por influencia de las sombras.

Tabla 4.2 Resultados Iluminación por especie

ILUMINACIÓN	CORRECTOS
4 FOCOS	8
3FOCOS	6
2 FOCOS	5
1 FOCO	2

Otra prueba realizada es el reconocimiento de defectos y la influencia de la iluminación, los resultados se detallan en la tabla 4.3, para lo cual se utilizó los mismos patrones de adquisición, se intercalo las cantidades de focos.

Se evidencia de la sombra tiende a confundir al sistema de adquisición de las especies y defectos con el patrón de mancha, ya que se torna la imagen más negra, otro elemento de confusión más representativo en la polilla.

Tabla 4.3 Reconocimiento de defectos Vs iluminación

PATRÓN	N.-	ESPECIE	4 FOCOS	3 FOCOS	2 FOCOS	1 FOCO
SAPALLY SIN DEFECTOS	1	SAPALLY	CORRECTO	MANCHA	POLILLA	POLILLA
ROSE SIN DEFECTOS	2	ROSE	CORRECTO	MANCHA	POLILLA	MANCHA
EUKALIPTUS SIN DEFECTOS	3	EUKALIPTUS	CORRECTO	CORRECTO	ROTO	ROTO
EUKALIPTUS ROTO	4	EUKALIPTUS	CORRECTO	MANCHA	MANCHA	MANCHA
RECONSTITUIDA SIN DEFECTOS	5	RECONSTITUIDA	CORRECTO	CORRECTO	CORRECTO	MANCHA
ETIMOE SIN DEFECTOS	6	ETIMOE	CORRECTO	MANCHA	POLILLA	POLILLA
ROSE POLILLA	7	ROSE	CORRECTO	MANCHA	MANCHA	MANCHA
SAPALLY MANCHA	8	SAPALLY	CORRECTO	CORRECTO	POLILLA	POLILLA

Tabla 4.4 Resultados iluminación por defecto

ILUMINACIÓN	CORRECTOS
4 FOCOS	8
3 FOCOS	3
2 FOCOS	1
1 FOCO	0

El sistema se confunde mientras menos iluminación contenga la imagen, de igual forma sucede si se altera el ambiente con mayor iluminación por tanto el entrenamiento y las condiciones de operación del sistema deben asegurar uniformidad. A nivel industrial en procesos productivos de alta rapidez pueden generar alteración de resultados si el sistema no está bien calibrado.

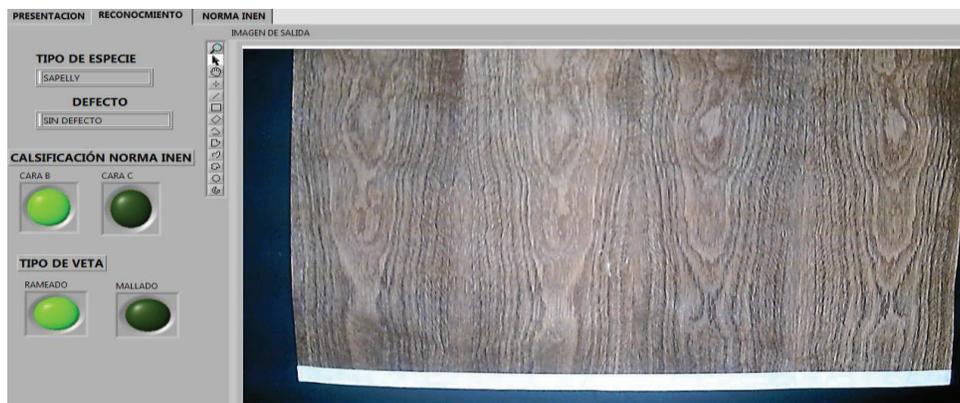


Figura 4.2 Iluminación 4 focos Elaborado: Ana Quezada

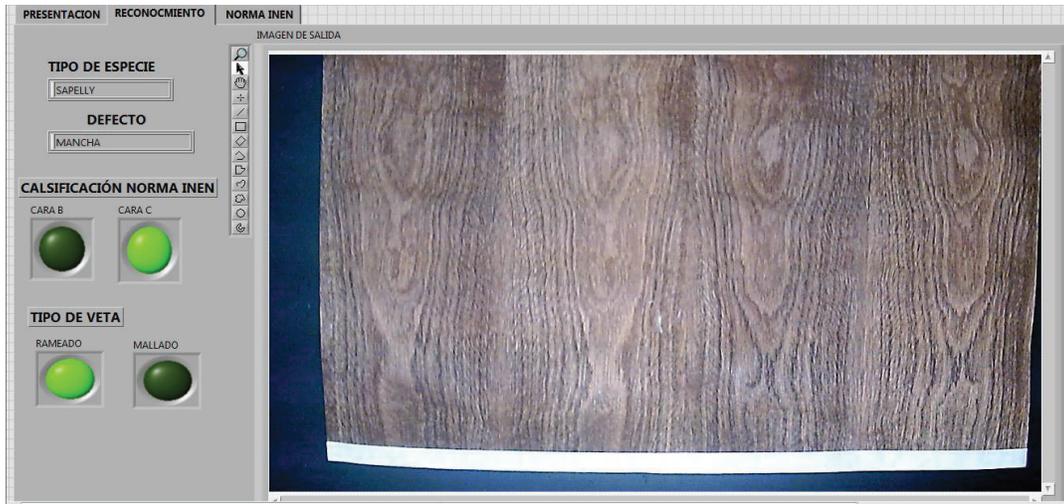


Figura 4.3 Iluminación 3 focos Elaborado: Ana Quezada

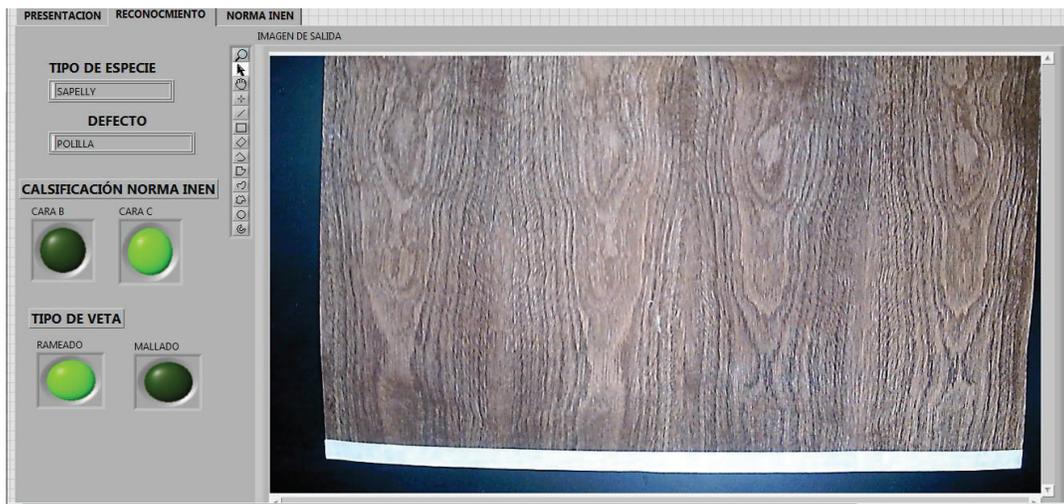


Figura 4.4 Iluminación 2 focos Elaborado: Ana Quezada



Figura 4.5 Iluminación 1 foco Elaborado: Ana Quezada

4.3 PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO CÁMARA

Una vez encendida la aplicación se verifica con el asistente de LAVIEW de visión artificial, que la cámara se encuentre operativa.

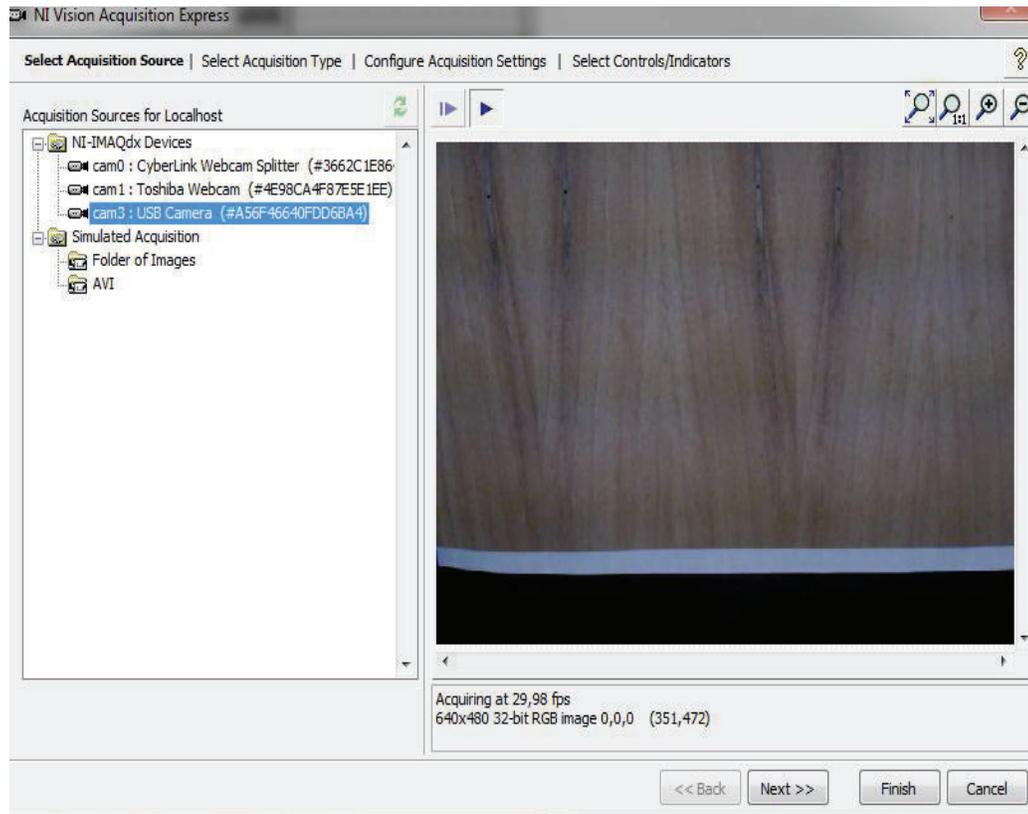


Figura 4.6 Verificación de adquisición de la cámara.

Elaborado por: Ana Quezada

4.4 PRUEBAS DE RECONOCIMIENTO

Una vez configurada la cámara y parámetros de programación se verifica que se esté adquiriendo y reconociendo el tipo de especie, defectos clasifique en cara B o C y reconozca el tipo de veta mallado o rameado, se ejecuta el programa en LabVIEW y se inicializa el programa.

4.4.1 RECONOCIMIENTO DE CARAS B

- Reconocimiento de chapa ROSE sin defectos y clasificación para cara B y tipo de veta rameado.

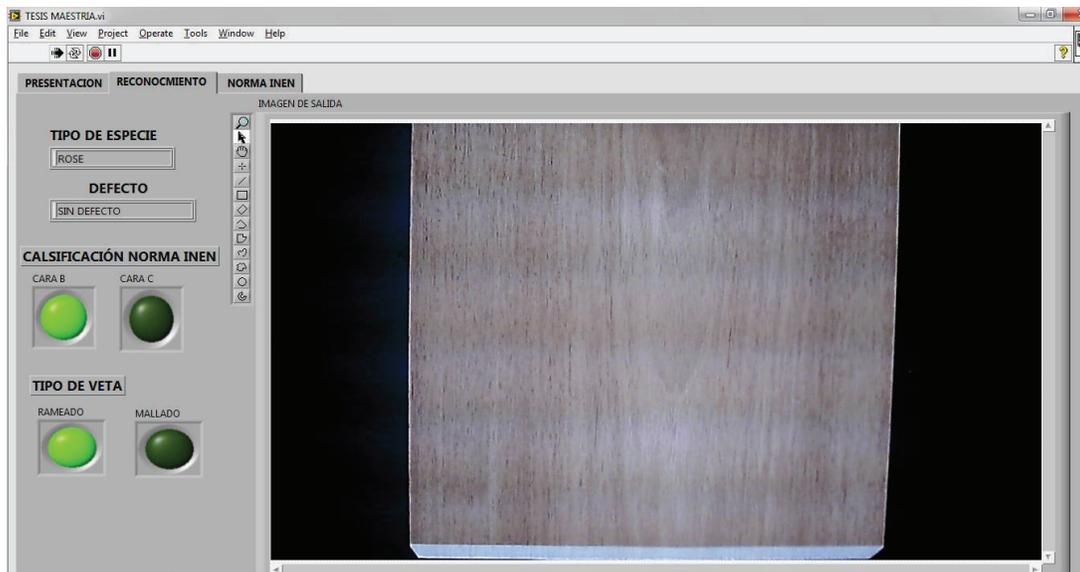


Figura 4.7 Chapa Rose, sin defectos cara B

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de chapa ETIMOE sin defectos y clasificación para cara B y tipo de veta rameado

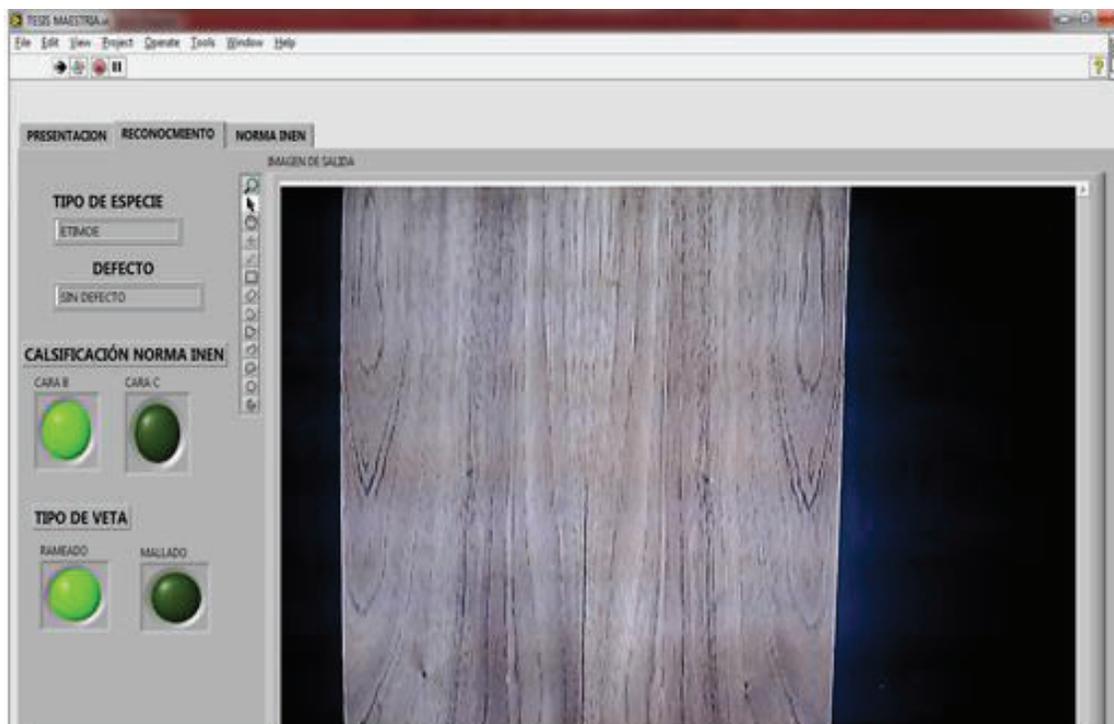


Figura 4.8 Chapa Etimoe sin defectos cara B

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de chapa EUKALIPTUS sin defectos y clasificación para cara B y tipo de veta mallado.

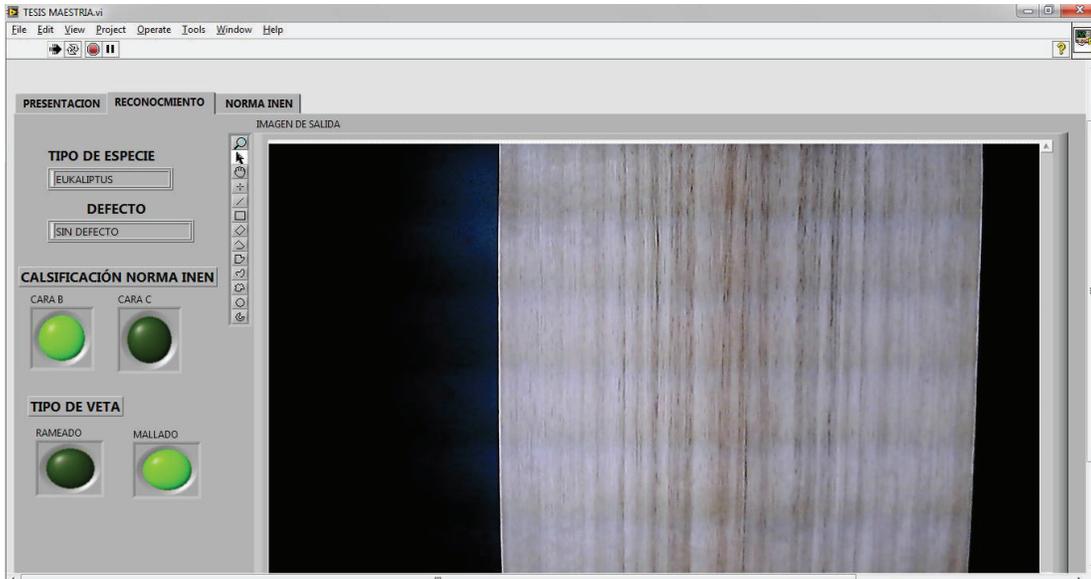


Figura 4.9 Chapa Eukaliptus sin defecto cara B

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de chapa SAPELLY sin defectos y clasificación para cara B y tipo de veta rameado.

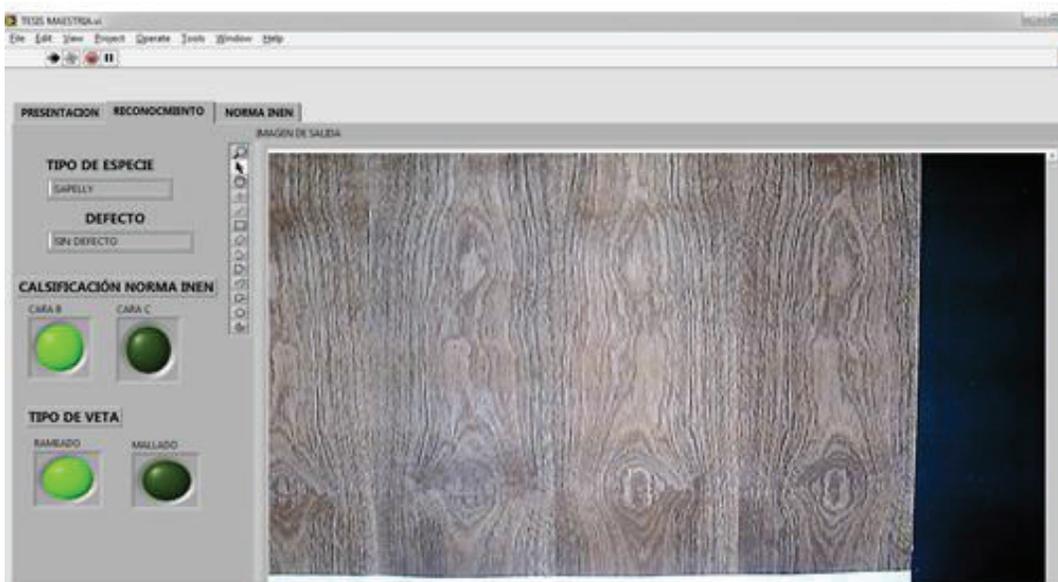


Figura 4.10 Chapa Sapelly sin defectos caras B

Elaborado por: Ana Quezada

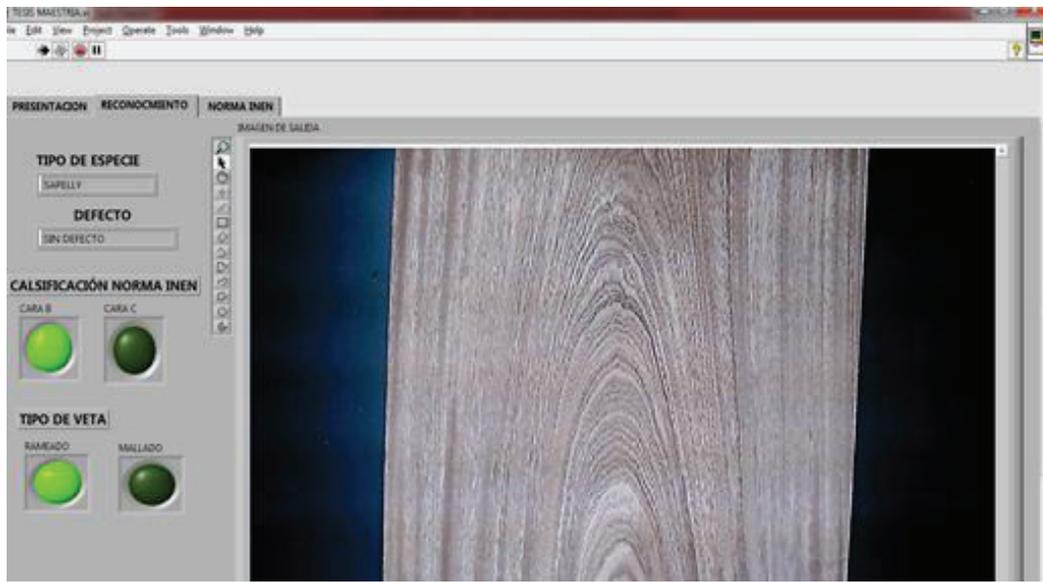


Figura 4.11 Chapa Sapelly sin defectos caras B

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de chapa RECONSTITUIDA sin defectos y clasificación para cara B y tipo de veta MALLADO.

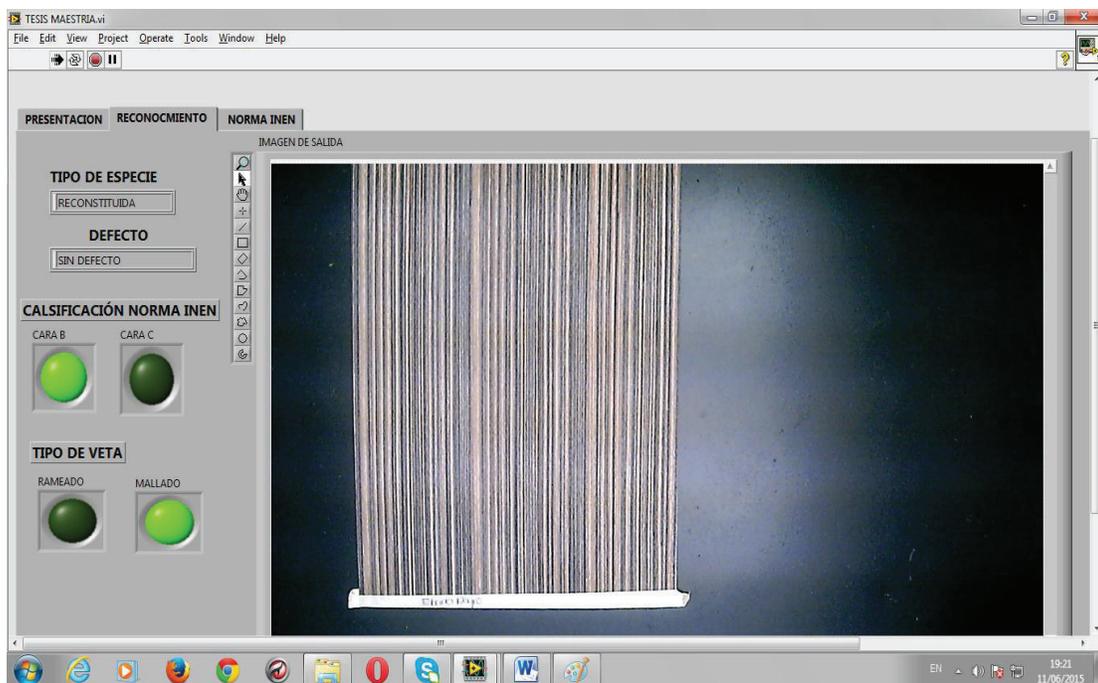


Figura 4.12 Chapa Reconstituida sin defectos caras B

Elaborado por: Ana Quezada

4.4.2 RECONOCIMIENTO DE CARAS C

- Reconocimiento de chapa ROSE con mancha y clasificación para cara C

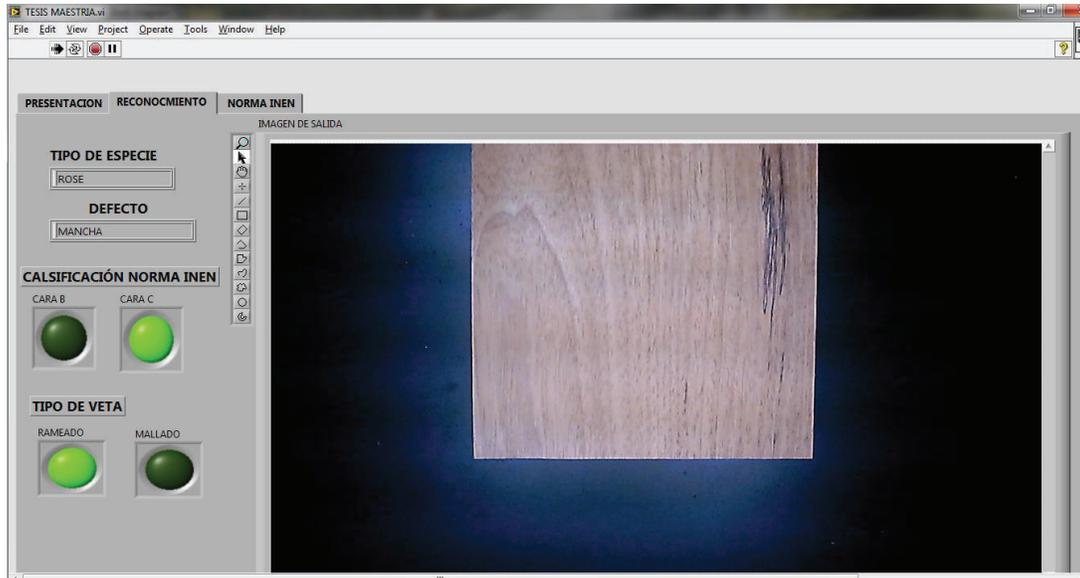


Figura 4.13 Chapa Rose con mancha caras C

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de cara ROSE con polilla clase C

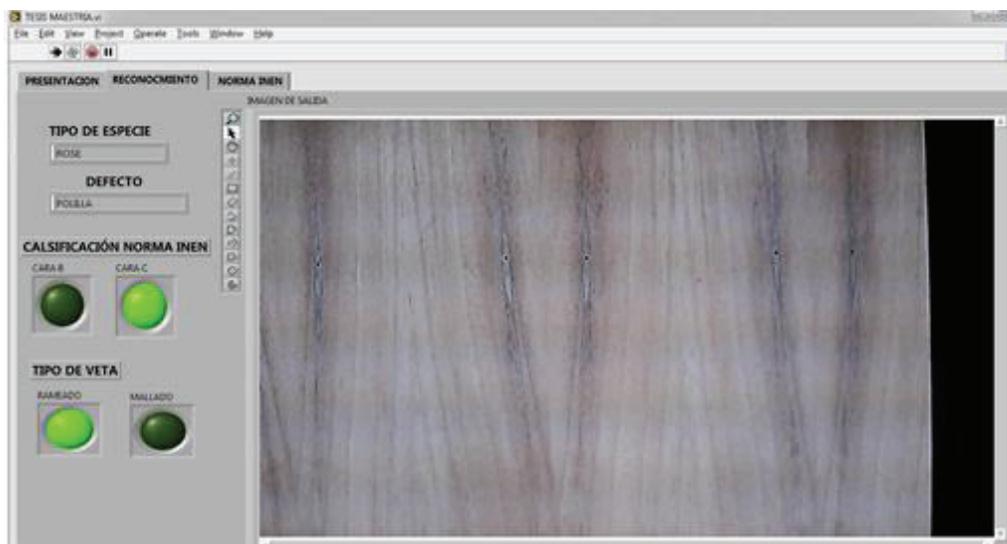


Figura 4.14 Chapa Rose con polilla caras C

Elaborado por: Ana Quezada

- Reconocimiento de chapa Eukaliptus rota por grano cruzado. Clase C mallado

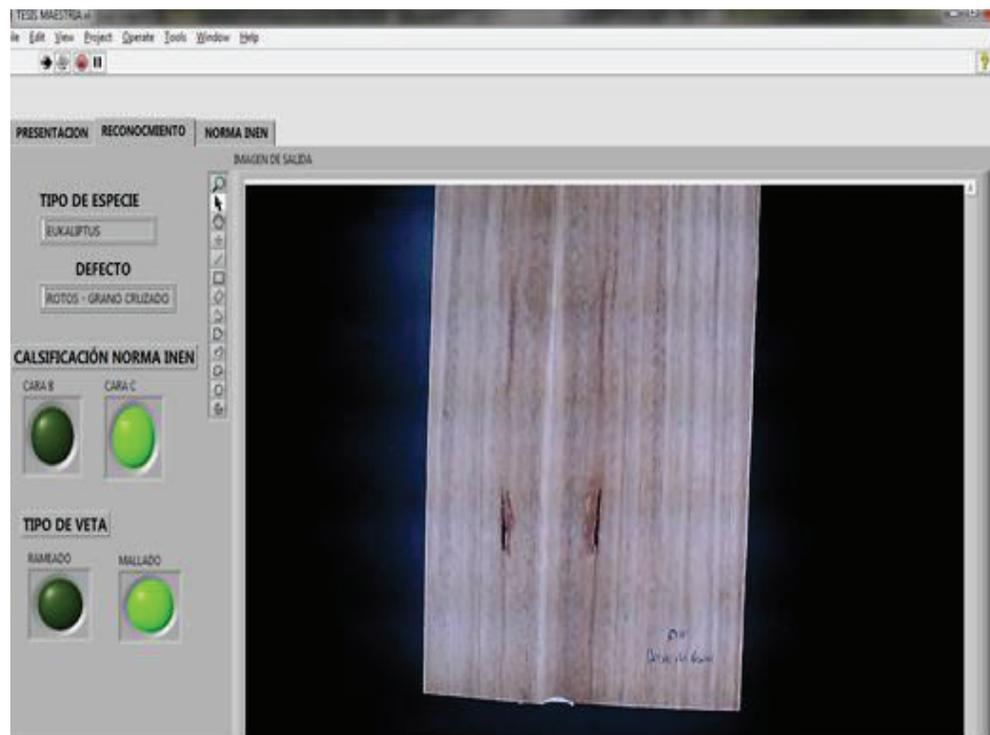
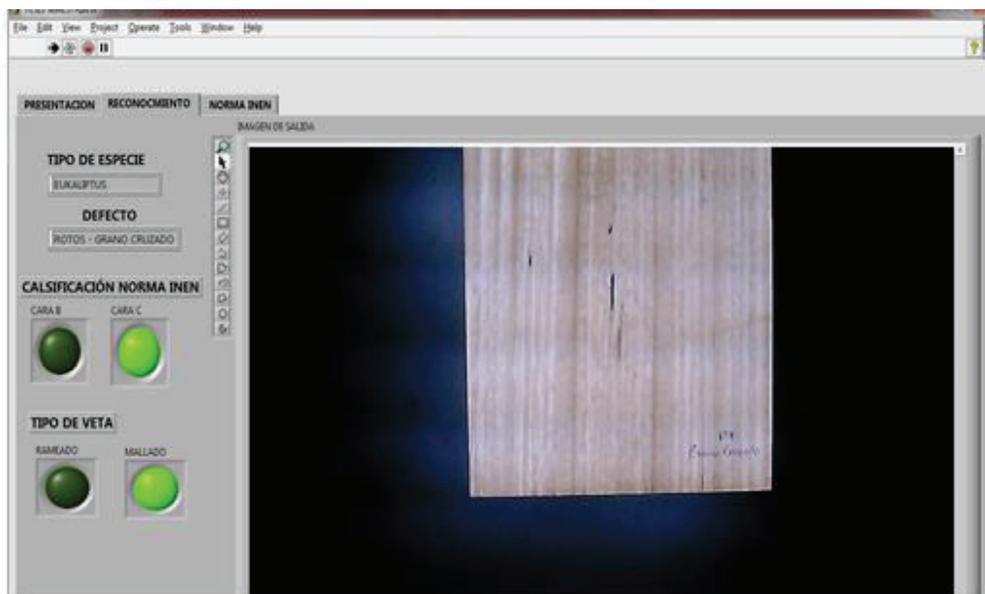


Figura 4.15 Chapa Eukaliptus rotas caras C

Elaborado por: Ana Quezada

4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con estas pruebas se verifica que el sistema desarrollado en LabVIEW está apto para ser distribuido y capacitado a nivel artesanal para el reconocimiento de defectos de la chapa de madera. Actual este procedimiento se lo realiza a mano.

El usuario puede agregar más defectos a la base de datos e incrementar la cantidad de especies de chapa a reconocerse, así como también la cantidad de defectos.

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez generado el algoritmo de reconocimiento de tipo de chapa y tipo de defecto con las especies de madera seleccionadas en la investigación, se procedió a la evaluación de la efectividad del software de control y precisión en los resultados. Para lo cual se generó la siguiente prueba calculando el tiempo de reconocimiento y el número de veces que en ese tiempo se distorsiona el resultado debido a la semejanza de color en las especies de madera.

Tabla 4.5 Tabla de muestras para evaluación del sistema

N.-	ESPECIE	TIPO	DEFECTO	TIEM.	CONFUSION	ERROR
1	SAPALLY	B	SIN DEFECTO	20	3	15%
2	SAPALLY	B	MANCHA	26	5	19%
3	EUKALIPTUS	B	SIN DEFECTO	23	2	9%
4	EUKALIPTUS	C	ROTO	16	3	19%
5	ROSE	B	SIN DEFECTO	18	3	17%
6	ROSE	C	POLILLA	32	4	13%
7	ROSE	C	MANCHA	37	4	11%
8	ETIMOE	B	SIN DEFECTO	25	3	12%
9	RECONSTITUIDA	B	SIN DEFECTO	26	2	8%
10	EUKALIPTUS	C	ROTO	30	3	10%
11	EUKALIPTUS	C	ROTO	30	4	13%

El promedio del error es del 13%, donde el software puede confundir la especies de madera, este error se presenta en la especie Rose con Sapelly debido a que el umbral de color y la tonalidad de la especie es muy representativa, en una producción en línea y de alta velocidad se recomienda procesar lotes de chapa de la misma especie y reconocer los defectos del grupo o paquete, lo que permitirá reducir del 13% a menos del 5%, por cambios brusco de tonalidad.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo general de la investigación que es diseñar y construir un prototipo de sistema de visión artificial para clasificar y controlar la calidad de la chapa de madera, con la plataforma virtual del software LabVIEW y cumpliendo las especificaciones de la norma INEN.
- Se cumplió el objetivo de identificar mediante un sistema robotizado de visión artificial los diferentes tipos de vetas de la chapa de madera, sea este rameado o mallado por especie sea Rose, Sapelly, Eucaliptus, Etimoe o reconstituida.
- Se cumplió el objetivo de detectar, segmentar y reconocer los defectos y fallas de la chapa de madera, como son manchas, polillas, rotos y chapas sin defecto alguno para clasificarlas de acuerdo a la norma ecuatoriana en caras B o caras C para recubrir tableros contrachapados.
- Se evidencia que es posible elevar la eficiencia en la clasificación y reconocimiento de defectos de la chapa de madera, que hasta el momento se realiza manualmente por los artesanos del país, con esta investigación el sistema puede trabajar sin limitaciones de fatiga.
- Con esta investigación se confirma que las tecnologías de visión artificial son aplicables para mejorar la calidad de la industria ecuatoriana, ya que puede replicar este prototipo robotizado para empresas manufactureras dedicadas a la producción en serie de chapas de madera.
- La herramienta color classification de LabVIEW utiliza redes neuronales para el reconocimiento y aprendizaje de patrones de colores mediante muestras que

se dividen en diferentes clases, este algoritmo asimila el aprendizaje de un ser humano con las mismas garantías y prestaciones.

- Los sistemas de visión artificial y la mecatrónica pueden ser implementados en grandes y pequeños artesanos del país permitiendo el desarrollo e incremento de productividad, generando oportunidades de crecimiento económico que benefician a la sociedad.
- El entrenamiento de imágenes puede ser utilizado para reconocer más chapas de las expuestas en la investigación así como el grupo de defectos, permitiendo crear una interfaz sólida con disminución de errores en el procesamiento.
- La selección de un correcto sistema de iluminación garantiza disminución de errores en la adquisición de imágenes ya que elimina sombras.
- La cámara utilizada para esta aplicación satisface las necesidades de clasificación de chapa de los pequeños artesanos, a nivel industrial los formatos de chapas son más grandes por lo tanto se debe adquirir cámaras de alta resolución para dichos procesos productivos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar y construir prototipos de sistema de visión artificial para clasificar y controlar la calidad de los procesos industriales, con el objeto de incrementar la productividad en la pequeña y gran industria ecuatoriana.
- El entrenamiento de imágenes mediante software de visión artificial puede ser utilizado para reconocer más chapas de las expuestas en la investigación así como el grupo de defectos, permitiendo crear una interfaz sólida con disminución de errores en el procesamiento.
- Se recomienda el desarrollo de proyectos a nivel artesanal brindando soluciones técnicas a sus problemas con bajos costo que incrementen su productividad.
- El uso de softwares gestores de visión artificial brindan versatilidad en aplicaciones que tratan y procesan imágenes de forma precisa y sin errores, emulando la sensibilidad del ojo humano.
- Los artesanos, comerciantes e industriales deben innovar sus procesos productivos mediante la implementación de sistemas mecatrónicos que eleven la calidad y productividad generando mayores ingresos y reducción de desperdicios en sus actividades diarias.
- Esta investigación constituye el inicio de otras investigaciones a futuro tales como desarrollo de celdas flexibles de manufactura para la fabricación de chapa de madera, control de calidad en tableros recubiertos con chapa, e implementación de sistemas de clasificación en línea de juntado de chapa.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andame, A., & Llovert, R. (2007). *Sistema de vision artificial orientado a la docencia*. España: Universidad de Virgilia.
- Arriaga, F. (1989). *Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera*. Roma: AITIM.
- Bellera, J., & Medina, R. (2015). *Bases del procesamiento de imagenes medicas*. (Universidad de Los Andes) Obtenido de http://www.saber.ula.ve/redtelemedicina/TallerTelemedicina/j_bellera-01.pdf
- Bernard, P. (2002). *Monografias.com*. Recuperado el 10 de 04 de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos/sentidos/sentidos.shtml>
- Columbia. (202). *Columbia Forest products*. printed USA.
- Dudek, S. (1974). Chapas y tableros de madera. En U. N. Colombia. Medellin Colombia.
- Gonzales, A. (2015). *Aprende TIC*. Recuperado el 2015, de <https://sites.google.com/site/ticvalcarcel/optimizacion-de-imagenes-para-internet/optimizando-fotos>
- Gordillo, L., & Yanez, J. (2009). Aplicacion de Labview para detectar frascos con turbiedad. En K. Horch, & N. R, *Movility perfomance in vision system* (pág. 344). Guayaquil.
- Guanoluisa, H., & Sánchez, H. (2009). *Aplicacion en Labview para la deteccion de frascos*. Guayaquil: Escuela Politecnica del Litoral.
- Hemil, Y., & Hassan, E.-H. (2008). *Machining Technology: Machine Tools and Operations*. CRC Press.
- Louko, P. (1978). *Veneer, plywood and Blockboard Technology*. Finlandia.
- Madou, M. (2011). *Manufacturing Techniques for Microfabrication and Nanotechnology* (Tercera ed., Vol. II). CRC Press.
- Mechatronics, R. (1991). *Mechatronics: mechanics, electronics and control*. Oxford ; New York .
- Merilouto, J. (1978). *Glues in panel board mannufacturing*. Finlandia.
- Nutsch, W. (2000). *Tecnología de la madera y mueble*. Barcelona: Editorial REVERTÉ.

Puell, C. (2010). *Óptica Fisiologica: El sistema óptico del ojo*. Obtenido de http://eprints.ucm.es/14823/1/Puell_%C3%93ptica_Fisio%C3%B3gica.pdf

Roncancio, H. (2001). TUTORIAL DE LABVIEW. *Universidad Distrital "Francisco Jose de Caldas"*.

SCHEY, J. (2000). Procesos no tradicionales de maquinado. En *Procesos de manufactura*. Mexico: Mc Graw Hill.

PAGINAS WEB CONSULTADAS.

- Tecnologías para la adquisición de imágenes Universidad técnica de Ambato.
[http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias para la adquisicion de imagenes %28Bloque2%29.pdf](http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias%20para%20la%20adquisicion%20de%20imagenes%20Bloque2%29.pdf)
- Aplicación para la detección de frasco utilizando LabVIEW Universidad Politécnica del Litoral.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10587/1/Aplicacion%20de%20VR%20con%20LabVIEW%20para%20Deteccion%20de%20frascos%20de%20di.pdf>
- Optimización de imágenes
<https://sites.google.com/site/ticvalcarcel/optimizacion-de-imagenes-para-internet/optimizando-fotos>
- Tesis EPN <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4366/1/CD-3963.pdf>
- Inthergraf Adquisición de imágenes
<http://www.intergraph.com/global/es/photo/ia.aspx>
- National Instruments <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1292>
- Adquisición de imágenes
http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/codif/material/transparencias/03_adquisicion.pdf

ANEXOS