

Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Saulo Yamith Meza Manco
Walter Andrés Legarda Beltrán

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial

Popayán
2013



**Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del
Laboratorio de Control de Procesos**

Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



**Saulo Yamith Meza Manco
Walter Andrés Legarda Beltrán**

**Monografía presentada como requisito para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial**

Director: Mg. Francisco Franco Obando

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial**

Popayán
2013



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Mayo 22 de 2013



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional y la confianza constante que depositaron en nosotros; y por último a los Ingenieros Francisco Franco Obando y Juan Fernando Flórez Marulanda por su dedicación y acompañamiento continuo.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	8
1. CAPITULO 1. SISTEMAS DE VISION DE MÁQUINA E IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA	11
1.1. VISION DE MÁQUINA	11
1.1.1. Estructura de aplicaciones de visión de máquina [9]	12
1.1.1.1. Estructura software	183
1.1.1.2. Estructura hardware.....	193
1.1.1.3. Importancia de la iluminación en aplicaciones de visión.....	14
1.1.2. Sistemas de visión de máquina a nivel industrial.....	18
1.1.3. Diferencias tecnológicas y comerciales.....	19
1.1.4. Impacto de los sistemas de visión de máquina.....	20
1.2. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE OPENCV	21
1.2.1. Estructura de OpenCv.....	21
1.2.2. Comparación entre el software OpenCv y otros software de visión por computador.	23
1.3. REQUERIMIENTOS HARDWARE PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE VISION EN OPENCV [30]	23
2. CAPITULO 2. DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN Y SISTEMA DE VISION ACTUAL	25
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN.....	25
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN	26
2.3. ELEMENTOS DE LA APLICACIÓN DE VISIÓN.....	27
2.3.1. Elementos hardware.....	28
2.3.1.1. Trigger o gatillo.....	28
2.3.1.2. Elemento de captura de imagen.....	28
2.3.1.3. Elemento de iluminación.....	29
2.3.1.4. Módulo de procesamiento.....	29
2.3.1.5. Circuito de adecuación.....	29
2.3.2. Elementos software	31
2.3.2.1. Sistema operativo.....	31
2.3.2.2. Compilación.....	31
2.3.2.3. Librerías.....	32
2.3.2.4. Scripts de procesamiento de imágenes.....	32
2.4. ETAPAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE IMÁGENES.....	34
2.4.1. Adquisición de la imagen.....	34
2.4.2. Pre-procesamiento	35
2.4.3. Segmentación.....	37
2.4.4. Extracción de características.....	39
2.4.4.1. Botellas.....	39



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

2.2.4.2. Piezas de PVC.....	40
2.4.5. Reconocimiento de objetos	40
2.4.5.1. Botellas.....	41
2.4.5.2. Piezas de PVC.....	41
2.4.6. Decisión	41
3. CAPITULO 3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VISIÓN.....	42
3.1. ELEMENTOS HARDWARE	42
3.1.1. Elemento de captura de imagen	42
3.1.2. Mecanismo para la posición de la cámara.....	42
3.1.3. Elemento de iluminación.....	47
3.1.4. Elementos hardware sin modificaciones.....	48
3.2. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE CLASIFICACIÓN.....	49
3.2.1. Clasificación por color de tapas.....	49
3.2.2. Clasificación por nivel de llenado	49
3.2.3. Clasificación por etiquetas.....	50
3.3. ELEMENTOS SOFTWARE.....	50
3.3.1. Sistema operativo	50
3.3.2. Qt Creator [34 - 35].....	51
3.3.3. Librerías.....	52
3.3.4. Scripts de procesamiento de imágenes.....	52
3.4. ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	54
3.4.1. Adquisición de la imagen.....	54
3.4.2. Pre-procesamiento	54
3.4.3. Segmentación.....	56
3.4.4. Extracción de características.....	57
3.4.4.1. Color de tapas.....	58
3.4.4.2. Nivel de llenado.....	60
3.4.4.3. Etiquetas.....	62
3.4.5. Reconocimiento de objetos	63
3.4.5.1. Color de tapas.....	63
3.4.5.2. Nivel de llenado.....	64
3.4.5.3. Etiquetas.....	64
3.4.6. Decisión	64
3.5. DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE USUARIO HOMBRE MAQUINA	65
4. CAPITULO 4. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN... 68	68
4.1. VALIDACION DE LOS ALGORITMOS	68
4.1.1. Color de tapas.....	68
4.1.2. Nivel de llenado.....	70
4.1.3. Etiquetas	71
4.2. PRUEBAS CON ESTUDIANTES.....	72
CONCLUSIONES.....	75



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Elementos de un sistema de visión artificial.....	12
Figura 1.2. Estructura Software y Hardware de una aplicación de visión de Máquina.....	12
Figura 1.3. Iluminación direccional.....	15
Figura 1.4. Iluminación difusa con fuente circular.....	15
Figura 1.5. Iluminación a contraluz.....	16
Figura 1.6. Iluminación oblicua.....	16
Figura 1.7. Iluminación estructurada.....	17
Figura 1.8. Iluminación coaxial.....	17
Figura 1.9. Iluminación dark-ground o dark-field.....	18
Figura 1.10. Estructura de OpenCv.....	22
Figura 1.11. Compatibilidad de OpenCv con otros sistemas operativos.....	24
Figura 2.1. Planta de clasificación.....	26
Figura 2.2. Diseño mecánico modular de la planta de clasificación.....	26
Figura 2.3. Modelo físico celda de proceso de clasificación.....	27
Figura 2.4. Elementos de la aplicación de visión de máquina.....	27
Figura 2.5. Sensor de presencia RIKO.....	28
Figura 2.6. Elemento de captura de imagen.....	28
Figura 2.7. Módulo de procesamiento en un Computador Qbex.....	29
Figura 2.8. Diagrama de bloques del Circuito de adecuación.....	30
Figura 2.9. Circuito de adecuación de las señales de entrada y salida del módulo de procesamiento.....	31
Figura 2.10. Diagrama de flujo de la rutina principal de los scripts de procesamiento.....	33



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.11. Etapas de ejecución de las rutinas de procesamiento de los scripts.....	34
Figura 2.12. Grupo de piezas de PVC a clasificar (Forma: te, círculo, codo, y cruz).....	35
Figura 2.13. Grupo de botellas a clasificar (Color tapa: azul, rojo, blanco, y verde).....	35
Figura 2.14. Segmentación de las imágenes de las piezas de PVC.....	38
Figura 3.1. Cámara web Logitech c615.....	42
Figura 3.2. Mecanismo para el movimiento de la cámara. (a) Posición inicial del pivote. (b) Posición final del pivote.....	43
Figura 3.3. Esquema del circuito para temporizar el electroimán.....	45
Figura 3.4. Imagen real del circuito para el temporizado del electroimán.....	46
Figura 3.5. Resistencia en serie con el electroimán. (a) Esquema de las resistencias. (b) Imagen real de las resistencias.....	47
Figura 3.6. Cuarto de toma de imágenes. (a) Vista exterior del cuarto de toma de imágenes. (b) Vista interior del cuarto de toma de imágenes.....	48
Figura 3.7. Lámpara GU10W18.....	48
Figura 3.8. Definición de los colores de tapa a clasificar.....	49
Figura 3.9. Niveles de llenado de las botellas.....	49
Figura 3.10. Tipos de etiquetas a clasificar.....	50
Figura 3.11. Diagrama de flujo de la rutina principal de los scripts de procesamiento.....	53
Figura 3.12. Imágenes capturadas por la Webcam Logitech C615.....	54
Figura 3.13. Imágenes suavizadas con la instrucción CVsmooth.....	55
Figura 3.14. Imágenes descompuestas en sus planos RGB.....	55
Figura 3.15. Imágenes segmentadas en sus planos RGB para la clasificación por color de tapas y nivel de llenado.....	56
Figura 3.16. Imágenes segmentadas en el canal azul para la clasificación por etiqueta.....	57
Figura 3.17. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas rojas.....	58



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 3.18. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas verdes.....	59
Figura 3.19. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas azules.....	59
Figura 3.20. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas blancas.....	60
Figura 3.21. Perfiles de línea para encontrar el nivel del líquido de las botellas.....	61
Figura 3.22. Descripción de la interfaz de usuario.....	65
Figura 3.23. Funcionamiento de la interfaz gráfica.....	66
Figura 3.24. Decisión de clasificación para el algoritmo de nivel de llenado.....	66
Figura 3.25. Decisión de clasificación para el algoritmo de color de tapas.....	67
Figura 3.26. Decisión de clasificación para el algoritmo de tipo de etiqueta.....	67
Figura 4.1. Botellas con tapas imperfectas.....	69
Figura 4.2. Nivel de líquido diferente al preestablecido.....	71
Figura 4.3. Tipo de etiqueta diferente al preestablecido.....	72
Figura 4.4. Resultado encuesta de conformidad a estudiantes sobre la interfaz gráfica.....	73



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Funciones más importantes de OpenCv	22
Tabla 2.1. Relación de área promedio de cada botella y el canal del espectro RGB.....	39
Tabla 2.2. Relación entre tipo de pieza y el valor promedio de cada característica.....	40
Tabla 2.3. Valores de comparación entre las diferentes botellas y el área de cada Canal.....	41
Tabla 2.4. Valores de comparación entre las características de las piezas de PVC.....	41
Tabla 3.1. Descripción de las borneras del circuito para el temporizado del electroimán.....	46
Tabla 3.2. Listado de materiales para la elaboración del circuito de activación del electroimán.....	47
Tabla 3.3. Valores máximos y mínimos de los canales RGB de cada color de tapa.....	63
Tabla 3.4. Intervalos y condicionales para el reconocimiento de cada color de tapa.....	63
Tabla 3.5. Intervalos o rangos de los nieles de llenado de las botellas.....	64
Tabla 3.6. Intervalo de componentes conexos para cada tipo de etiqueta.....	64
Tabla 3.7. Relación entre las características de las botellas y los bits de clasificación en el puerto.....	65
Tabla 4.1. Pruebas dinámicas de clasificación de las tapas de las botellas.....	69
Tabla 4.2. Pruebas dinámicas de clasificación del nivel de llenado de las botellas.....	70
Tabla 4.3. Pruebas dinámicas de clasificación de tipo de etiqueta de las botellas.....	72



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Configuración de pines y funciones en el puerto paralelo.....	30
Cuadro 2.2. Relación de imágenes de botellas y los tres canales del espectro RGB.....	36
Cuadro 2.3. Relación de imágenes de las piezas de PVC y los tres canales RGB.....	37
Cuadro 2.4. Segmentación de las imágenes de las botellas.....	38
Cuadro 2.5. Relación entre el tipo de piezas y los bits de clasificación en el puerto Paralelo.....	41
Cuadro 3.1. Componentes conexos de las etiquetas.....	62



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. INSTALACION DE OPENCV 2.1.0 EN UBUNTU

ANEXO B. INSTALACION DE QT CREATOR 4.6.2 EN UBUNTU

ANEXO C. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

ANEXO D. FORMATO DE ENCUESTA



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

INTRODUCCION

Uno de los sentidos más importantes de los seres humanos es la visión. Ésta es empleada para obtener información visual del entorno físico, la visión humana es el sentido más desarrollado y el que menos se conoce debido a su gran complejidad, ya que es una actividad inconsciente y difícil de saber cómo se produce. De hecho, hoy en día, se carece de una teoría que explique cómo los humanos perciben el exterior a través del órgano visual. Se han desarrollado líneas de investigación y desarrollo en el campo de la automatización, donde se pretende dotar de capacidades visuales a las máquinas para percibir información sobre la posición de los objetos, el entorno, el movimiento, cálculo de trayectorias, reconocimiento de personas, análisis del color de imágenes y el reconocimiento de figuras. En la actualidad la visión de máquina se ha extendido a diferentes ramas de la ciencia como lo es la industria, cuyas aplicaciones son el control de calidad de los productos fabricados, soporte en los procesos de producción, como por ejemplo en el guiado de robots, en la ciencia y biomédica como lo es la microscopía o el análisis de imágenes. De ello se han beneficiado la biología, geología, farmacia, veterinaria, astronomía, física y medicina. En el campo de la seguridad y vigilancia de altas prestaciones, la visión artificial se está afianzando como una tecnología imprescindible, gracias a las posibilidades que ofrece de obtener la máxima información, entre los cuales se encuentran los sistemas de inspección de tráfico, sistemas de reconocimiento de personas, sistemas de seguimiento de personas, reconocimiento de objetos, sistemas de inspección y transporte de equipajes [1-2].

En el ámbito nacional [3], se encuentran universidades, empresas con trayectoria y empresas jóvenes en el desarrollo y aplicación de visión de máquina a nivel de proyectos, en el ámbito agrícola, también encontramos universidades como lo es la Universidad Nacional de Colombia con sede en Manizales, el cual desarrolló un sistema de visión artificial para la automatización de la cosecha de café, logrando la detección de enfermedades y plagas. [4]. Dentro del programa de Ingeniería en automática Industrial actualmente se cuenta con un prototipo de laboratorio, para realizar prácticas de visión de máquina, potenciando así las capacidades del laboratorio de control de procesos (LCP).

Para cumplir los objetivos propuestos en el anteproyecto, este trabajo de grado se ha dividido en tres partes fundamentales: **Diseño Mecánico**, que se refiere a la implementación de un sistema de iluminación apropiado para adquisición de imágenes, además un mecanismo que permita posicionar la cámara de tal manera que su ubicación permita tomar imágenes de frente al flujo de las piezas; la **Visión de máquina**, que incluye los scripts de procesamiento de las imágenes y los elementos necesarios para lograr clasificar adecuadamente las piezas en alguna de las categorías preestablecidas, en esta parte se eligió el software OpenCv para desarrollar tres algoritmos con el fin de cumplir uno de los objetivos de este proyecto; **Interfaz de usuario**, la cual facilite monitorear e indicar diferentes parámetros en el sistema de clasificación por visión preestablecidos.

En el primer capítulo se abordan las especificaciones de este proyecto de grado, se explican algunos conceptos necesarios de visión de máquina para generar una idea amplia del funcionamiento del sistema de visión implementado en la banda transportadora del laboratorio de control de procesos de la Universidad del Cauca. En el capítulo dos se



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

explica la aplicación de visión de máquina, incluyendo las herramientas software y los elementos hardware necesarios, igualmente se explican las etapas de ejecución de los *scripts* de procesamiento, desde la captura de la imagen, hasta enviar la decisión al controlador del sistema. En el capítulo tres describimos el mejoramiento del sistema de visión, tanto de hardware como de software, además se muestra el desarrollo de los tres algoritmos de clasificación los cuales son: color de tapas, nivel de llenado, tipo de etiquetas en botellas, además se describe el diseño y funcionamiento de la interfaz gráfica utilizada para monitorear la clasificación de las piezas. En el cuarto capítulo se describen los resultados de la optimización del sistema de visión, con las pruebas realizadas para la validación de los algoritmos, como también pruebas con estudiantes de semestres superiores que utilizaron la planta basados en el manual de usuario, finalmente se exponen las conclusiones evidenciando los beneficios que se lograron con este proyecto y recomendaciones para prácticas educativas para los estudiantes y futuros proyectos del PIAI.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

CAPITULO 1. SISTEMAS DE VISION DE MÁQUINA E IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA

En el primer capítulo se trata de forma introductoria los temas que hacen parte de la aplicación de visión de máquina y la importancia a nivel industrial, luego sus diferencias tecnológicas y comerciales, así como su impacto en la industria, terminando con definiciones y estructura software de OpenCv, herramienta que se usó en esta tesis.

Los métodos de inspección automatizados de hoy en día, ven todos y cada uno de los productos elaborados, no solamente unas cuantas muestras de vez en cuando, o inconsistencias en el producto, es necesario anticiparse en el proceso para predecir errores y evitar la pérdida total del producto.

Los sistemas de máquinas de visión capturan imágenes y luego las procesan, analizan e interpretan para dar una retroalimentación a tiempo. En algunos casos los resultados se usan para rechazar productos con formas incorrectas o dañadas. Además, las máquinas pueden hallar contornos definidos como lo son las orillas de galletas orientadas inadecuadamente, controlando así los robots usados en las operaciones de ensamblado de galletas tipo emparedado y empaque.

Un sistema de visión consiste de una cámara, iluminación, computadora, programa de cómputo (software) y actuadores. Mientras que algunas de las aplicaciones de visión se emplean para monitorear las condiciones durante el proceso, unas incluyen también mecanismos de rechazo para remover o recanalizar productos que no cumplen con las características deseadas.

Debido a que la iluminación es muy importante para la adecuada operación de los sistemas de visión de máquina, la mayoría emplean iluminación suplementaria, en vez de confiar sólo en las condiciones de iluminación donde se encuentre la planta. La luz estructurada, como una línea láser o patrón de franja oscura-brillante, permite la determinación del grosor y ayuda a encontrar las orillas del producto [5].

1.1. VISION DE MÁQUINA

La visión artificial es una técnica basada en la adquisición de imágenes, generalmente en dos dimensiones, para luego procesarlas digitalmente mediante algún tipo de CPU (computadora, microcontrolador, DSP, etc.), con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de las imágenes adquiridas. Se trata, por tanto, de una tecnología que combina las computadoras con las cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana [6].

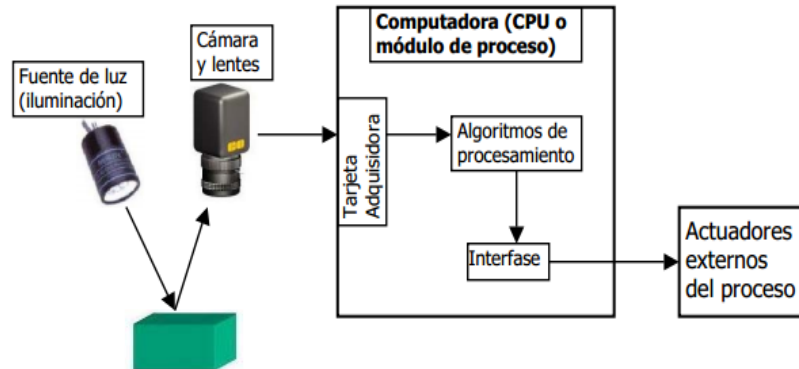
Las cámaras de video han tenido una rápida evolución en los últimos años, desde las primeras cámaras de video que iban equipadas con tubos Vidicon, hasta las más modernas cámaras provistas de sensores CCD (ChargeCoupledDevide) y CMOS. Las cámaras que se utilizan en visión artificial requieren una serie de características específicas, como el control del disparo de la cámara para capturar las piezas que pasan por delante de la cámara exactamente en la posición requerida. En la figura 1.1. Se



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

observan los elementos de un sistema de visión artificial, donde los elementos que conforman un prototipo de visión de máquina (fuente de iluminación, cámara, tarjeta de adquisición de imagen, algoritmos de procesamiento de imagen, interface y elemento actuador) permiten realizar todas las etapas definidas en los scripts de procesamiento [7].

Figura 1.1. Elementos de un sistema de visión artificial

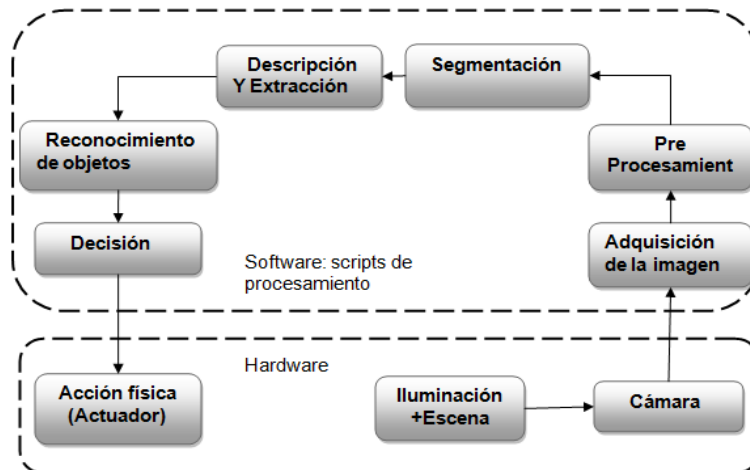


Fuente: LogicElectronic, con base en información de [8], Enero 2013

1.1.1. Estructura de aplicaciones de visión de máquina [9]

Los actuales estudios e investigaciones de aplicaciones con visión de máquina como clasificación de objetos utilizan la estructura software (captura de imagen, pre-procesamiento, segmentación, extracción de características, reconocimiento de objetos y decisión) y hardware que se observa en la *Figura 1.2*. Donde los elementos que conforman un prototipo de visión de máquina (fuente de iluminación, cámara, tarjeta de captura o adquisición de imagen, scripts de procesamiento de imagen, y elemento actuador) permiten realizar todas las etapas definidas en los algoritmos o scripts de procesamiento.

Figura 0.2. Estructura software y hardware de una aplicación de visión de máquina



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

1.1.1.1. Estructura software

Las seis etapas que hacen parte del software para una aplicación de visión están definidas en los scripts de procesamiento:

- **Captura de la imagen**, que corresponde al conjunto de instrucciones que se efectúan para transformar las propiedades luminosas provenientes de una escena en una señal digital.
- **Pre-procesamiento**, utiliza técnicas que permiten el mejoramiento de la imagen, como son el nivel de gris, contraste, filtros, el realce de algunas características de interés, etc; debido a que las imágenes no siempre se encuentran en un formato adecuado para su análisis.
- **Segmentación**, la cual permite separar los objetos de interés dentro de la imagen.
- **Descripción o extracción de características**, permite extraer las características de interés de los objetos para el reconocimiento.
- **Reconocimiento**, es la identificación de cada objeto en la escena mediante una etiqueta, teniendo en cuenta información suministrada por la inspección, que puede ser cuantitativa o cualitativa, si es cuantitativa se realizan medidas (áreas, longitudes, perímetros etc.) y ángulos de orientación; si es cualitativa se realiza verificación de la correcta realización del trabajo, por ejemplo: presencia de tapa, presencia de etiqueta, etc.
- Por último el sistema genera una **respuesta o Decisión**, con base en las características previamente identificadas y comparadas mediante algún método clasificador, dicha respuesta se envía a un elemento final de control para que se realice una acción sobre el entorno con base en la imagen analizada, por ejemplo se controlan aparatos mecánicos que efectúan la manipulación de productos después de ser clasificados.

1.1.1.2. Estructura Hardware

Para realizar de forma óptima todas las etapas software en una aplicación de visión de máquina, se necesita tener los elementos hardware apropiados para cada aplicación específica, por ello se debe hacer un análisis del escenario de aplicación de forma que se seleccionen los más adecuados, a continuación se explica en detalle cada uno de los elementos más comunes:

- **Cámara y óptica**. Es el elemento primario de adquisición de la imagen. Es un elemento sensible a luz que modifica su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que percibe. Incorpora el sensor CCD cuyo tamaño de píxel y características de la lente determinará la resolución del objeto presente en el campo de visión. Puede integrar la electrónica necesaria para adquirir la información y enviarla directamente a un monitor, sin necesidad de ordenador o transferir la información a una red de área local.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

- Tarjeta de captura o adquisición de imágenes. Es la interfaz entre el sensor y el computador o módulo de procesamiento que permite al mismo tiempo disponer de la información capturada por el sensor de imagen. Se le exige fundamentalmente alta velocidad de adquisición debido a los grandes volúmenes de datos que genera la cámara.
- Algoritmos o scripts de procesamiento de imagen. Es la parte “inteligente” de la aplicación. Su misión consiste en aplicar las necesarias transformaciones y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado. Los scripts de procesamiento incluyen la orden de capturar la imagen, procesarla, aplicar filtros, detectar bordes, segmentar la imagen, ecualizar el histograma y ejecuta los algoritmos necesarios para realizar las tareas que se le exige a la aplicación de visión como reconocimiento de caracteres, lectura de matrículas de vehículos, seleccionar piezas defectuosas, leer códigos de barras, seleccionar la calidad de piezas por análisis del color, inspeccionar la calidad de las piezas mecánicas, etc.
- Computador o módulo de procesamiento: es el elemento que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos implementando y ejecutando los scripts diseñados para la obtención de los objetivos.
- Comunicaciones: Las comunicaciones permiten conectar la aplicación de visión a otros dispositivos, como pueden ser controladores lógicos programables, interfaz con un operador, etc. Son un elemento fundamental que, junto a la adecuada selección de interfaces y conectores, determina la velocidad con que puede actuar el sistema en su conjunto.

1.1.1.3. Importancia de la iluminación en aplicaciones de visión [10]

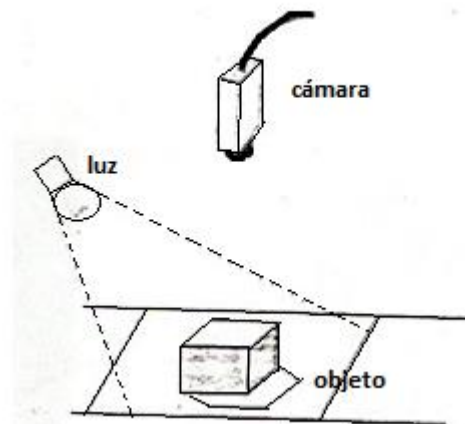
La iluminación juega un papel vital en la visión artificial, pues simplifica de manera considerable el análisis y posterior interpretación de la escena captada. Es un factor que suele afectar de forma considerable a la complejidad de los algoritmos de visión; por otro lado, siempre será más rápido solucionar un problema cambiando la iluminación que complicando el algoritmo y en muchos casos, más que confiar en los algoritmos para obtener un buen resultado, habrá que dedicar más tiempo y esfuerzo a mejorar las condiciones luminosas. La iluminación existente en el entorno no suele ser aceptable ya que se obtienen imágenes con bajo contraste (poco o demasiado iluminadas), sombras no deseadas, puede ser modificada inadvertidamente por operarios, etc. Por ello habrá que diseñar un sistema propio, los diversos tipos de iluminación son:

Iluminación direccional

La cual consiste en aplicar una iluminación orientada al objeto usando un haz altamente direccional, este tipo de iluminación es de fácil uso y su utilización puede requerirse por la necesidad de iluminar los objetos para ser percibidos o para aprovechar la formación de sombras que resaltan la presencia de defectos en los materiales como se puede apreciar en la *figura 1.3*.



Figura 1.3. Iluminación direccional

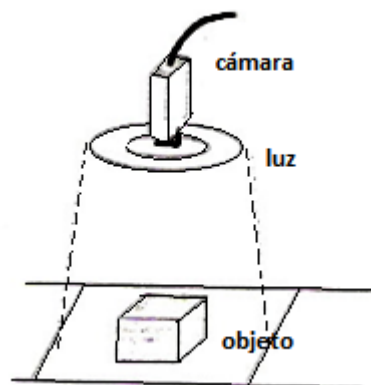


Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

Iluminación difusa

Intenta que los haces luminosos incidan sobre el objeto desde todas las direcciones y su utilización es en la toma de imágenes a través de microscopios, los objetos a analizar presentan superficies suaves y regulares o se necesitan imágenes desde diversos puntos de vista por lo que no se pueden favorecer a unas zonas más que otras, como se puede ver en la *figura 1.4*.

Figura 1.4. Iluminación difusa con fuente luminosa circular



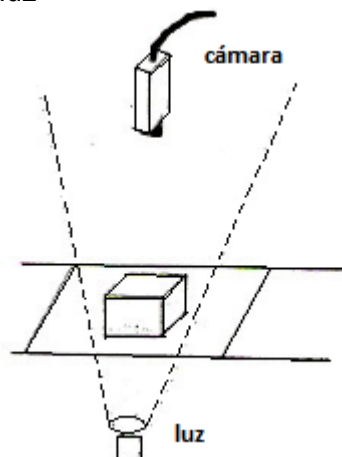
Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

Iluminación a contraluz

Consiste en iluminar el objeto por detrás, de forma que la fuente luminosa, el objeto y la cámara estén alineados, produce imágenes prácticamente con sólo dos niveles de gris (imágenes binarias). Esta técnica se adapta muy bien en aplicaciones diseñadas para la localización de piezas, análisis dimensional y presencia de taladros internos en las cuales la silueta de los objetos es suficiente para su reconocimiento. El principal inconveniente es la pérdida de todos los detalles así como la detección de fisuras en las piezas, véase *figura 1.5*.



Figura 1.5. Iluminación a contraluz

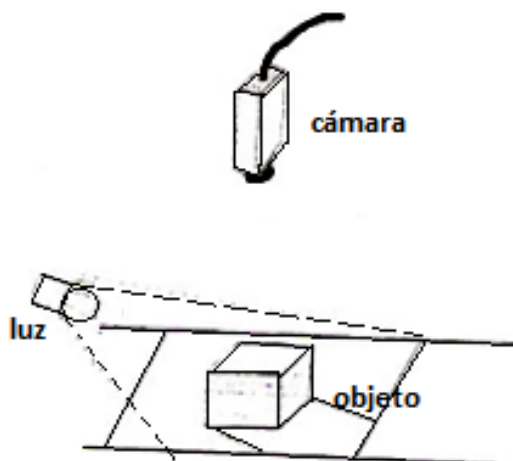


Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

Iluminación oblicua

El objetivo principal es la creación de sombras encargadas de aumentar el contraste de las partes tridimensionales, este tipo de iluminación es utilizado para generar sombras sobre objetos cuyo contraste es pequeño respecto al fondo, por ejemplo la altura, los algoritmos posteriores se centran más en analizar las características de las sombras que la de los propios objetos como se puede ver en la *figura 1.6*.

Figura 1.6. Iluminación oblicua



Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

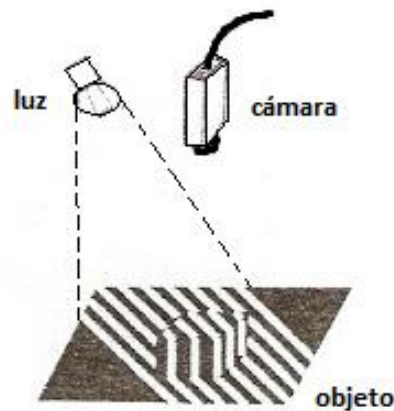
Iluminación estructurada

Este tipo de iluminación sirve para la proyección de puntos, franjas o rejillas sobre la superficie de trabajo como puede verse en la *figura 1.7*.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 1.7. Iluminación estructurada

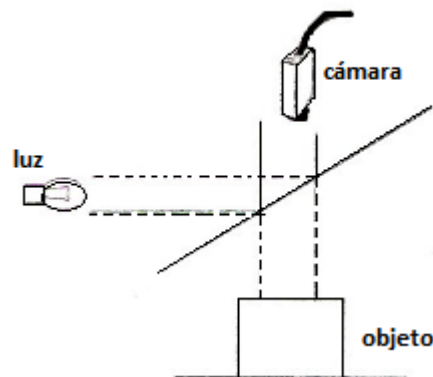


Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

Iluminación coaxial

Produce una imagen libre de sombras, se busca o bien iluminar agujeros interiores o evitar reflejos. La iluminación va en la misma dirección que la luz que entra por la cámara reflejada por los objetos, véase la *figura 1.8*.

Figura 1.8. Iluminación coaxial



Fuente: Visión por computador, con base en información de [10], Enero 2013.

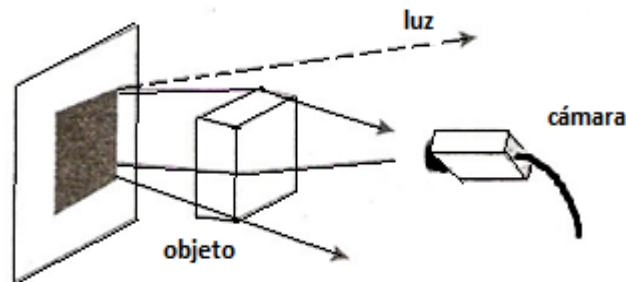
Iluminación dark-ground o dark-field

En el caso de materiales transparentes darían una imagen blanca al pasar la luz a través de ellos, su propósito es iluminar los bordes de los objetos transparentes, el esquema es similar a la iluminación a contraluz pero ahora se coloca sobre la fuente de luz un material opaco del tamaño del objeto. Si no existe objeto, no llega la luz a la cámara por lo que la imagen es negra; por tanto los rayos que lleguen son los que al pasar por el objeto cambian la dirección alcanzando al sensor de la cámara como puede verse en la figura 1.9.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 1.9. Iluminación dark-ground o dark-field



Fuente: Visión por computador, Con base en información de [10], Enero 2013

1.1.2. Sistemas de visión de máquina a nivel industrial

La visión artificial aplicada a la industria abarca la informática, la óptica, la ingeniería mecánica y la automatización industrial. A diferencia de la visión artificial académica, que se centra principalmente en máquinas basadas en el procesamiento de imágenes, las aplicaciones de visión industrial integran sistemas de captura de imágenes digitales, dispositivos de entrada/salida y redes de ordenador para el control de equipos destinados a la fabricación, tales como brazos robóticos, motores, pistones neumáticos entre otros, los sistemas de visión de máquina se destinan a realizar inspecciones visuales que requieren alta velocidad, gran aumento, funcionamiento las 24 horas o la repetitividad de las medidas. [11]. Algunas de las aplicaciones de visión de máquina más comunes en la industria, se encuentran en:

Visión artificial aplicada a la industria de alimentos

En el sector de procesamiento de alimentos, la automatización industrial ha tardado más en introducirse debido a la diversidad de formas que presentan los productos naturales. A este mercado se ha venido incursionando con los sistemas de inspección por Visión Artificial que han sido desarrollados para mejorar los procesos productivos de la industria alimenticia, ya sea que se manipule carne, pescado, verduras, frutas, hortalizas, lácticos o bien productos ya elaborados para control de calidad [12-13].

Visión artificial aplicada a la industria automotriz

Los elevados requisitos de control de calidad y automatización industrial que el sector automotriz se impone, tanto en el ensamblaje en la adquisición de partes a sus proveedores, hacen de este sector un gran consumidor de soluciones de Visión Artificial [14-15].

Visión artificial aplicada a la industria electrónica

La industria de la electrónica se caracteriza por el elevado ritmo de producción y automatización. La Visión Artificial se aplica en diferentes áreas del proceso productivo, desde la manipulación e identificación de componentes hasta el control de calidad. [16].



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Visión artificial aplicada al envasado de bebidas

La industria del envasado de bebidas es muy competitiva. En ella confluyen la necesidad de una alta velocidad de producción y unos elevados niveles de calidad. Para alcanzar estos objetivos, un sistema de Visión Artificial puede controlar diversos parámetros de un recipiente a gran velocidad y en el 100% de la producción. Los parámetros que más comúnmente se inspeccionan son el nivel de líquido, presencia o ausencia de etiquetas, así como la presencia y colocación de partes [17].

Otras aplicaciones de la visión artificial

La visión artificial se puede aplicar para aumentar la satisfacción de sus clientes ofreciéndoles un producto final libre de defectos y con un mejor acabado en productos elaborados y a un menor costo [18-19].

Sistemas de visión integrados [20].

Se denominan sistemas de visión integrados aquellos sistemas que incorporan el hardware y software de visión en un mismo dispositivo embebido, este tipo de componentes de reducidas dimensiones, están preparados para ser instalados en cualquier aplicación de visión con los mínimos requerimientos de programación, existen tres tipos de sistemas que son:

- *SENSORES DE VISIÓN*: Son sistemas de visión integrados que tienen el aspecto de una cámara, pero que además de incorporar el sensor, integran a su vez un procesador, memoria, y puertos de comunicación con el exterior (Ethernet, I/O, RS-232).
- *CÁMARAS INTELIGENTES*: Como el resto de los sistemas integrados incluyen un paquete de software muy evolucionado que permite desarrollar aplicaciones sin necesidad de conocimientos de programación.
- *SISTEMAS DE VISIÓN MULTICÁMARAS*: Son sistemas integrados que permiten ser conectados a cualquier tipo de cámara existente. Estos sistemas incorporan procesadores INTEL de última generación, memoria, elementos de digitalización de imagen y puertos de comunicación con el exterior (Ethernet, I/O, RS-232).

1.1.3. Diferencias tecnológicas y comerciales

Las personas tienen una velocidad limitada al momento de supervisar o detectar fallas en la elaboración de productos o en el control de calidad que se esté efectuando en ese momento, lo que conlleva a que se cometan errores en la cadena de producción debido al trabajo monótono y repetitivo que debe efectuar el operario, la detección temprana de un fallo en la cadena de producción puede reducir los costes de forma significativa y en la mejora de la calidad.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es posible hacerse una idea de todos los beneficios, tanto en costos como en tiempo y calidad, que puede aportar la visión artificial en ámbitos diferentes [23].

Entorno económico

En la economía emergente, donde se pretende reducir costos y mejorar la calidad de los productos, entregando a los clientes productos libres de defectos, evitando devolución de lotes y mejorando su imagen, cuyo objetivo es obtener beneficios debido a la recolocación de recursos humanos previamente destinados a asegurar la calidad del producto. Para competir con países caracterizados por producir a bajo costo, es necesario invertir en sistemas automáticos para un control de calidad más estricto ya sea mediante visión artificial u otra tecnología apropiada, que sustituya al órgano visual humano y garantice el abaratamiento así como una mayor fiabilidad de la producción.

Entorno tecnológico

La Visión Artificial está directamente afectada por los cambios del sector de la electrónica y la automatización industrial. Adicionalmente, el crecimiento y mejora de algunos sistemas, con los que se integra la Visión Artificial, darán un mayor valor añadido a los productos resultantes, sumado a esto los avances tecnológicos rápidos y complejos donde la evolución es exponencial en cuanto a las capacidades de comunicaciones y de procesamiento de los dispositivos eliminando casi en su totalidad los muestreos aleatorios de los lotes por parte de los operarios encargados de esta labor.

1.1.4. Impacto de los sistemas de visión de maquina

Los sistemas de visión artificial tienen gran precisión en la medición, dependiendo solamente de la resolución espacial de los componentes del sistema. Las visualizaciones gráficas en tiempo real y las alarmas alertan a los operadores para que efectúen cambios mucho antes de que las diferencias sean visibles para el ojo humano. La velocidad de respuesta de la visión humana es de 60 milisegundos, mientras que en las cámaras de estado sólido es de 10 microsegundos y este tiempo se va reduciendo según se mejora la electrónica de estos sistemas. En la ejecución de trabajos repetitivos, la visión humana es poco consistente por la fatiga y las distracciones, en cambio la visión artificial mantiene su nivel de rendimiento constante a lo largo de su vida útil. Estos sistemas pueden trabajar en entornos muy peligrosos, con riesgos radioactivos, químicos, biológicos, ruido, contaminación, temperaturas muy altas y muy bajas [24].

Eso significa ajustar las condiciones de la línea antes de que el producto fuera de especificación sea hecho, permitiendo a un operador trabajar múltiples líneas, extendiendo el costo de mano de obra más hacia el rendimiento. La conformidad de las especificaciones puede ser pasada a través de los diferentes turnos, reduciendo la variación y ofreciendo una manera no incriminatoria de resolver problemas.



1.2. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE OPENCV

Se trata de una librería de código abierto desarrollado por Intel. Funciona bajo ordenadores personales que estén basados en la arquitectura Intel y es totalmente integrable en aplicaciones escritas en C y C++ optimizado [24] y corre bajo Linux, Windows y Mac OS X. Hay un desarrollo activo en las interfaces para Python¹, Ruby², Matlab³, y otras herramientas software [25].

Implementa una gran variedad de funciones de alto nivel para el desarrollo de aplicaciones en Visión por Computador así como muchos tipos de datos (matrices, imágenes, árboles, entre otros) dando mucha facilidad de diseño al programador a la hora de implementar los algoritmos. Uno de los objetivos de OpenCv es proporcionar una fácil utilización de la infraestructura de visión por computador, que ayuda a las personas a construir rápidamente aplicaciones de visión bastante sofisticados. La biblioteca OpenCv contiene más de 500 funciones y algoritmos de alto nivel que abarcan muchas áreas de la visión, incluida la inspección de fábrica de productos, imágenes médicas, operaciones básicas, seguridad, interfaz de usuario, análisis de imagen, reconocimiento de objetos, detección de objetos, calibración de la cámara, visión estéreo, reconstrucción 3D, seguimiento y robótica.

A menudo van mano a mano la visión por computador y aprendizaje automático, OpenCv también contiene un completo propósito general llamado Machine Learning Library (MLL). Esta sub-biblioteca se centra en el reconocimiento estadístico de patrones y la agrupación. La MLL es muy útil para las tareas de visión que están en el núcleo de la misión de OpenCv, fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones de tiempo real.

1.2.1. Estructura de OpenCv

OpenCv es ampliamente estructurado en cinco componentes principales, cuatro de los cuales se muestran en la *Figura 1.10*. El componente de CV contiene el procesamiento básico de imágenes y algoritmos de visión por computador de nivel superior; ML es la biblioteca de la máquina de aprendizaje, que incluye muchos clasificadores estadísticos y herramientas de agrupación. HighGUI contiene rutinas de E/S y funciones para almacenar y cargar videos e imágenes, y CXCore contiene las estructuras de datos básicas y contenidos.

¹Python. Es un lenguaje de scripting independiente de plataforma y orientado a objetos, preparado para realizar cualquier tipo de programa, desde aplicaciones Windows a servidores de red o incluso, páginas web.

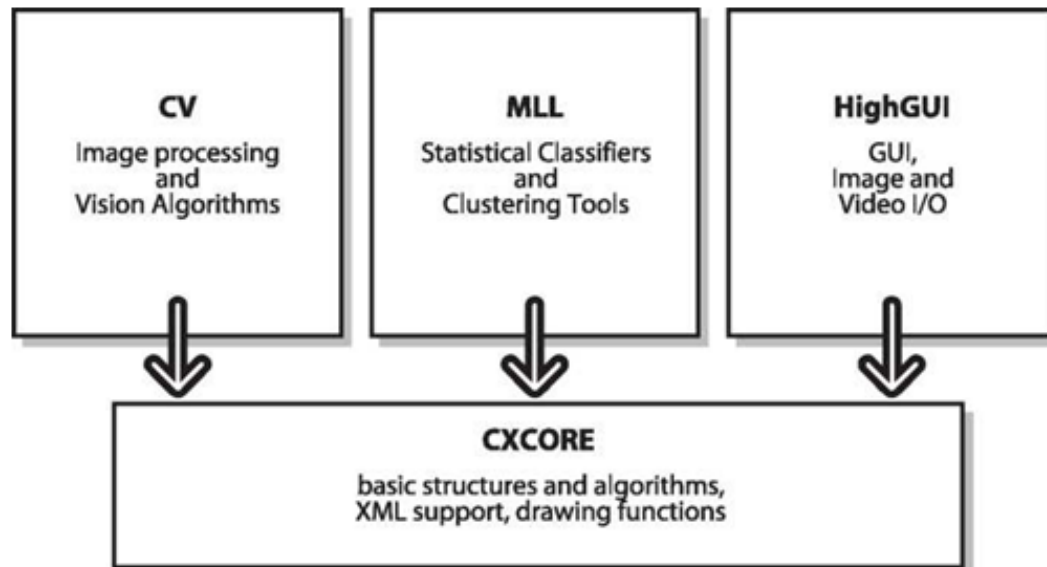
²Ruby. Es un lenguaje de programación interpretado, reflexivo y orientado a objetos, Combina una sintaxis inspirada en Python y Perl con características de programación orientada a objetos.

³Matlab. Es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Mac OS X.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 1.10. Estructura de OpenCv.



Fuente: O'REILLY, con base en información de [25], Enero 2013

La *figura 1.10* no incluye *CvAux*, que contiene las dos áreas inactivas (reconocimiento incrustado cara HMM) y algoritmos experimentales. Cada uno de los componentes de la estructura de OpenCv con su respectiva cabecera (.h) así como su descripción se puede apreciar en la *tabla 1.1*:

Tabla 1.1 Funciones más importantes de OpenCv

FUNCION	DESCRIPCION
CxCore	Contiene estructuras de datos, álgebra de matrices, transformaciones de datos, persistencia de objetos, gestión de memoria, gestión de errores, y la carga dinámica de código, así como el dibujo, texto y matemáticas básicas.
Cv	Contiene el procesamiento de imágenes, la estructura de análisis de imagen, el movimiento y el seguimiento, reconocimiento de patrones, y calibración de la cámara.
CvReference	Contiene funciones especiales, como gradientes, histogramas, calibración, etc.
CvAux	Son funciones en fase de prueba o experimentales.
CvCam	Interfaz para la cámara.
HighGUI	Son funciones de interfaz de usuario GUI e imagen y almacenamiento de vídeo y memoria.
MachineLearning (ML)	Contiene funciones de agrupamiento, clasificación y análisis de datos.

Fuente: O'REILLY, con base en información de [25], Enero 2013



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

1.2.2. Comparación entre el software OpenCv y otros software de visión por computador.

El software AForge [26] cuenta con librerías para la aplicación de filtrado de opciones (detección de bordes, umbrales, etcétera) y flexibilización de funcionalidades de visualización así como su excelencia para diferentes transformaciones y manipulación de imágenes. AForge no cuenta con ninguna operación de matrices, la cual es muy útil en visión por computador. Otros software que permiten diseñar e implementar los scripts de procesamiento de visión son: IMAQ de NI, el cual es un módulo de desarrollo de la empresa National Instruments, que incluye IMAQ VisionBuilder e IMAQ Visión; trabajan para simplificar el desarrollo de software de visión, IMAQ VisionBuilder es un ambiente interactivo que rápidamente proporciona prototipos de aplicaciones de visión. IMAQ Visión es una biblioteca de más de 300 funciones de visión de máquina [27]. OpenCv (Open source Computer Vision Library) es una librería desarrollada por Intel, utilizada para abordar problemas en el área de la visión por computador, y está especialmente diseñada para tratamiento, captura y visualización de imágenes en áreas como interfaz hombre-máquina, robótica, monitorización, biométrica y seguridad, es una librería libre, desarrollada en el lenguaje de programación C y C++, su éxito depende del hecho de que el puerto de C++ se actualiza activamente [28]. El toolbox de MATLAB: Integra herramientas para el análisis numérico, cálculo matricial, procesado de señales y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados en una forma sencilla [29].

1.3. REQUERIMIENTOS HARDWARE PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE VISION EN OPENCV [30]

Una de las características más importantes de OpenCv es que las funciones están totalmente optimizadas para los procesadores de arquitectura Intel, y particularmente para la tecnología MMXTM, Pentium® Pro, Pentium® III y Pentium® 4.

El software OpenCv trabaja en computadoras personales que están basadas en la arquitectura Intel y es totalmente integrable en aplicaciones escritas en C y C++. La versión más estable funciona sobre sistemas operativos Windows y están escritas en Ansi C. Aunque existen versiones de OpenCv para diferentes arquitecturas de procesadores [29], por ejemplo AMD así como para diferentes sistemas operativos como se puede ver en la *figura 1.11*. En nuestro caso se ha hecho uso en un computador QBEX ubicado en la banda transportadora del laboratorio de control de procesos con características hardware tales como el procesador Intel Pentium® Dual CPU 2200 de 2,20 GHZ, con memoria RAM de 0,99 GB y sobre la plataforma Windows y GNU/Ubuntu.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 1.11. Compatibilidad de OpenCv con otros sistemas operativos

	IA32	EM64T	IA64	Other (PPC, Sparc)
Windows	✓ (w. IPP; MSVC6, .NET2005+OMP, ICC, GCC, BCC)	✓ (w. IPP; MSVC6+PSDK.NE T2005+OMP, PSDK)	±(w. IPP; PSDK, some tests fail)	N/A
Linux	✓ (w. IPP; GCC, BCC)	✓ (w. IPP; GCC, BCC)	✓ (GCC, ICC)	✗
MacOSX	✓ (w. IPP, GCC, native APIs)	? (not tested)	N/A	✓ (iMac G5, GCC, native APIs)
Others (BSD, Solaris...)	✗	✗	✗	Reported to build on UltraSparc Solaris

Fuente: O'REILLY, con base en información de [25], Enero 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN POR VISIÓN DEL LCP [9]

En este capítulo se realiza una descripción general del proceso de clasificación en la planta existente en el laboratorio de control de procesos (LCP) en la Universidad del Cauca, enfatizando en la aplicación de visión de máquina que permite clasificar objetos sobre el transportador de banda del LCP, en uno de cuatro tipos preestablecidos de las dos clases de objetos implementados, tales como: piezas de PVC de cuatro formas (cruz, te, codo y círculo) y botellas con tapas de cuatro colores (azul, roja, blanca y verde).

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN

El resultado del trabajo de grado realizado por los estudiantes María Fernanda Pérez Sandoval y Oscar Duvier Velasco Delgado acerca del proceso de clasificación de piezas implementada en la banda transportadora del LCP, que consistió en cambiar la trayectoria de cada una de las piezas que se mueven sobre la banda principal del transportador, en una de cuatro posiciones predeterminadas según el tipo de pieza.

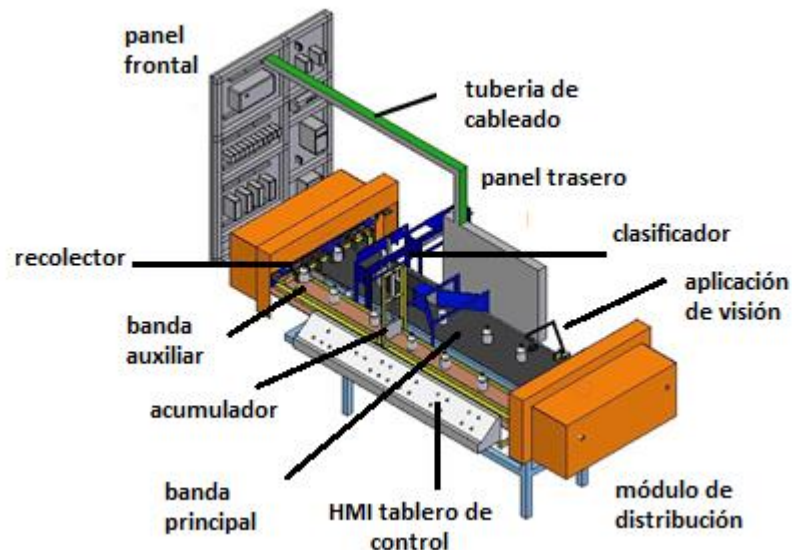
Actualmente el proceso de clasificación se puede realizar a dos grupos de piezas: botellas, o piezas de PVC, por lo tanto, se debe seleccionar cual es el grupo de piezas que se desea clasificar, debido a que los scripts de procesamiento son diferentes para cada uno de estos grupos; además de escoger la velocidad deseada de la banda principal del transportador y la cantidad de piezas a clasificar.

Luego de seleccionar el grupo de piezas a clasificar, la cantidad, y la velocidad deseada, se ubican sobre la banda auxiliar para iniciar el proceso de clasificación, llegan al módulo mecánico de distribución, compuesto de un acumulador y un distribuidor que se encargan de controlar el paso de las piezas hacia la banda principal; al llegar a la banda principal, se encuentra con la aplicación de visión de máquina, donde se detecta la presencia de la pieza, se ejecutan los scripts de procesamiento los cuales son los encargados de dar la orden de capturar la imagen de la pieza y de procesarla, y con base en la respuesta de clasificación dada por los scripts, se genera la orden de la posición que debe tener el clasificador mecánico según el tipo de pieza, para que esta sea clasificada correctamente, cambiando su trayectoria, si es del tipo uno la ubica entre 0 y 10 cm, si es del tipo dos entre 10 y 20 cm, si es del tipo tres entre 20 y 30 cm; y si es del tipo cuatro entre 30 y 40 cm del borde de la banda; luego de que la pieza ha sido clasificada, llega hasta el recolector que se encarga de ubicar la pieza nuevamente en la banda auxiliar generando un flujo continuo de piezas. Como se puede apreciar en la figura 2.1.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.1. Planta de Clasificación



Fuente: Elaboración propia, Enero de 2013.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN

La planta de clasificación está compuesta principalmente por un transportador de banda, al cual se le han agregado algunos elementos para conformar finalmente tres módulos mecánicos que permiten la realización del proceso de clasificación como se observa en la Figura 2.2: Módulo mecánico de transporte, módulo mecánico de distribución y módulo mecánico de clasificación.

Figura 2.2. Diseño mecánico modular de la planta de clasificación.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

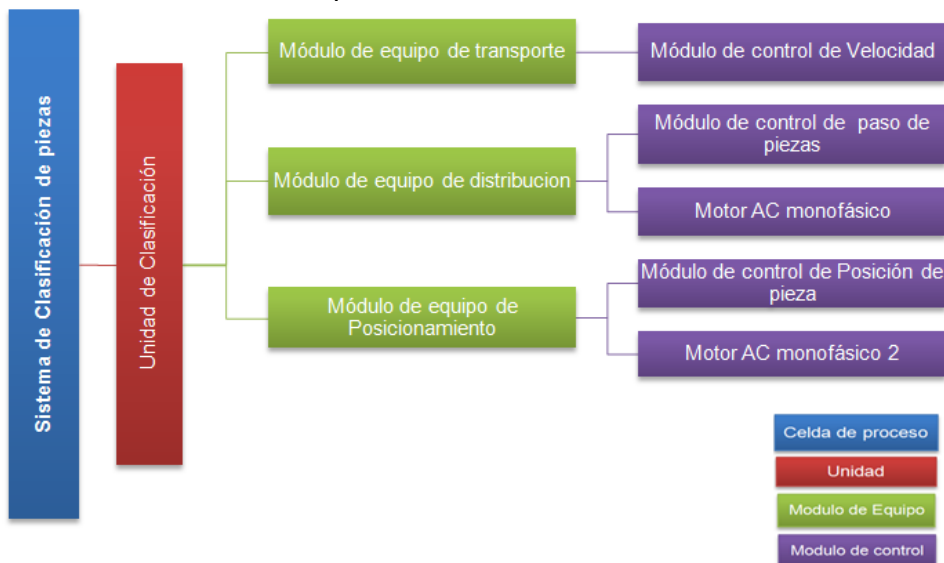


Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Cada uno de estos tres módulos mecánicos tiene asociada una instrumentación, conformando así tres Módulos de Equipo que permiten la realización de las cuatro operaciones del proceso de clasificación (transportar, distribuir, procesar y posicionar) con sus respectivas acciones de proceso: Módulo de Equipo de Transporte, Módulo de Equipo de Distribución y Módulo de Equipo de Posicionamiento.

Estos módulos de equipo hacen parte de la unidad de clasificación “sistema de clasificación de piezas”; conformando así el modelo físico que se observa en la Figura 2.3.

Figura 2.3. Modelo físico celda de proceso de clasificación

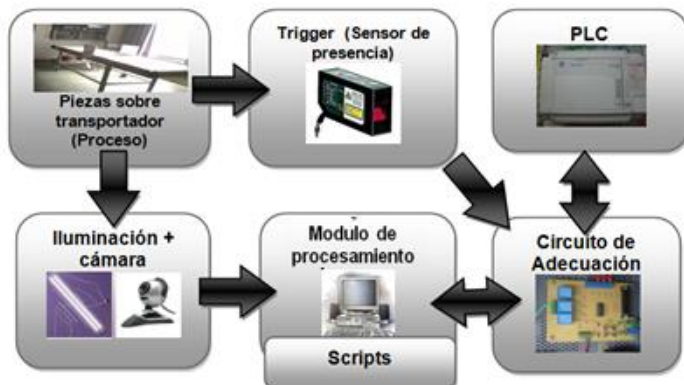


Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

2.3. ELEMENTOS DE LA APLICACIÓN DE VISIÓN

Para el desarrollo de la aplicación de visión de máquina se utilizan elementos hardware y software, que permiten cumplir todas las etapas de procesamiento y análisis de cada imagen, como se observa en la figura 2.4.

Figura 2.4. Elementos de la aplicación de visión de máquina.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

El sensor de presencia o *Trigger* detecta la presencia de la pieza, los *scripts* ejecutan las líneas de código que permiten a la *webcam* capturar una imagen de la pieza y procesarla (pre procesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación de patrones), hasta obtener la respuesta de clasificación, que es enviada al PLC, el cual envía una orden al actuador del sistema de clasificación para ejecutar la decisión. El circuito de adecuación permite ajustar las señales de entrada y salida al módulo de procesamiento.

2.3.1. Elementos hardware

Es la parte tangible de esta aplicación de visión, permite desarrollar todas las etapas necesarias para lograr el correcto reconocimiento de patrones y de esta forma clasificar la pieza que se encuentra sobre la banda, en alguno de los cuatro tipos preestablecidos. A continuación se describen cada uno de los elementos que conforma la aplicación de visión.

2.3.1.1. *Trigger* o gatillo

Es un sensor óptico infrarrojo que se conecta por medio de un circuito de adecuación al pin 14 del puerto paralelo del computador, permite detectar la presencia de una pieza frente a la *webcam*, y da inicio a la ejecución de la rutina de procesamiento de la imagen capturada. En la *figura 2.5*. Se observa el *Trigger* del fabricante RIKO usado anteriormente en el proyecto.

Figura 0.5. Sensor de presencia RIKO.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

2.3.1.2. *Elemento de captura de imagen*

Actualmente está ubicado sobre la banda principal y permite capturar una imagen de la escena, recibe las propiedades luminosas del objeto y las transforma en señales digitales, está conformado por una cámara web Logitech C210 conectada por un puerto USB del módulo de procesamiento (computador). Permite tomar imágenes de 640 x 480 píxeles. En la *figura 2.6* se observa la *webcam* utilizada en este proyecto.

Figura 0.6 *Webcam* Logitech C210



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

2.3.1.3. Elemento de iluminación

En el laboratorio donde actualmente se encuentra el sistema de clasificación, tiene una iluminación propia (luz fluorescente en el techo) y una iluminación natural (por las ventanas), que producen una iluminación ligeramente variable y no adecuada en ciertos momentos. En esta aplicación de visión se ha utilizado solo la iluminación propia del laboratorio, por lo cual es necesario mantener las ventanas cerradas. Y actualmente se generan problemas para obtener un buen contraste entre la pieza y el fondo, debido a la aparición de brillos y sombras que alteran las propiedades de las piezas de estudio a causa de la iluminación poco eficiente lo que causa que en las piezas ocurran brillos inoportunos.

2.3.1.4. Módulo de procesamiento

El módulo de procesamiento es un computador *Qbex* donde se ejecutan los scripts, modelo Apolo 4810297, como se observa en la *figura 2.7*. Este computador presenta las siguientes características: memoria RAM 1 Gb, procesador Intel Pentium Dual 2.20 GHz, con un puerto USB que permite conectar la *webcam* y un puerto paralelo para comunicarse con el *Trigger* y el PLC por medio de un circuito de adecuación; actualmente tiene instalado el sistema operativo Ubuntu 10.02 y las librerías de OpenCv necesarias para el diseño de los *scripts* de procesamiento y los respectivos compiladores para ejecutarlos.

Figura 2.7. Módulo de procesamiento en un Computador *Qbex*.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

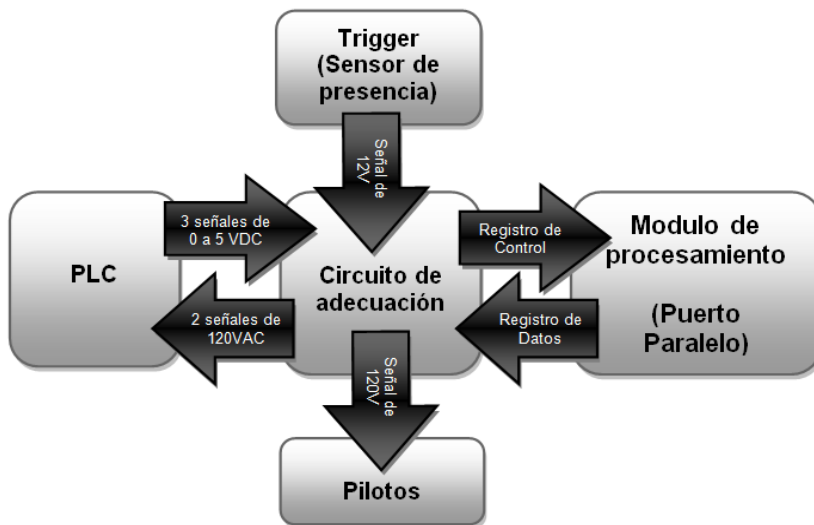
2.3.1.5. Circuito de adecuación

El circuito de adecuación permite comunicar el módulo de procesamiento con el PLC, el *Trigger*, y pilotos indicadores por medio del puerto paralelo como se observa en la *figura 2.8*. El *Trigger* indica la presencia de cada pieza en la cámara; el PLC indica el tipo de *scripts* a utilizar para la clasificación (PVC o botellas), el sensor de posición indica cuando una pieza está en el clasificador y recibe la decisión de clasificación luego de que el módulo de procesamiento ha terminado de procesar cada imagen; y los pilotos en el panel HMI se encienden al recibir la señal indicando el tipo *scripts* a utilizar.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.8. Diagrama de bloques del Circuito de adecuación



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Se utiliza el registro de datos y control del puerto paralelo del módulo de procesamiento, como salidas y entradas respectivamente en su comunicación con el resto de elementos, como se indica en el *cuadro 2.1*.

Cuadro 2.1. Configuración de pines y funciones en el puerto paralelo

Pin	registro	Origen/ destino	Función
1	Control	Entrada desde el PLC	Indica que la pieza ingresa al clasificador.
2	Datos	Salida hacia el PLC	Primer bit que Indica el resultado de clasificación
3	Datos	Salida hacia el PLC	Segundo bit que indica el resultado de clasificación
4	Datos	Salida hacia luz piloto	Indica que se están clasificando piezas de PVC
5	Datos	Salida hacia luz piloto	Indica que se están clasificando Botellas
14	Control	Entrada desde <i>Trigger</i>	Indica la presencia de la pieza en <i>webcam</i>
16	Control	Entrada desde el PLC	Primer bit que indica la clase de pieza a clasificar
17	Control	Entrada desde el PLC	Segundo bit que indica la clase de pieza a clasificar

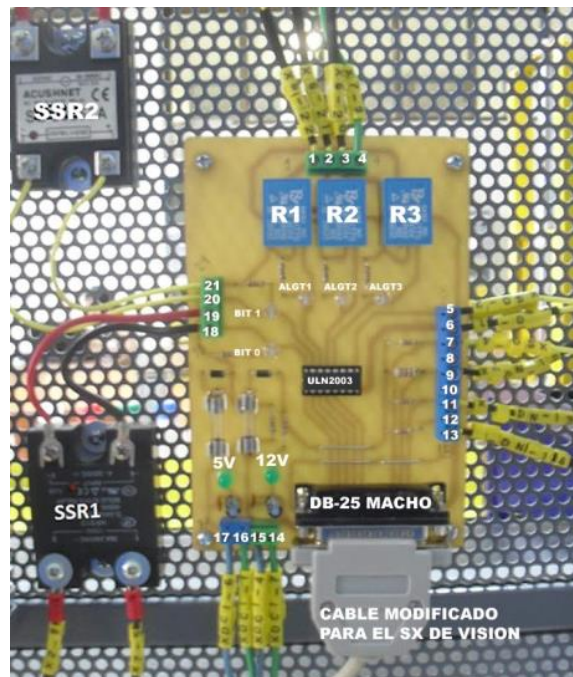
Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Debido a que el puerto paralelo permite enviar y recibir datos mediante lógica TTL, y se activa en bajo, el circuito de adecuación permite ajustar las señales de salida de 5V del LPT a señales de 120VAC que sirvan de entradas para el PLC y para los pilotos; y adecuar las señales de salida del PLC y la señal de 12V del *Trigger* a señales de 0-5V. En la *figura 2.9*. Se observa el circuito actual.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.9. Circuito de adecuación de las señales de entrada y salida del módulo de procesamiento.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

2.3.2. Elementos software

Los elementos software son el soporte lógico de la aplicación de visión de máquina, están compuestos principalmente por los *scripts* de procesamiento, que contiene todas las líneas de código para el desarrollo de las etapas de procesamiento de cada imagen y comunicación con el resto del sistema de clasificación; junto a los elementos necesarios para su ejecución: sistema operativo, compilador y librerías.

2.3.2.1. Sistema operativo

El sistema operativo elegido para trabajar en el proyecto es Linux, específicamente Ubuntu 10.04, el cual es un sistema operativo de distribución libre y estable, que además brinda beneficios que permite trabajar en tiempo real (suave) como se necesita en este proyecto, incluye todas la herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones sin costos económicos adicionales.

2.3.2.2. Compilación

El compilador es la herramienta principal para el desarrollo de aplicaciones debido a que convierte el código fuente a su forma ejecutable. Existe una amplia variedad de compiladores disponibles para Linux, para esta aplicación se usa el compilador GCC "*GNU CompilerCollection*", el cual incluye una variedad de lenguajes como C, C++, Java y Fortran.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

2.3.2.3. Librerías

Por comodidad se eligió OpenCv “*OpensourceComputerVisionLibrary*”, un conjunto de librerías libre para el tratamiento de imágenes, destinada principalmente a aplicaciones de visión por computador en tiempo real. Es una librería abierta desarrollada por Intel, proporciona un alto nivel de funciones para el procesamiento de imágenes, y permiten a los programadores crear aplicaciones poderosas en el dominio de la visión por computador. OpenCv ofrece muchos tipos de datos de alto-nivel como juegos, gráficos, matrices, etc. Liberada bajo licencia libre desde el 2000, se ha mantenido en constante desarrollo. Siendo actualmente una de las más completas librerías de procesamiento de visión de máquina, está escrita en C, y funciona en plataformas Windows y Linux.

OpenCv permite operaciones básicas, procesamiento de imágenes, análisis estructural, análisis de movimiento, reconocimiento del modelo, reconstrucción 3D y calibración de la cámara, interfaz gráfica y adquisición, etc. Implementa una gran variedad de herramientas para la interpretación de la imagen, algoritmos para la detección de bordes, extracción de contornos, aproximación poligonal, álgebra lineal, convoluciones, operaciones morfológicas, cálculo de histogramas, etc. Está compuesta por cinco librerías: CV que tiene algoritmos de visión artificial; CVAUX que incluye funciones auxiliares; CXCORE que incluye funciones de álgebra lineal, representación digital de imágenes y tipos básicos; HighGUI, permite interfaz de usuario, soporte para imagen y video; y ML (*Machine Learning*) tiene clases y funciones para clasificación, regresión y agrupamiento de datos.

2.3.2.4. Scripts de procesamiento de imágenes

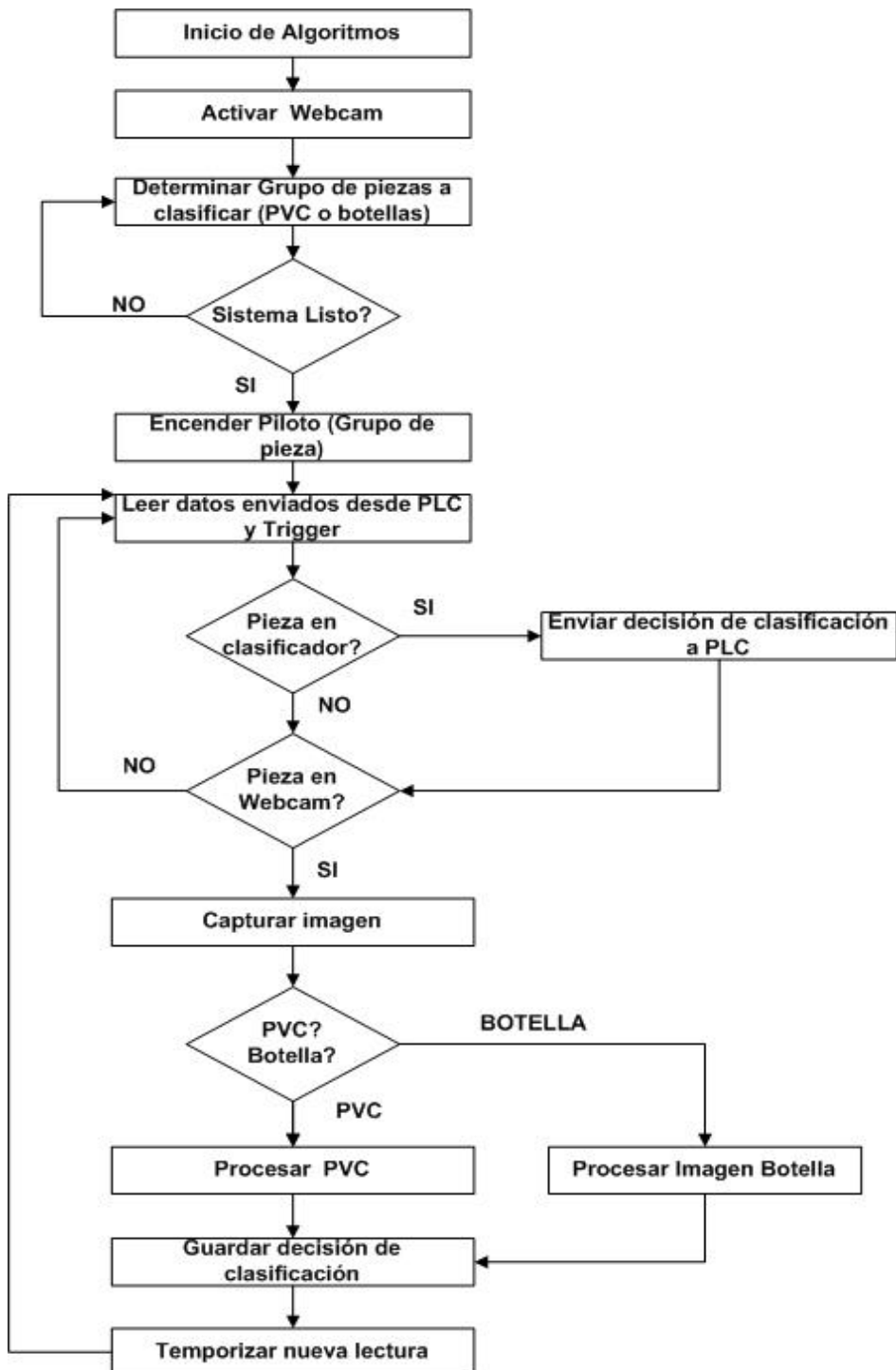
Los *scripts* de procesamiento digital de imágenes están diseñados en lenguaje C++, permiten comunicarse mediante el puerto paralelo con el PLC y con el *Trigger*, y ejecutar las etapas de procesamiento de cada imagen: capturar, procesar y clasificar una imagen de cada pieza; están compuestos por una rutina principal, dos subrutinas de procesamiento de imágenes, que se ejecutan según el grupo al que pertenezca la pieza (PVC o botella), y una subrutina de almacenamiento de la decisión de clasificación.

Mediante las librerías de OpenCv se permite acceder a la *webcam* para adquirir imágenes en tiempo real de las piezas, y procesarlas basándose en todas las etapas básicas de una aplicación de visión de máquina; en el diagrama de flujo de la *figura 2.10*. Se observa que en la rutina principal se determina el tipo de pieza a clasificar y cada vez que detecta una nueva pieza frente a la *webcam* se ejecuta la subrutina específica para el tipo de pieza, en cada subrutina se ejecutan las etapas de procesamiento y análisis de la imagen para generar la decisión de clasificación.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.10. Diagrama de flujo de la rutina principal de los scripts de procesamiento.



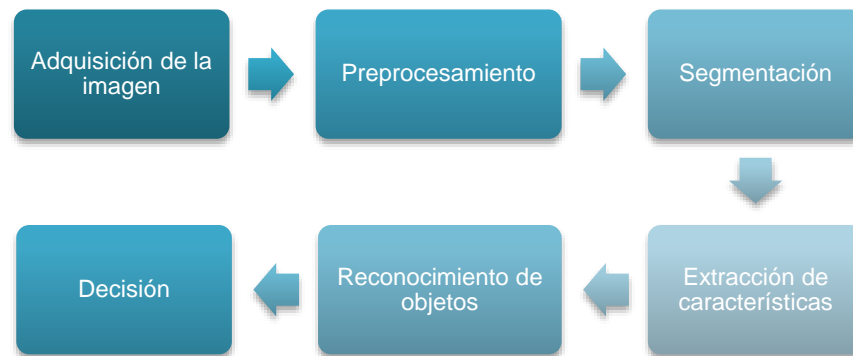
Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.



2.4. ETAPAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE IMÁGENES

En una aplicación de visión de máquina se incluyen diversas técnicas, como el procesamiento de imágenes (captura, transformación, segmentación, codificación de imágenes), y el reconocimiento de formas (teoría estadística de decisiones, enfoques sintácticos y redes neuronales aplicados a la clasificación de patrones), además de técnicas de modelado geométrico y procesos de conocimiento. En esta sección se describen las etapas de procesamiento de imagen que hacen parte de la aplicación de visión del actual proyecto, las cuales se observan en la *figura 2.11*.

Figura 2.11. Etapas de ejecución de las rutinas de procesamiento de los scripts.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Las subrutinas de procesamiento de los dos grupos de piezas a clasificar: PVC y botellas, utilizan las mismas etapas, aunque algunas de estas se realizan con diferentes técnicas.

2.4.1. Adquisición de la imagen

La etapa de adquisición de imágenes tiene como propósito el manejo de la cámara, para la visualización y configuración de la aplicación de clasificación. La programación de esta etapa está basada en las instrucciones *cvCaptureFromCAM*, y *cvQueryFrame*, que hacen parte de la librería *OpenCv*, y que será utilizada por los *scripts* de procesamiento para adquirir la imagen de cada pieza que pasa frente a la *webcam*. Las imágenes se adquieren con un valor de intensidad de los píxeles codificado en 8 bits.

En la *figura 2.12*. Se observan cuatro imágenes de las piezas de PVC a clasificar obtenidas por la *webcam* Logitech C210 ubicada a una altura de 30 cm de la banda, cuando la banda se encontraba en movimiento a una velocidad de 20 cm/s. El orden de las imágenes es el mismo usado para la clasificación; la pieza con forma de 'cruz' es la pieza tipo uno, la pieza con forma de 'codo' es la tipo dos, la pieza con forma de 'círculo' es la tipo tres y la pieza con forma de 'te' es la tipo cuatro.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 2.12. Grupo de piezas de PVC a clasificar (Forma: te, círculo, codo, y cruz).



Fuente: Monografía. Con base en información de [9], Enero de 2013

Con las mismas condiciones anteriores, para la cámara y la banda, en la *figura 2.13*. se observan cuatro imágenes de las botellas de 9 cm de altura y un diámetro de tapa de 3 cm, que se deben clasificar; la botella con tapa de color verde es la pieza tipo uno, la botella con tapa de color blanco es la tipo dos, la botella con tapa de color rojo es la tipo tres y la botella con tapa de color azul es la tipo cuatro.

Figura 2.13. Grupo de botellas a clasificar (Color tapa: azul, rojo, blanco, y verde).



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013

2.4.2. Pre-procesamiento

Una etapa importante de la visión de máquina es el pre-procesamiento de imágenes, que permite eliminar los problemas de ruido debido a la iluminación variable. La utilización de estas técnicas permite el mejoramiento de las imágenes adquiridas, facilitando la obtención de características que permiten el reconocimiento de cada pieza. A continuación se mencionan las técnicas de pre-procesamiento empleadas.

- **Filtro:** El empleo de máscaras espaciales para el procesamiento de las imágenes, se denomina frecuentemente filtrado espacial, y las propias máscaras se denominan filtros espaciales. Dentro del filtrado espacial, existen los filtros suavizantes, que se emplean para hacer que la imagen aparezca algo borrosa y también para reducir el ruido. En esta aplicación se usa la función *CVsmooth*, que permite realizar un filtro de media a la imagen inicial para eliminar ruido por la iluminación variable.
- **Conversión a Escala de Grises:** En esta parte se trata la conversión de una imagen en color a escala de grises, el equivalente a la luminancia de la imagen. Como se sabe el órgano visual humano percibe distintas intensidades de luz en función del color que se observe, esto es debido a la respuesta del ojo al espectro visible, por esa razón el cálculo de la escala de grises o luminancia de la imagen debe realizarse como una media ponderada de las distintas componentes de color de cada pixel. para ello se utiliza la

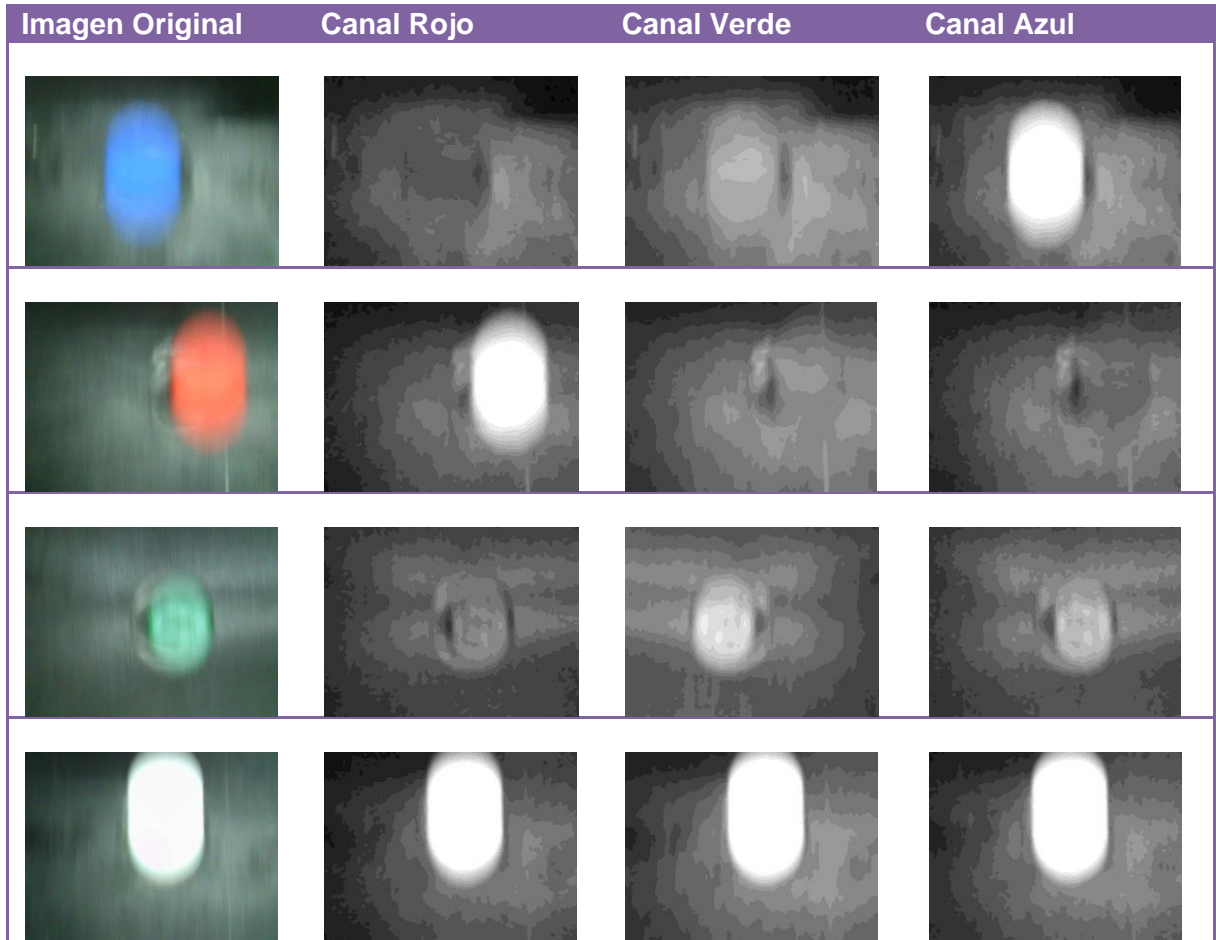


Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

función *cvsplit* que permite separar la imagen en el espectro RGB, obteniendo 3 nuevas imágenes a partir de la inicial.

En el *cuadro 2.2* se observan las imágenes originales de los cuatro tipos de botellas, y las respectivas imágenes de los tres canales del espectro RGB de cada una; la intensidad de los grises del objeto de cada canal varía de acuerdo al color de la tapa de la botella, lo que hace fácil diferenciarlas.

Cuadro 2.2. Relación de imágenes de botellas y los tres canales del espectro RGB



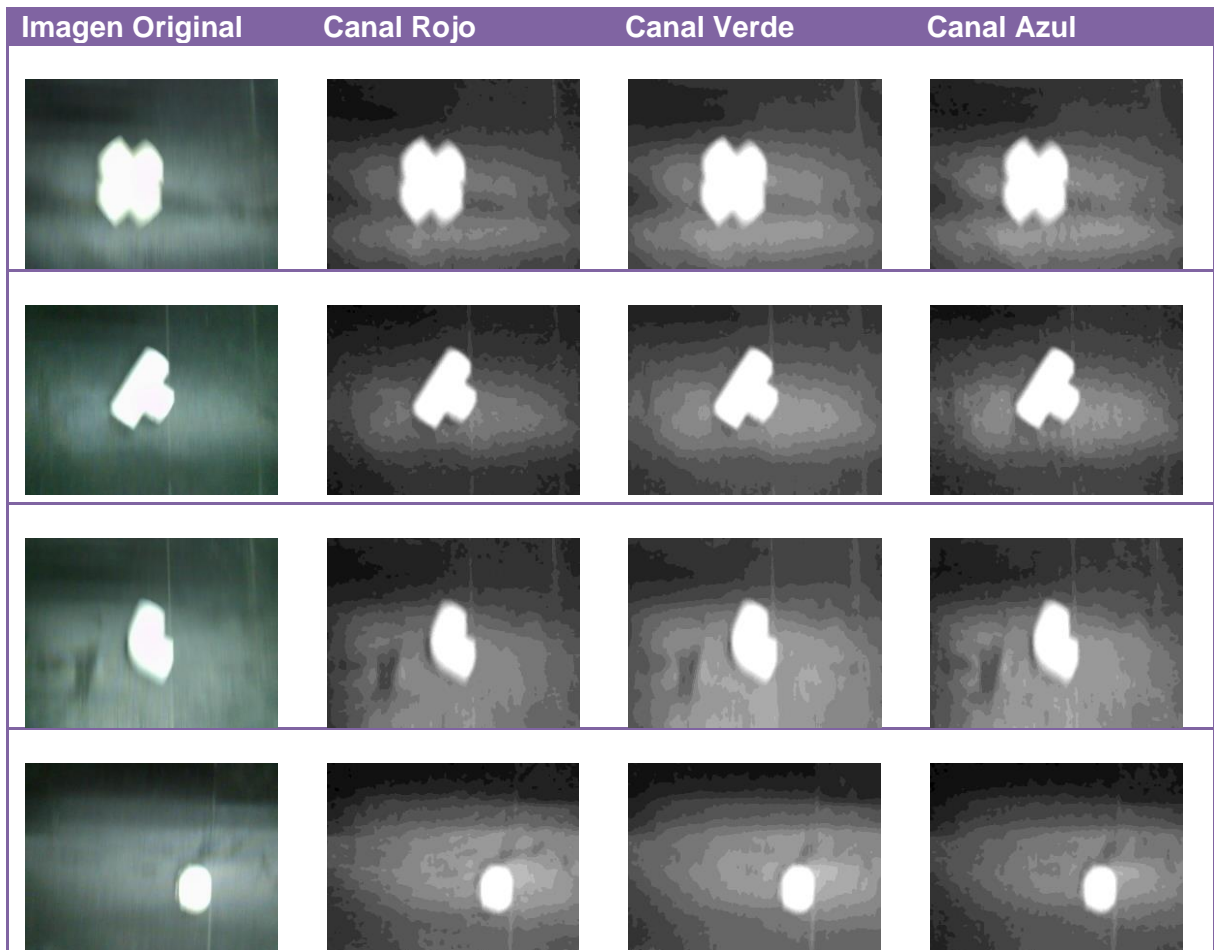
Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Debido a que las piezas de PVC son del mismo color (blanco), no es posible hacer una diferenciación como en las imágenes de las botellas, en el *cuadro 2.3*. Se observa que los tres canales del espectro RGB de cada pieza de PVC tiene la misma intensidad, por lo cual se puede usar cualquiera de las tres imágenes para las etapas siguientes. En esta aplicación se ha usado el canal rojo.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Cuadro 2.3. Relación de imágenes de las piezas de PVC y los tres canales RGB.



Fuente: Monografía. Con base en información de [9], Enero de 2013

2.4.3. Segmentación

La segmentación consiste en dividir la imagen en regiones que son de interés, denominadas objetos, y el fondo, constituido como la región que no presenta interés particular. El proceso de segmentación se encarga de evaluar si cada pixel de la imagen pertenece o no al objeto de interés. Para la segmentación de las piezas, se realizó una umbralización, que es una técnica de segmentación la cual se emplea cuando hay una clara diferencia entre los objetos a extraer respecto del fondo de la escena, como en este caso resulta ser la diferencia de cada pieza de la banda negra del transportador. Al aplicar un umbral, la imagen pasa a ser binaria. La aplicación de este umbral se realiza mediante la función $cvThreshold$ que actúa de acuerdo a la Ecuación 2.1, donde f y g son las imágenes de entrada y salida respectivamente y B es el valor de umbral elegido, en esta aplicación el valor de umbral óptimo es 240 en el caso de las piezas de PVC, y 210 en el caso de las botellas.

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{para } 0 \leq f(x,y) \leq B \\ 1 & \text{para } B \leq f(x,y) \leq 255 \end{cases} \quad (2.1)$$



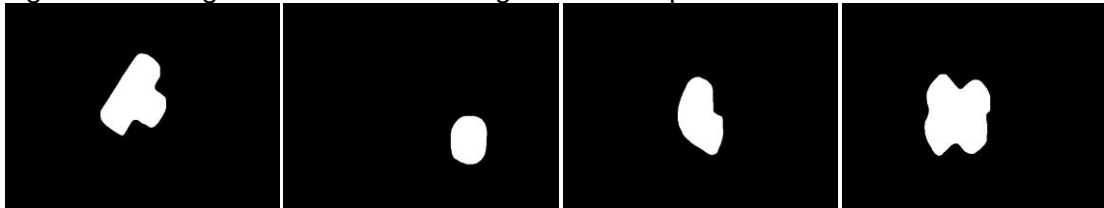
Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Para el grupo de las piezas de PVC, solo se segmentó uno de los canales del espectro RGB, debido a que la segmentación en los tres canales generaba un resultado muy similar, para esta aplicación se utilizó el canal rojo; en el caso de las botellas se hizo la segmentación de los tres canales, debido a que la notoria diferencia entre estas, facilita las etapas posteriores del procesamiento.

Por último se emplean transformaciones morfológicas de dilatación y erosión para eliminar el ruido, preservando el área de regiones conectadas con mayor precisión, y de esta forma obtener una imagen adecuadamente segmentada para la extracción de características. Las funciones de OpenCv utilizadas para esto fueron *cvDilate* y *cvErode*.

En la figura 2.14. Se observan las cuatro piezas de PVC segmentadas a partir del canal rojo.

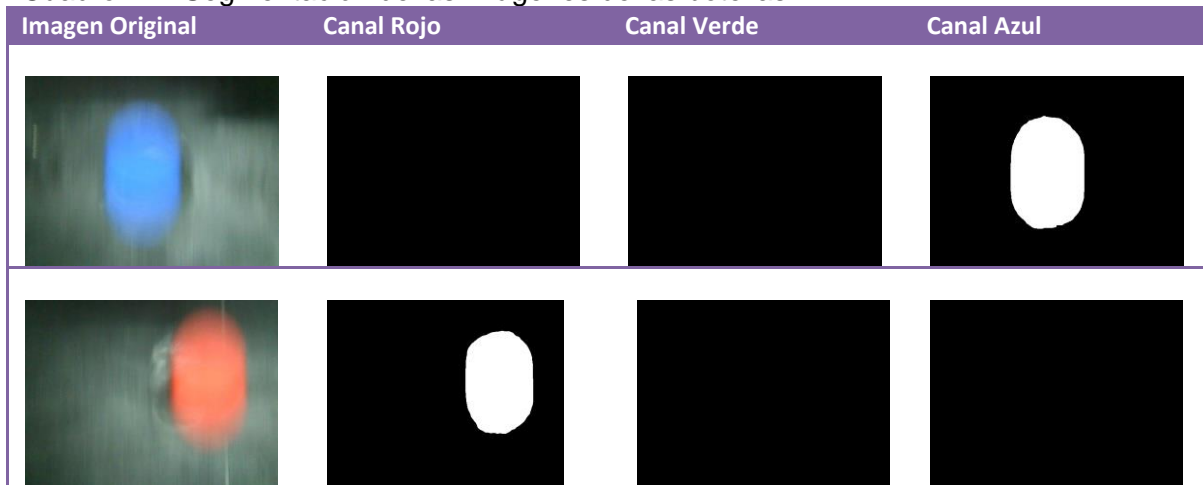
Figura 2.14. Segmentación de las imágenes de las piezas de PVC.



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

En el *cuadro 2.4*.se observan las botellas segmentadas a partir de cada canal del espectro RGB, una tapa de color azul esta mejor segmentada en el canal azul, una tapa de color rojo en el canal rojo, una tapa de color verde en el canal verde, y una tapa de color blanco se visualiza en los tres canales.

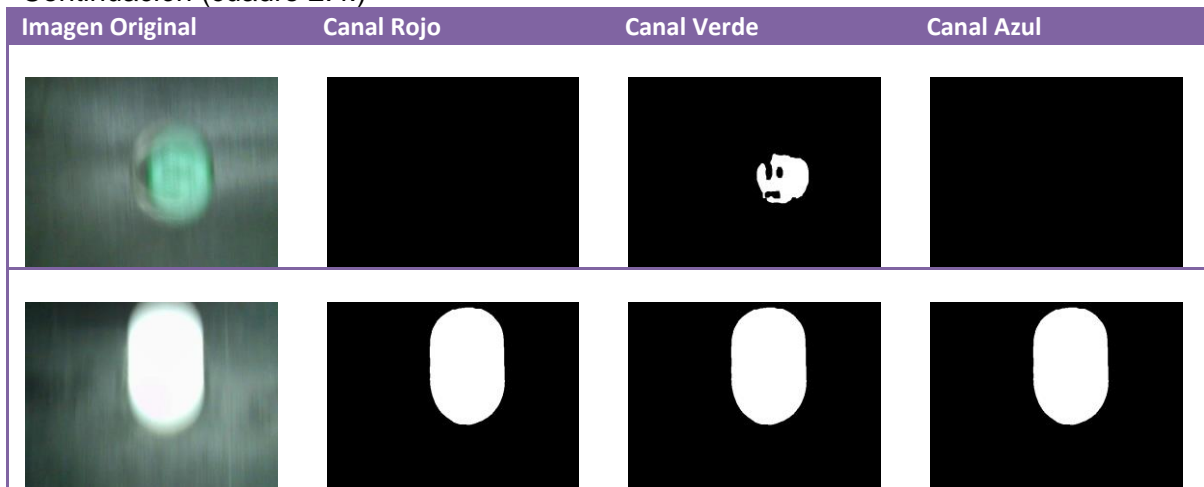
Cuadro 2.4. Segmentación de las imágenes de las botellas





Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Continuación (cuadro 2.4.)



Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

2.4.4. Extracción de características

Con las imágenes segmentadas, se realiza la medición de las características de cada uno de los objetos de interés. Para cada grupo de piezas se hizo una extracción de características diferentes; en el caso de las botellas las cuales se clasifican por el color de la tapa, solo se necesita del área de la imagen de cada canal del espectro RGB; mientras que para las piezas de PVC se hace una clasificación con base en la forma, por lo cual es necesario extraer otras características geométricas y morfológicas que permitan diferenciarlas.

2.4.4.1. Botellas

Teniendo la imagen de cada botella segmentada en los tres canales del espectro RGB, se puede obtener el área del objeto de interés de cada una de estas sumando los píxeles de color blanco, es decir, los que tienen un valor binario 1. Para esto se hace un recorrido por los píxeles de cada imagen, y con la función *cvGet2D* se obtiene el valor de intensidad de cada píxel, al finalizar de recorrer la imagen, se obtiene el área de la zona segmentada. En la *tabla 2.1*. Se observa el promedio del área (píxeles) de cada tipo de botella en cada canal del espectro RGB, calculado con 20 imágenes de prueba de cada una.

Tabla 2.1. Relación de área promedio de cada botella y el canal del espectro RGB

Tipo de botella	Canal rojo(píxeles)	Canal Verde(píxeles)	Canal Azul(píxeles)
Tapa Roja	26159,15	20,84	0
Tapa Verde	0	17656,85	265,08
Tapa Azul	0	47,15	27031,62
Tapa Blanca	32567,38	33962,62	32199,0769

Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Como se puede observar, los valores del área de cada canal varían notoriamente de acuerdo al color de la tapa de la botella, lo que hace fácil diferenciarlas.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

2.4.4.2. Piezas de PVC

Para las imágenes segmentadas de las piezas de PVC, se reúnen los píxeles del borde en contornos. En OpenCv los contornos son representados por secuencias en las que cada entrada en la secuencia codifica la información sobre la ubicación del siguiente punto de la curva. Las funciones utilizadas para hallar estos contornos son *cvFindContours* y *cvStartFindContours*.

Con estos contornos se pueden obtener características geométricas y morfológicas de las piezas, en esta aplicación se utilizó: longitud, largo, área, relación de aspecto, perímetro, factor de forma y retangularidad de cada pieza, pero finalmente se utilizaron: área y perímetro debido a que presentaban mayor diferenciación para las piezas. Los cuales se explican a continuación:

- Área de la pieza: valor en píxeles de la superficie, número de píxeles de valor binario 1 en la imagen segmentada de la pieza. Se calcula a partir de los momentos de contorno. En términos generales, un momento es una característica del contorno calculado mediante la integración sobre todos los píxeles del contorno. Para hallar el área se utilizan las funciones *cvMoments* y *cvGetSpatialMoment*.
- Perímetro de la pieza: calculado como el número de píxeles en el margen de la pieza (contorno), se utilizó la función *cvContourPerimeter*.

En la *tabla 2.2*. Se observa el promedio de características de los cuatro tipos de piezas de PVC obtenido a partir de 20 imágenes de prueba.

Tabla 2.2. Relación entre tipo de pieza y el valor promedio de cada característica

Pieza	Área (píxeles)	Perímetro(píxeles)
Cruz	51730	644,12
Codo	33932,8	483,33
Círculo	18838,6	297,78
Te	44698,2	593,21

Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

Como se puede observar los valores de ambas características (área y perímetro) varían de acuerdo a la forma de la pieza, lo que hace posible utilizar un método de comparación para diferenciar cada pieza.

2.4.5. Reconocimiento de objetos

A partir de las características de las piezas, se puede hacer un reconocimiento del tipo de pieza para finalmente tomar la decisión de clasificación; en ambos casos (botellas y piezas de PVC) se hace una comparación por umbral.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

2.4.5.1. Botellas

El reconocimiento de las botellas se realiza comparando el área obtenida de cada canal con un valor de referencia; este valor de referencia se determinó luego de obtener el promedio de área de cada canal, para cada tipo de pieza. A pesar del margen de error, y a excepción de las botellas de tapa blanca, una pieza solo tiene un área mayor de 1000 en solo uno de los tres canales, en el caso de la tapa blanca el área es mayor de 1000 en los tres. Por lo tanto para determinar el color de la tapa se realiza la comparación que se observa en *tabla 2.3*.

Tabla 2.3. Valores de comparación entre las diferentes botellas y el área de cada canal

Color de la tapa	canal rojo	canal verde	canal azul
Azul	-	-	Área > 1000
Rojo	Área > 1000	-	-
Blanco	Área > 1000	Área > 1000	Área > 1000
Verde	-	-	Área > 1000

Fuente: Monografía, Con base en información de [32], Enero de 2013.

2.4.5.2. Piezas de PVC

El reconocimiento de las piezas de PVC, se realizó comparando el área y el perímetro del canal rojo por medio de unos valores de referencia obtenidos del análisis de características hecho previamente. Por lo tanto, para determinar la forma de las piezas de PVC se realiza la comparación que se observa en la *tabla 2.4*.

Tabla 2.4. Valores de comparación entre las características de las piezas de PVC

Pieza de PVC	Área	Perímetro
Cruz	Área > 47000	Perímetro > 610
Codo	Área > 26000 y Área < 36000	Perímetro > 350 y Perímetro < 500
Círculo	Área < 26000	Perímetro < 350
Te	Área > 35000 y Área < 47000	Perímetro > 500 y Perímetro < 610

Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.

2.4.6. Decisión

Al reconocer el color de la tapa en el caso de las botellas, o la forma en el caso de las piezas de PVC, se puede determinar el tipo de pieza y modificar la salida del puerto paralelo que está conectada al PLC, como se observa en *cuadro 2.5*.

Cuadro 2.5. Relación entre el tipo de piezas y los bits de clasificación en el puerto Paralelo.

Tipo de pieza	Pin3- Pin2(Salida)		Botellas	Piezas de PVC
tipo1	0	0	Verde	Cruz
tipo2	0	1	Blanco	Codo
tipo3	1	0	Rojo	Círculo
tipo4	1	1	Azul	Te

Fuente: Monografía, Con base en información de [9], Enero de 2013.



CAPITULO 3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VISION

En este capítulo se expone, a partir de las definiciones del sistema de visión descritas en los anteriores capítulos, como se procedió a mejorar cada punto del sistema de visión, tanto de hardware, como software, tipos de clasificación, mostrando los diagramas circuitales e implementación de la interfaz gráfica para monitorear el paso y clasificación de las piezas que circulan a través de la banda transportadora.

3.1. ELEMENTOS HARDWARE

Para lograr el correcto reconocimiento de patrones y de esta forma clasificar las botellas que se encuentran sobre la banda, en alguno de los cuatro tipos preestablecidos, según el algoritmo seleccionado, se realizaron los siguientes cambios en el hardware y se describen a continuación.

3.1.1. Elemento de captura de imagen

La cámara web Logitech C210, encargada de tomar las imágenes de las piezas, fue remplazada por una cámara web Logitech C615, esta toma imágenes más nítidas y colores más definidos, como características tiene una resolución de 640x480 pixeles, toma fotos hasta de 8 megapíxeles reales, es FULL HD, superando las características de la cámara Logitech C210 [32].

Figura 3.1. Cámara web Logitech C615



Fuente: Logitech, con base en información de [32]

3.1.2. Mecanismo para la posición de la cámara

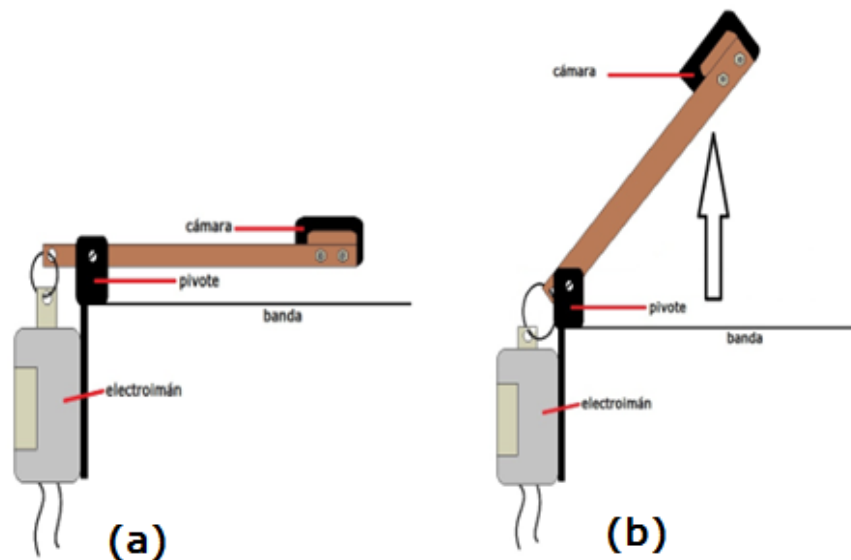
Por lo visto en el segundo capítulo, la toma de las imágenes de forma lateral no brinda un buen resultado a velocidades medias o altas de la banda, por lo tanto se decidió que la cámara se ubique de frente al flujo de las piezas, debido a que en esta posición, obtuvimos mejores imágenes, comparadas con imágenes tomadas desde otras posiciones como es lateralmente o frontalmente con un pequeño ángulo de inclinación, de tal forma que permita el flujo de las piezas, además, en la posición de frente al flujo de las piezas, nos permite reconocer mayor número de características, comparadas si se ubicara la cámara en la parte superior, como lo tenía el sistema inicialmente. Para lograr



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

posicionar la cámara en frente al flujo de las piezas, fue necesario diseñar un mecanismo, que permita mover la cámara una vez se haya tomado la imagen y regrese a su posición inicial, permitiendo el flujo de las piezas, este mecanismo consiste en un pivote, en el cual en uno de sus extremos está la cámara y en el otro extremo un pestillo de aproximadamente 2 cm de longitud, movido por un electroimán, que tiene un circuito de control, permitiendo temporizar adecuadamente el mecanismo para tener elevada la cámara, logrando así, el flujo de las piezas, como se puede ver en la figura 3.2.

Figura 3.2. Mecanismo para el movimiento de la cámara. (a) posición inicial del pivote. (b) posición final del pivote.



Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013

Circuito para temporizar el electroimán

Para temporizar el electroimán que acciona el pivote y este a su vez hace mover la cámara, se tomó la señal del Trigger que detecta la pieza para poder sincronizar el movimiento de la cámara con el flujo de las piezas, a esta señal fue necesario pasarla por un integrado Schmitt Trigger DC40106BE para eliminar problemas de ruido e impedancias que se tenían si se colocaba directamente al temporizador, se utilizó el circuito integrado 74221 que es un multivibrador monoestable, doble y no redispersable, el cual lo rige la ecuación 3.1 para el cálculo de los tiempos de temporización. El ciclo inicia cuando el Trigger detecta la pieza en este momento debe esperar 207ms, tiempo suficiente para capturar la imagen, dicho tiempo lo realiza el temporizador T1, que tiene asociado un capacitor de 10uf y una resistencia de 30kΩ, al remplazar estos valores en la ecuación 3.1, se obtiene los 207ms esperados, como se demuestra en la ecuación 3.2.

$$T = Ln 2 * R * C. \quad (3.1)$$

$$T1 = Ln 2 * 30k\Omega * 10\mu f \approx 207ms. \quad (3.2)$$

$$T2 = Ln 2 * 300k\Omega * 10\mu f \approx 2s. \quad (3.3)$$

T= Tiempo.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

R= resistencia

C=Capacitancia

T1= tiempo de temporización 1

T2= tiempo de temporización 2

La distancia de la cámara al Trigger es de 20cm, se tomó esta distancia para que las botellas utilicen todo el tamaño de la imagen o resolución de la cámara. Para saber cuál es el tiempo que debe estar en alto la cámara, para permitir el flujo de las botellas, se sumó la distancia que hay entre el Trigger y la cámara con el diámetro del ancho de la barra y sostén de la cámara que es de 4cm, obteniendo una distancia total de 24cm, como se demuestra en la ecuación 3.4 y 3.5, con esta distancia se procede a calcular en cuanto tiempo recorren las botellas dicha distancia a velocidad mínima (10cm/s), como se muestra en la ecuación 3.6, 3.7 y 3.8. La velocidad mínima de la banda es de (10cm/s) porque a velocidades menores a esta, las piezas no fluyen del distribuidor hacia la banda principal, produciéndose la caída de las botellas de la banda.

$$Dt = d1 + d2. \quad (3.4)$$

$$Dt = 20cm + 4 cm = 24cm. \quad (3.5)$$

$$v = d/t. \quad (3.6)$$

$$t = d/v. \quad (3.7)$$

$$t1 = 24cm/(10cm/s) = 2.4 s. \quad (3.8)$$

Dt = Distancia del trigger hasta después del sistema mecánico.

v = Velocidad.

d = Distancia.

t = Tiempo.

$t1$ = Tiempo en recorrer la distancia del trigger hasta después del sistema mecánico.

Teniendo en cuenta un tiempo de retardo de 200ms, a causa de los circuitos integrados en especial el Schmitt Trigger más el tiempo en el que el electroimán suelta el pivote, podemos decir que el tiempo del temporizador T2 debe ser aproximadamente 2s, para lograr este tiempo, se asoció al temporizador una resistencia de 300k Ω y un capacitor de 10 μ f como se demuestra en la ecuación 3.3, como la suma de los tiempos de los temporizadores y el retardo es mayor al tiempo necesario para recorrer la distancia que hay entre el sensor y el sistema mecánico, podemos afirmar que la botella recorre la distancia sin golpear el sistema mecánico, como se demuestra en las ecuaciones 3.9, 3.10 y 3.11.

$$Tt = Tr + T1 + T2. \quad (3.9)$$

$$Tt = 200ms + 207ms + 2s. \quad (3.10)$$

$$Tt = 2.407s.$$

$$Tt \geq t1. \quad (3.11)$$

$$2.407s \geq 2.4s$$

Tt = Suma de el tiempo de retardo y los tiempos de los temporizadores.

Tr = Tiempo de retardo por causa de los circuitos integrados.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

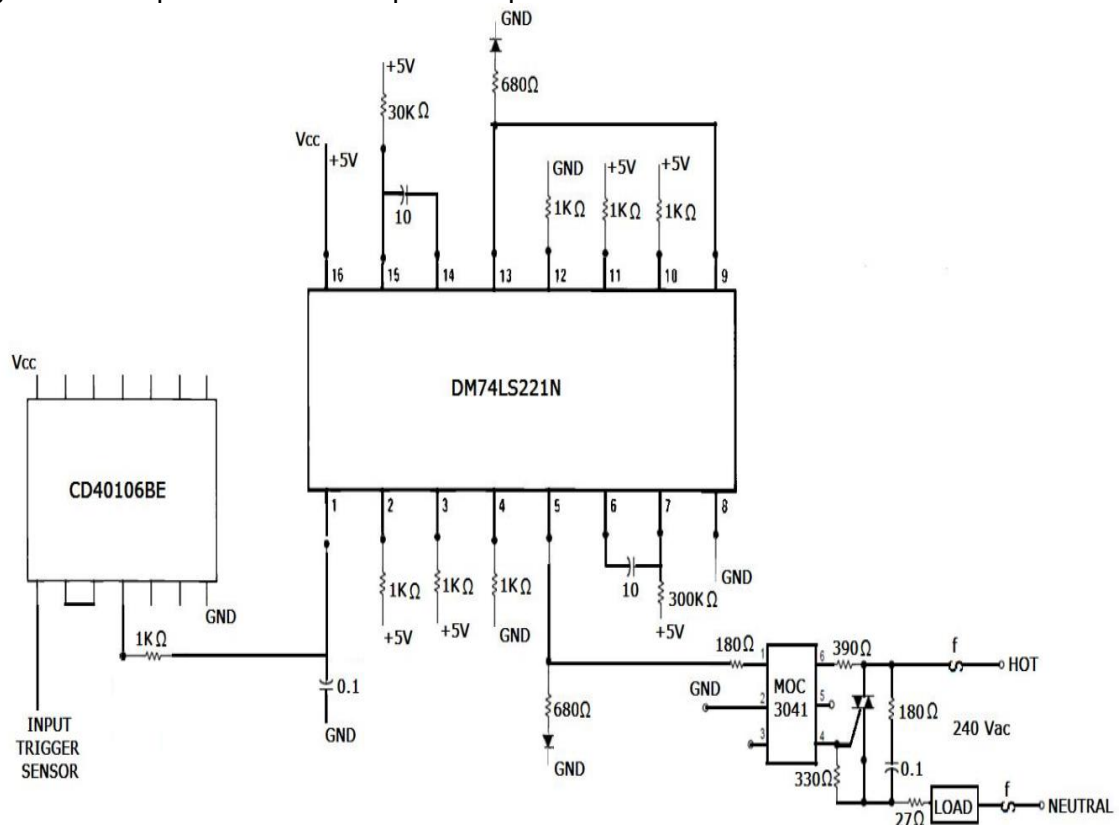
T1= tiempo de temporización 1

T2= tiempo de temporización 2

t_1 = Tiempo en recorrer la distancia del trigger hasta después del sistema mecánico.

Tomando como referencia la distancia de 93cm que hay entre el sensor Trigger que detecta la pieza en el cuarto de imágenes y el sensor que detecta la pieza en el clasificador, decimos que la distancia entre las piezas sobre la banda transportadora debe ser superior a dicha distancia, para clasificar adecuadamente, con lo anterior se definió que la distancia entre las piezas debe ser 1 m, para dar más tiempo y permitir que la cámara se estabilice y reduzca sus oscilaciones por el movimiento de bajada del mecanismo.

Figura 3.3. Esquema del circuito para temporizar el electroimán.



Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013

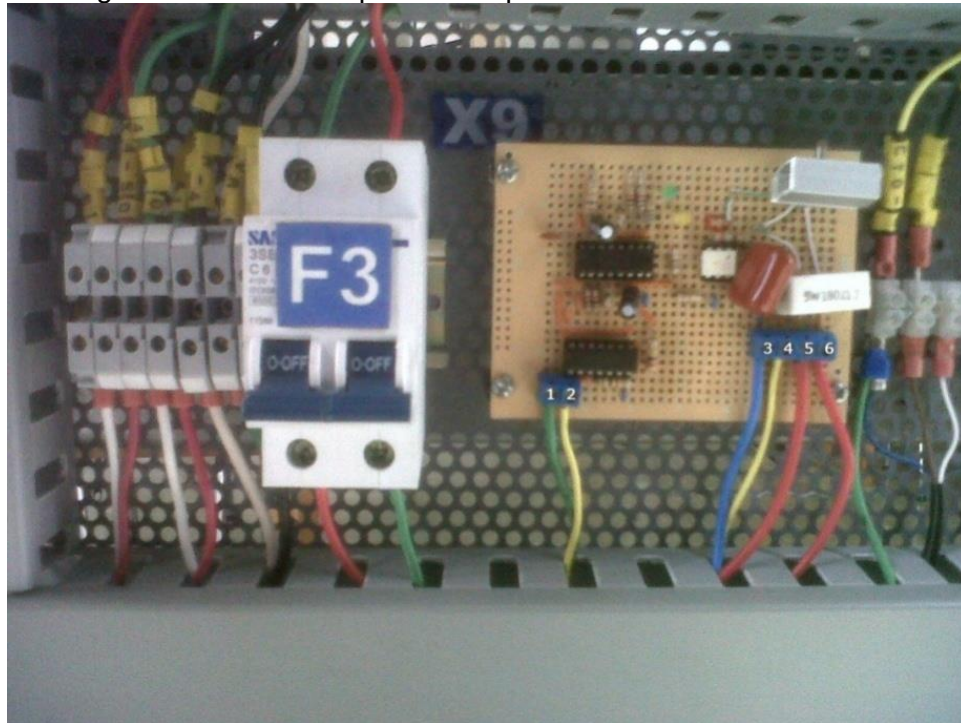
Las resistencias de 1kΩ conectadas a los pines 2, 3, 10 y 11 del integrado DM74LS221N, se utilizan como protección del circuito y no conectar directamente a 5v, en los pines 4 y 12, se conectaron resistencias de 1kΩ a tierra, para que estas salidas del integrado sin utilizar no actúen como antenas y se introduzca ruido al sistema afectando su funcionamiento, las resistencias de 680Ω conectados a los pines 5 y 13 se utilizan para limitar la corriente que le llega a los LED que indican el funcionamiento y tiempo de activación de los temporizadores, las resistencias de 300Ω y 30Ω conectadas a los pines 7 y 15 respectivamente, se utilizan para obtener los tiempos necesarios de los temporizadores, la resistencia de 180Ω conectada en el pin 1 del MOC 3041 se empleó



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

para limitar la corriente del LED emisor que tiene internamente el MOC, las resistencias de 390Ω y 330Ω se utilizan para operar y limitar las corrientes en los terminales del TRIAC, la resistencia de 180Ω junto al capacitor de $0.1\mu\text{f}$ a 630V , se emplea para desairar el TRIAC.

Figura 3.4. Imagen real del circuito para el temporizado del electroimán.



Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013

En la figura anterior se observa un breaker utilizado para des energizar la fuente de 120V AC , que se encarga de alimentar el electroimán, esto con el fin de poder realizar manteniendo al sistema mecánico o desactivarlo en caso de falla, como podría ser, que se quede siempre energizado sin conmutar a causa del deterioro o daño de algún dispositivo del circuito de activación del electroimán.

Tabla 3.1. Descripción de las borneras del circuito para el temporizado del electroimán

PIN	DESCRIPCIÓN
1	Tierra del sensor Trigger
2	Entrada del Trigger
3	Tierra de la fuente de 5V DC
4	Fuente de alimentación de 5V DC
5	Neutro de la fuente de 120V AC
6	Fuente de alimentación de 120V AC

Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013.

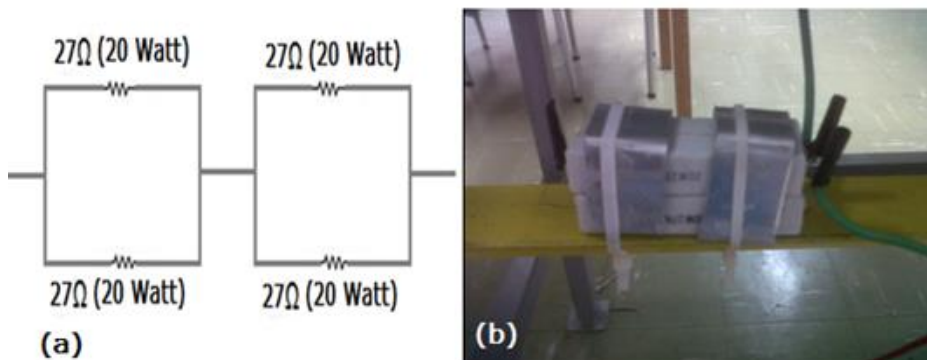
En la tabla anterior se describen las borneras del circuito para el temporizado del electroimán, que están señaladas respectivamente en la figura 3.4.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Se colocaron 4 resistencias de 27Ω a 20 Watt como se muestra en la figura 3.5, en serie con el electroimán con el fin de reducir el calentamiento del mismo.

Figura 3.5. Resistencia en serie con el electroimán. (a). Esquema de las resistencias. (b) Imagen real de las resistencias.



Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013.

Tabla 3.2. Listado de materiales para la elaboración del circuito de activación del electroimán.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Temporizador DM74LS221
1	Opto acoplador MOC 3041
1	Schmitt trigger DC40106BE
1	TRIAC BTA12
2	LED
4	Borneras
2	Condensadores de $10\mu\text{f}$
3	Condensadores de $0,1\mu\text{f}$ A 50VDC
1	Condensador a $0,1\mu\text{f}$ a 400V DC
7	Resistencias de $1\text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}$ de Watt
2	Resistencias de 180Ω a $\frac{1}{4}$ de Watt
1	Resistencia de $30\text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}$ de Watt
1	Resistencia de $300\text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}$ de Watt
1	Resistencia de 390Ω a $\frac{1}{4}$ de Watt
1	Resistencia de 180Ω a $\frac{1}{2}$ de Watt
1	Resistencia de 330Ω a $\frac{1}{2}$ de Watt
1	Resistencia de 180Ω a 5 Watt
4	Resistencias de 27Ω a 20 Watt
1	Breaker doble de 6A

Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013.

3.1.3. Elemento de iluminación

Luego de varias pruebas, se diseñó un sistema de iluminación que consiste en un cuarto como se observa en la figura 3.6. (a), en el cual no incida la luz externa como es la luz fluorescente emitida por las lámparas ubicadas en el laboratorio o la luz natural que entra



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

por las ventanas, este cuarto tiene una puerta de acceso que permite manipular rápidamente los elementos internos como se observa en la figura 3.6. (b).

Figura 3.6. Cuarto de toma de imágenes. (a). vista exterior del cuarto de toma de imágenes. (b). vista interior del cuarto de toma de imágenes.



Fuente: elaboración propia, Mayo 2013

En el cuarto de toma de imágenes se colocó luz propia con dos lámparas GU10W18, las cuales tienen 18 LED y consumen 1 Watt cada una, este tipo de iluminación se denomina iluminación direccional, la cual consiste en aplicar una iluminación orientada al objeto para ser percibido por la cámara, de este modo obtener imágenes constantes que aumentan la eficacia de los algoritmos. Como se puede ver en la figura 3.7.

Figura 3.7. Lámpara GU10W18



Fuente: Made-in-China, con base en la información de [33]

3.1.4. Elementos hardware sin modificaciones

El sensor óptico infrarrojo *Trigger* del fabricante RIKO, solo se cambió su posición, colocándolo en una de las paredes internas del cuarto de toma de imágenes, el módulo de procesamiento que consiste en un computador *Qbex* no fue modificado por que este equipo cumple adecuadamente sus tareas como es ejecutar los scripts, el circuito de



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

adecuación no se modificó, porque permite comunicar exitosamente el módulo de procesamiento (computador Qbex) con el PLC.

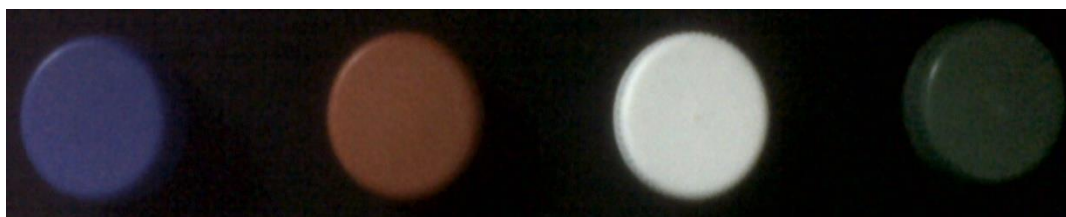
3.2. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE CLASIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que la planta de clasificación está diseñada para implementar tres tipos de algoritmos de clasificación, se optó por clasificar botellas con tres características diferentes, las cuales son: color de tapas, nivel de llenado y etiquetas.

3.2.1. Clasificación por color de tapas

El clasificador de la planta tiene cuatro estados o posiciones, por cada estado se ha definido un color de tapa, nombrados de izquierda a derecha, las cuales son: azul, rojo, blanco y verde como se observa en la figura 3.8, cabe destacar que el algoritmo se diseñó para que en la posición de la tapa verde, también pasen los colores de tapas diferentes a los mencionados o las tapas que no sean reconocidas.

Figura 3.8. Definición de los colores de tapa a clasificar.



Fuente. Elaboración propia, Mayo 2013.

3.2.2. Clasificación por nivel de llenado

Para cada estado del clasificador, se ha definido un nivel, nombrados de izquierda a derecha, los cuales son: nivel alto, medio, bajo y por debajo de la etiqueta, como se ilustra en la figura 3.9. Se debe asegurar que el líquido en las botellas debe ser de color amarillo vivo, uniforme y que no se sedimente para una óptima clasificación del algoritmo.

Figura 3.9. Niveles de llenado de las botellas



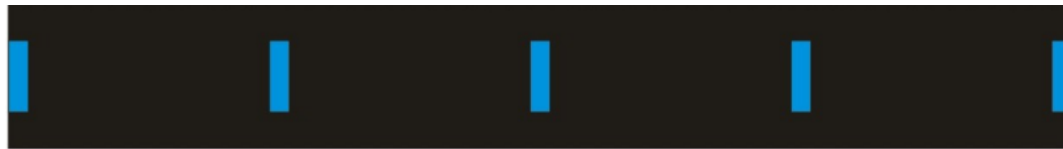
Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013



3.2.3. Clasificación por etiquetas

Para tres estados del clasificador, se ha definido un tipo de etiqueta, estas se diferencian por la cantidad o número de rallas de color azul, como se ilustra en la figura 3.10. En el cuarto estado del clasificador es para las botellas sin etiquetas.

Figura 3.10. Tipos de etiquetas a clasificar.



Etiqueta 1



Etiqueta 2



Etiqueta 3

Fuente: Elaboración propia. Mayo 2013.

3.3. ELEMENTOS SOFTWARE

Los *scripts*, que contienen todas las líneas de código para el desarrollo de las etapas de procesamiento de la aplicación de visión de máquinas, se modificaron, con el fin de obtener tres algoritmos eficientes de clasificación. Los elementos necesarios para la ejecución de los *scripts*, como es el sistema operativo no se modificó, en cuanto al compilador se utilizó el compilador de Qt Creator y se implementó la interfaz de usuario en dicho software, las librerías de OpenCv se actualizaron de la versión OpenCv 2.0 a OpenCv 2.1.

3.3.1. Sistema operativo

Se optó por trabajar con el mismo sistema operativo Linux, específicamente Ubuntu 10.04, por su estabilidad y su eficiencia para trabajar en tiempo real (suave) como se necesita en este proyecto.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.3.2. Qt Creator [34 - 35]

Qt Creator es un IDE (Entorno Integrado de Desarrollo) multiplataforma creado inicialmente por Trolltech y mantenido en la actualidad por Nokia, Qt Creator requiere la versión de las bibliotecas Qt 4.x en adelante, integra un editor de texto, un depurador y Qt Designer.

Qt son librerías de C++, lo que diferencia a Qt de una librería C++ cualquiera, es que añade muchísimas funcionalidades a C++, cambiándolo de tal forma, que prácticamente crea un nuevo lenguaje de programación. Además, facilita la tarea de programar en C++, que en casos como en la programación de entornos gráficos, puede ser bastante ardua. No obstante, es importante destacar que Qt no deja de ser C++, es decir, siempre se pueden usar librerías estándar o cualquier otra librería y la sintaxis de C++ normal y corriente, por lo cual, es muy versátil.

Por otra parte, existen *bindings* de Qt para que programadores de otros lenguajes de programación, puedan utilizar las librerías sin tener que dejar de usar su lenguaje habitual. Ejemplos de estos *bindings* son Qt Jambi (Java), PyQt (Python), PHP-Qt (PHP) o Qyoto (C#), entre otros muchos.

Otro punto clave de Qt, es que se considera una biblioteca “multiplataforma”, ya que permite programar el mismo código y utilizarse para crear programas para Linux, Windows, Mac OS, etc., permitiendo realizar lo mismo que Java, pero siendo mucho más eficiente al no haber “máquina virtual” de por medio, sino código compilado expresamente para cada máquina.

Qt Designer es una herramienta muy potente (antes era un programa independiente), que permite crear “widgets” o elementos gráficos de manera visual, facilitando en gran medida la creación de código para la parte de la GUI. Tras diseñar de manera gráfica un widget, se genera un archivo con extensión ‘.ui’, que no es más que un archivo XML que posteriormente se traduce a una clase en C++ mediante el UIC.

Qmake

Puesto que las aplicaciones hechas con Qt dependen de las librerías Qt y en algunos casos, librerías de terceros (como es el caso de Qwt o Qextserialport) y por otra parte, intenta ser totalmente portable, los “makefiles” pueden convertirse en ficheros tremendamente complejos. Por si fuera poco, no sólo se compila código fuente en C++, sino que el MOC introduce un paso intermedio adicional de precompilación y encima, los archivos ‘.ui’ (Interfaces de Usuario o widgets) pueden compilarse a partir de archivos XML a clases C++.

Qmake tiene el objetivo de simplificar todo este proceso de generación de código, que con la herramienta “make” clásica, sería tremendamente complejo.

Afortunadamente, si se utiliza el IDE Qt Creator, se generan unos archivos ‘.pro’ (archivos de descripción de proyecto) que Qmake interpreta y permite generar todo el código para compilarlo posteriormente con gcc, al pulsar sólo un botón.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

UIC

UIC (User Interface Compiler) o compilador de interfaces de usuario que traduce los ficheros '.ui' generados por Qt Designer (dentro de Qt Creator) a clases C++. Qmake configura esta herramienta de manera automática.

Para poder utilizar una clase proveniente de un archivo '.ui' en el código Qt, los desarrolladores recomiendan especialmente un método denominado "método de herencia múltiple", que consiste en crear una clase que herede de QWidget (lo habitual) y además herede de Ui::NombreForm (donde NombreForm será el nombre del archivo '.ui' también llamado *form*). Con esto se consiguen dos cosas, por una parte se puede acceder a todos los componentes del *form* desde el ámbito de la subclase y por otra parte, se pueden usar *signals* y *slots* de forma habitual. Para que todo esto funcione hay que añadir con un `#include "ui_nombreform.h"` (el cual será el archivo de cabecera correspondiente al fichero '.ui' generado por el UIC). Este método tan simple nos permitirá usar código hecho "a mano" y código generado por el UIC a partir de Qt Designer.

MOC

MOC (Meta Object Compiler) o compilador de meta objetos⁴, crea meta objetos que describen las clases haciendo uso de las *signals* y los *slots*.

3.3.3. Librerías

Los cambios más significativos hechos en OpenCv 2.1 con respecto a su versión anterior, es que brinda soporte más completo de la librería HighGUI. Se optó por actualizar la versión de OpenCv 2.0 antiguamente instalada a una más actualizada que en este caso fue OpenCv 2.1, ya que nos presentaba errores de compilación asociada a la librería HighGUI, con la actualización de la versión se corrigió dichas fallas y se obtuvo estabilidad en el software.

3.3.4. Scripts de procesamiento de imágenes

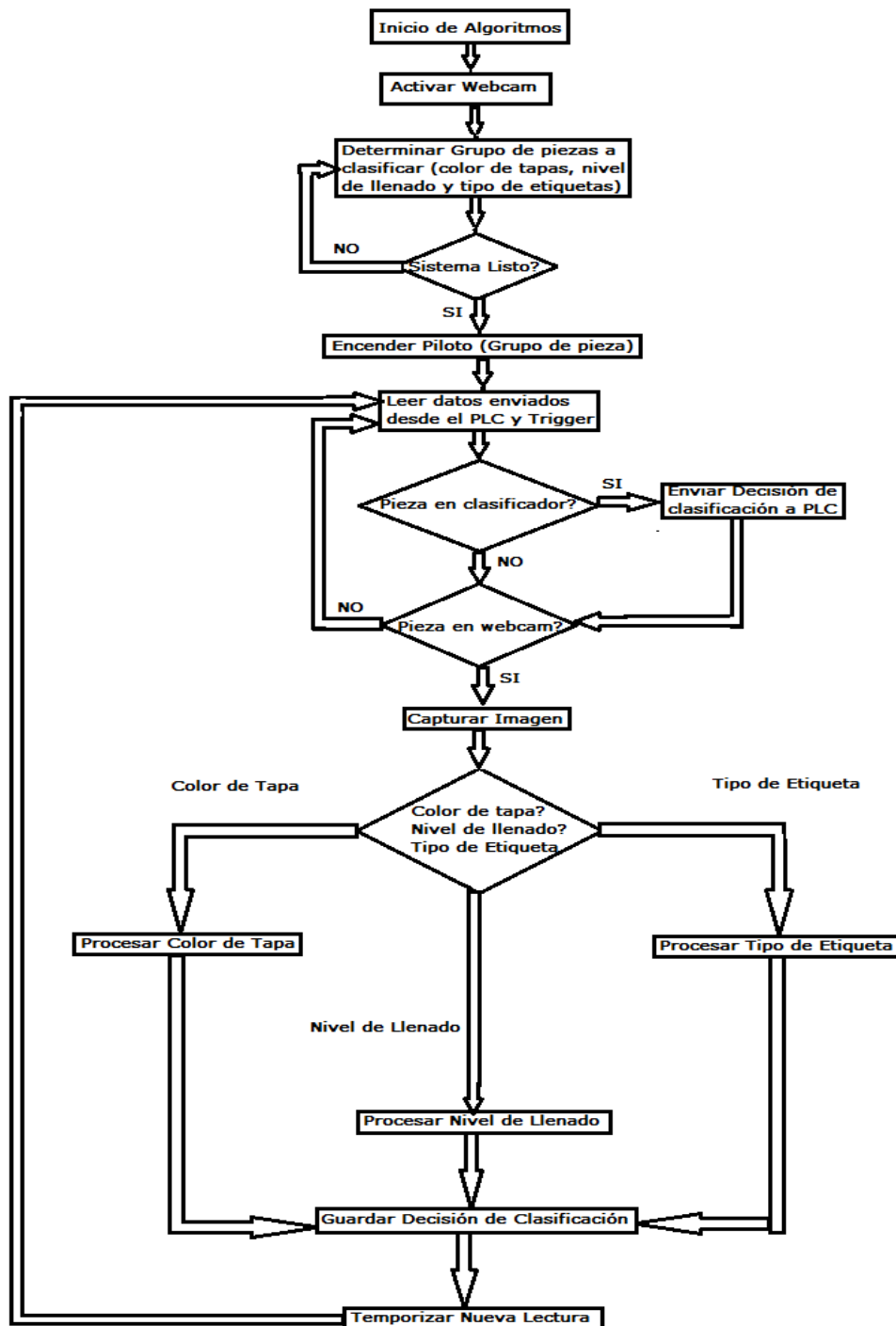
Los *scripts* de procesamiento digital de imágenes están diseñados en lenguaje C++, están compuestos por una rutina de activación de la cámara y reinicio del puerto paralelo, una subrutina principal, tres subrutinas de procesamiento de imágenes, que se ejecutan según el algoritmo que se seleccione (color de tapas, nivel de llenado o tipo de etiquetas), una subrutina de almacenamiento de la decisión de clasificación y otras rutinas para el desarrollo de la interfaz gráfica.

⁴Meta objeto. es cualquier entidad que manipula, crea, describe, o implementa otros objetos.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 3.11. Diagrama de flujo de la rutina principal de los scripts de procesamiento



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.4. ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En esta sección se describen las etapas (adquisición de imágenes, pre-procesamiento, segmentación, extracción de características, reconocimiento de objetos y decisión) del procesamiento de imagen que hacen parte de la aplicación de visión y fueron modificadas para la realización de los tres nuevos algoritmos eficientes de clasificación.

3.4.1. Adquisición de la imagen.

La programación de esta etapa se continuó haciendo, basada en las instrucciones *cvCaptureFromCAM*, función que asigna e inicializa la estructura *CvCapture* para la lectura de un flujo de vídeo de la cámara. Actualmente, dos interfaces de la cámara se pueden utilizar en Linux: V4L y FireWire (IEEE1394). *CvQueryFrame*, función que se usó para tomar un fotograma de la cámara. Las anteriores instrucciones hacen parte de la librería *OpenCv*, y serán utilizadas por los *scripts* de procesamiento para adquirir la imagen de cada pieza que pasa frente a la *webcam*. Las imágenes se adquieren con un valor de intensidad de los píxeles codificado en 8 bits. En la figura 3.12, Se observan cuatro imágenes de las botellas a clasificar obtenidas por la *webcam* Logitech C615, cuando la banda se encontraba en movimiento a una velocidad de 12cm/s.

Figura 3.12. Imágenes capturadas por la webcam Logitech C615.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

3.4.2. Pre-procesamiento

Para eliminar los problemas de ruido y facilitar el reconocimiento de las características en las botellas, se utilizaron dos técnicas de pre-procesamiento utilizando las instrucciones *CVsmooth* y *Cvsplit* de *OpenCv*.

- **Filtrado:** Dentro de los filtros espaciales, existen los filtros suavizantes, que se emplean para hacer que la imagen se torne algo borrosa y también para reducir el ruido. la función *CVsmooth*, configurada con la operación *CV_BLUR* en donde cada píxel de la salida es la media simple de todos los píxeles en una ventana, alrededor del píxel correspondiente en la entrada, fue empleada para suavizar y eliminar el ruido de las imágenes, en la figura 3.13, observamos las imágenes suavizadas.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

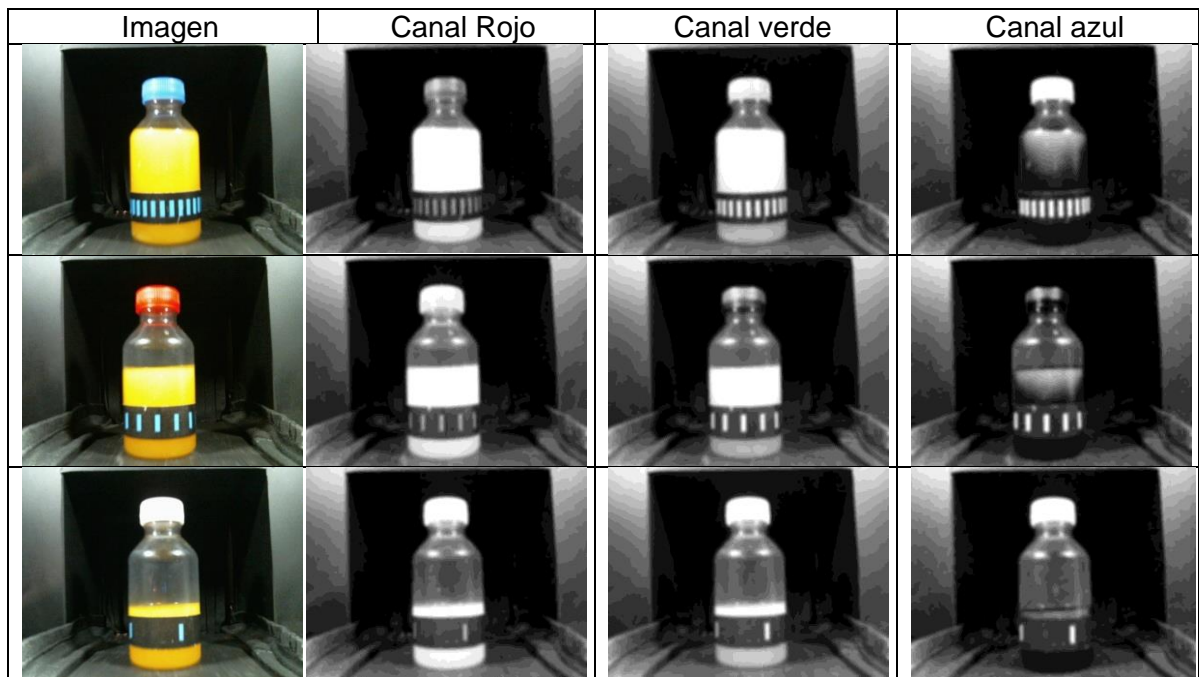
Figura 3.13. Imágenes suavizadas con la instrucción *CVsmooth*



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

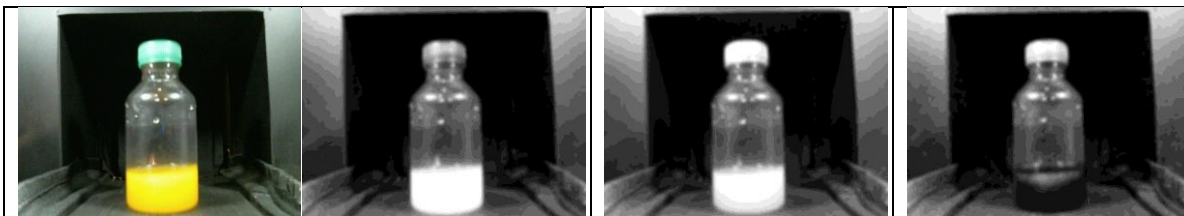
- **Conversión a escala de grises:** *cvsplit* permite separar la imagen en el espectro RGB, obteniendo 3 nuevas imágenes en escala de grises a partir de la inicial, en la figura 3.14, observamos 4 imágenes obtenidas con la cámara Logitech C615 y descompuestas en sus planos RGB.

Figura 3.14. Imágenes descompuestas en sus planos RGB





Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

En la figura anterior, la intensidad de los grises de cada canal en donde se ubican las tapas varía de acuerdo al color de la tapa de la botella, lo que hace fácil diferenciarlas, en cuanto al líquido, se observa que tiene mejor contraste en el canal rojo.

3.4.3. Segmentación.

Para la segmentación de las características de las botellas, se realizó una umbralización, que es una técnica de segmentación la cual se emplea cuando hay una clara diferencia entre los objetos a extraer respecto del fondo de la escena, como en este caso resulta ser la diferencia de cada característica de las botellas con el fondo negro del cuarto de toma de imágenes. Al aplicar un umbral, la imagen pasa a ser binaria. La aplicación de este umbral se realiza mediante la función *cvThreshold* que actúa de acuerdo a la Ecuación 3.12, donde *f* y *g* son las imágenes de entrada y salida respectivamente y *B* es el valor de umbral elegido, en esta aplicación el valor de umbral óptimo es 230, 229 y 228 para los canales RGB respectivamente.

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{para } 0 \leq f(x,y) \leq B \\ 1 & \text{para } B \leq f(x,y) \leq 255 \end{cases} \quad (3.12)$$

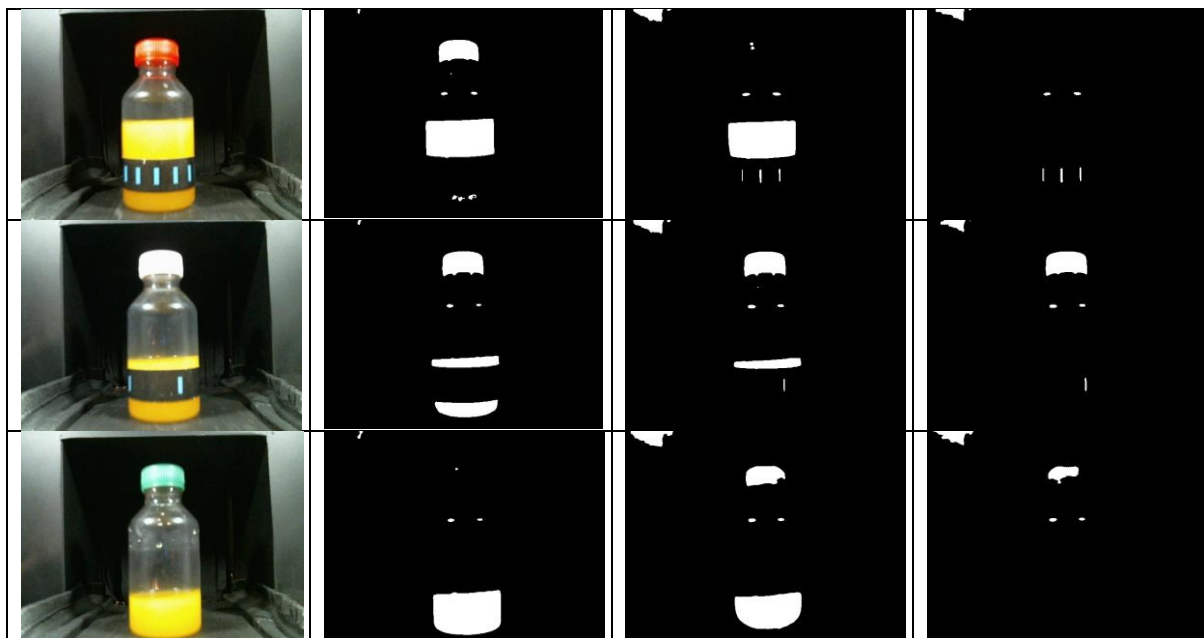
Para la clasificación de las botellas por color de tapas y nivel de llenado, es necesario y suficiente umbralizar los planos RGB con los valores óptimos anteriormente dichos, para obtener una adecuada segmentación de estas características, como se puede ver en la figura 3.15, en el caso de las etiquetas solo se umbraliza el plano azul, debido a que las líneas de las etiquetas son de este color. Para obtener una adecuada segmentación de las etiquetas y poder reconocer adecuadamente estas, se recorrió la imagen umbralizada y se hizo cero las zonas en las cuales las etiquetas no tienen incidencia, como se puede ver en la figura 3.16, esto debido a los brillos presentes en estas zonas que afectan la eficiencia del algoritmo para la clasificación de las etiquetas.

Figura 3.15. Imágenes segmentadas en sus planos RGB para la clasificación por color de tapas y nivel de llenado.



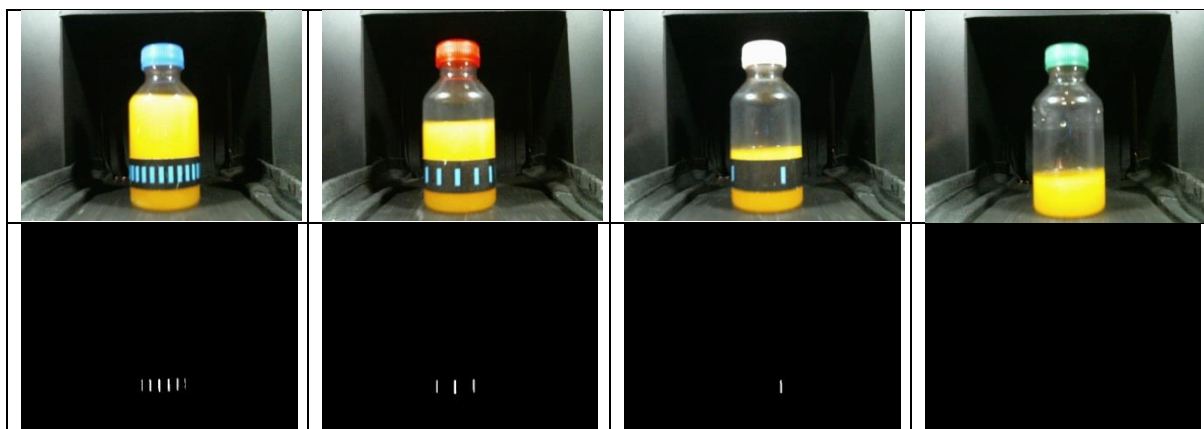


Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Figura 3.16. Imágenes segmentadas en el canal azul para la clasificación por etiqueta.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

3.4.4. Extracción de características

Con las imágenes segmentadas, se realiza la medición de las características de interés en las botellas. Para cada algoritmo se hizo una extracción de características diferentes; en el caso de la clasificación por el color de la tapa, solo se necesita el área de las tapas de la imagen de cada canal RGB. Para la clasificación por nivel de llenado, se encuentran los momentos M_{00} , M_{01} y M_{10} de las tapas, esto con el fin de encontrar el centro de masa de las tapas y trazar un perfil de línea vertical por esta coordenada y leer los pixeles que pertenecen al líquido, además se traza un perfil de línea horizontal y se empleó la fórmula del factor de forma. Para la clasificación por etiquetas, se usa la función *cvFindContours* encargada de encontrar la cantidad de componentes conexos en la imagen segmentada.

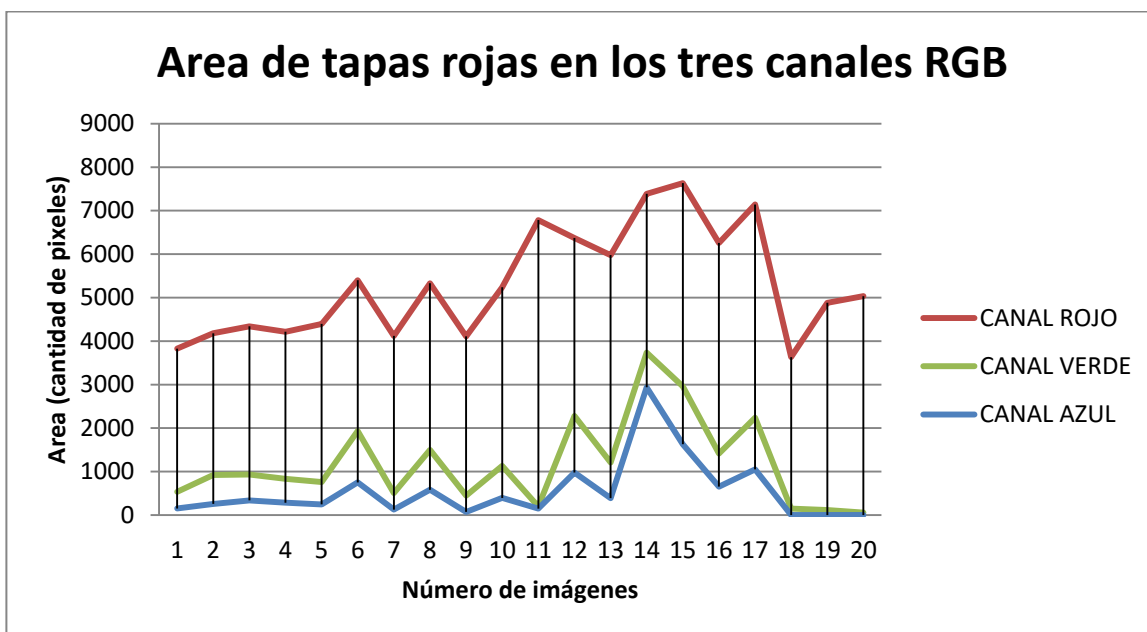


Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.4.4.1. Color de tapas

Tomando 20 imágenes de prueba por cada color de tapa, 5 por cada velocidad las cuales son 10cm/s, 20cm/s, 30 cm/s y 40cm/s, para un total de 80 imágenes, a estas imágenes se le aplicó el pre-procesamiento y segmentación, es decir, se suavizaron y se descompuso en los tres canales del espectro RGB, posteriormente se segmentó cada canal del espectro RGB y se procedió a encontrar el área del objeto de interés, sumando los píxeles de color blanco, es decir, los que tienen un valor binario 1. Para esto se hace un recorrido por los píxeles de cada imagen, solo en las zonas donde pueden estar ubicadas las tapas, y con la función *cvGet2D* se obtiene el valor de intensidad de cada píxel, al terminar de recorrer las zonas donde se encuentra la tapa en la imagen, se obtiene el área correspondiente a la tapa en cada canal del espectro RGB, como se aprecia en la figura 3.17.

Figura 3.17. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas rojas.



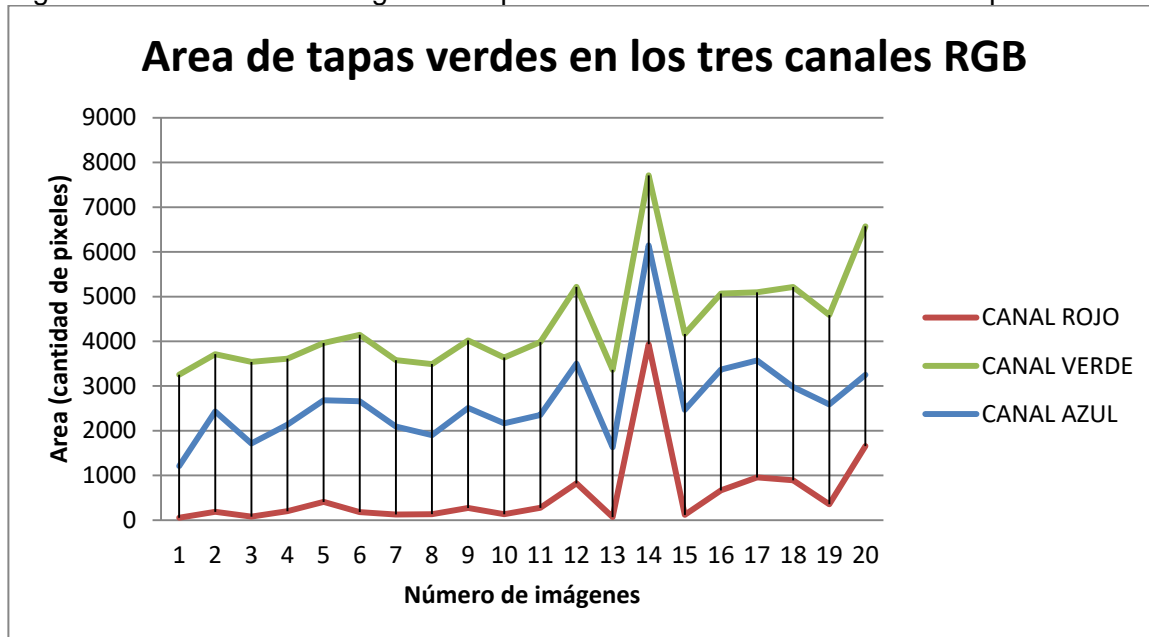
Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

En la figura anterior se puede apreciar que el área de las tapas rojas, el canal rojo es mayor que en los demás canales, el área en el canal verde es mayor al área del canal azul.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

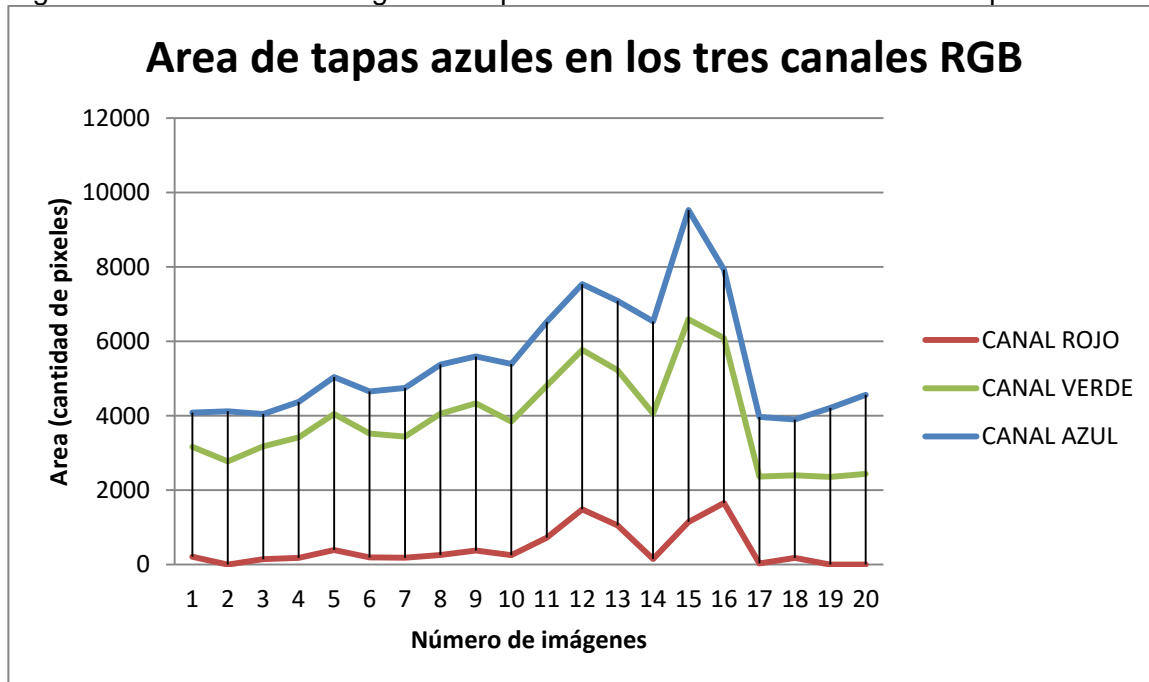
Figura 3.18. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas verdes.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

En la figura anterior se puede apreciar que el área de las tapas verdes, el canal verde es mayor que en los demás canales, el área en el canal azul es mayor al área del canal rojo.

Figura 3.19. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas azul.



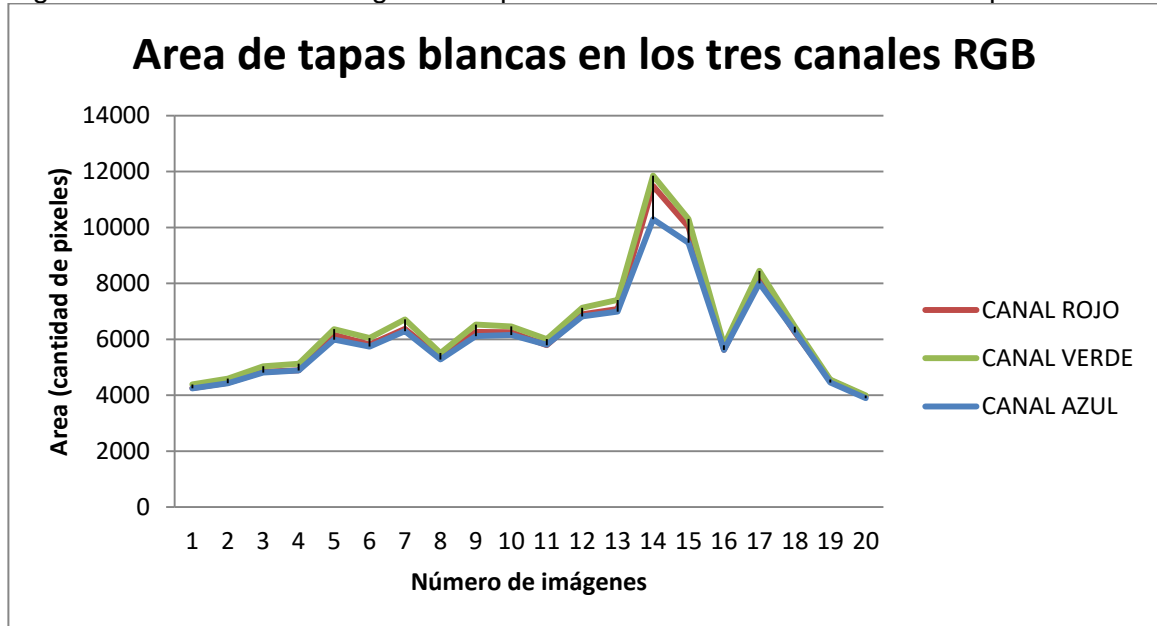
Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

En la figura anterior se puede apreciar que el área de las tapas azules, el canal azul es mayor que en los demás canales, el área en el canal verde es mayor al área del canal rojo.

Figura 3.20. Área de 20 imágenes de prueba en los tres canales RGB de tapas blancas.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

En la figura anterior se puede apreciar que el área de las tapas blancas, en cada canal es parecida.

3.4.4.2. Nivel de llenado

La teoría de los momentos proporciona una interesante y útil alternativa para la representación de formas de objetos. Si tenemos un objeto en una región α que viene dado por los puntos en los que $f(x, y) > 0$, definimos el momento de orden p, q . Como se puede ver en la ecuación 3.11:

$$M_{pq} = \iint x_p y_q f(x, y) dx dy \quad \text{para } p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (3.12)$$

El teorema de representación de los momentos nos dice que el conjunto infinito de momentos M_{pq} , $p, q = 0, 1, \dots$ determinan unívocamente $f(x, y)$ y viceversa. Tendremos una imagen digital definida por la función $f(x, y)$, donde (x, y) son las coordenadas de un punto y $f(x, y)$, el valor de ese punto; en el caso del aplicativo desarrollado, este valor será 1 si el punto es distinto de negro y 0 si es negro; si se hubieran tenido en cuenta los colores en una imagen, este valor dependería del color del punto. Como se ha comentado anteriormente, al tratarse de imágenes binarias, el momento de orden (p, q) se define ahora en la ecuación 3.13:

$$M_{pq} = \sum x^p \sum y^q x^p y^q I(x, y) \quad (3.13)$$



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

El momento simple de Orden 0. M_{00} : Suma todos los píxeles cuyo valor es uno, es decir los que son blancos, por lo tanto calcula el área. Para ello nos basamos en la fórmula de los momentos simples como se puede ver en la ecuación 3.14.

$$M_{00} = \sum x \sum y I(x, y) \quad (3.14)$$

El momento simple de Orden 1. M_{10} , suma las coordenadas (x) de todos los píxeles cuyo valor es uno, es decir los que son blancos, igualmente el momento simple de Orden 1. M_{01} , suma las coordenadas (y) de todos los píxeles cuyo valor es uno, Los momentos simples de Orden 1 M_{10} , M_{01} , como se puede apreciar en la ecuación 3.15. se usan principalmente para hallar el centro de masas de una figura, en este caso las tapas.

$$\begin{aligned} M_{10} &= \sum x \sum y x I(x, y), \\ M_{01} &= \sum x \sum y y I(x, y) \end{aligned} \quad (3.15)$$

El centro de masa es un punto $C(x,y)$ del objeto, para el cual hay la misma masa arriba, abajo, a la izquierda y a la derecha, para encontrar las coordenadas (x, y) del centro de masa se dan las siguientes formulas. Véase ecuación 3.16.

$$x = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (3.16)$$

El cálculo de los momentos de primer orden M_{00} , M_{10} , M_{01} y el centro de masa de las tapas, se utilizaron para trazar un perfil de línea vertical desde las coordenadas del centro de masa hasta el final de la imagen pasando por todo el centro de la botella, lo anterior con el fin de leer los píxeles que hacen parte del líquido, también se traza un perfil de línea horizontal por la fila $x=240$ e igualmente se leen los píxeles que hacen parte del líquido, como se puede ver en la figura 3.21, con estas dos lecturas se encontró el factor de forma, dividiendo los píxeles leídos verticalmente entre los píxeles leídos horizontalmente, esto para disminuir el error en el momento de encontrar el nivel del líquido en las botellas, debido a que a diferentes velocidades de la banda, el tamaño de las botellas en las imágenes cambia, la imagen utilizada para leer los píxeles a través del perfil de línea es la imagen del canal rojo segmentada, debido a que en esta se tiene mejor umbralización del líquido.

Figura 3.21. Perfiles de línea para encontrar el nivel del líquido de las botellas.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.4.4.3. Etiquetas [34]

La extracción y etiquetado de los componentes conectados en una imagen es fundamental para muchas aplicaciones automatizadas de análisis de imágenes, Los componentes conexos es una aplicación algorítmica de la teoría de grafos, donde los subconjuntos de los componentes conectados se etiquetan únicamente sobre la base de una heurística⁵ dada. El análisis en componentes conexos se utiliza en la visión por computador para detectar regiones conectadas en imágenes digitales binarios, aunque las imágenes en color y datos de mayor dimensión también pueden ser procesadas. Haciendo uso de la instrucción *cvFindContours* que se emplea para encontrar los contornos de una imagen binaria, hallando el número de líneas azules que tienen las etiquetas en las botellas. En el cuadro 3.1 se observa el número de componentes conexos en las etiquetas para 80 imágenes de prueba, 20 por cada etiqueta.

Cuadro 3.1. Componentes conexos de las etiquetas.

N° IMÁGENES	N° COMPONENTES CONEXOS			
	ETIQUETA 1	ETIQUETA 2	ETIQUETA 3	SIN ETIQUETA
1	1	3	7	0
2	1	3	7	0
3	1	3	7	0
4	1	5	9	0
5	1	4	9	0
6	1	4	9	0
7	1	4	9	0
8	1	5	9	0
9	1	4	9	0
10	1	5	9	0
11	1	4	7	0
12	2	5	9	0
13	1	4	8	0
14	1	4	7	0
15	2	5	7	0
16	1	5	8	0
17	2	5	8	0
18	1	4	7	0
19	1	4	8	0
20	2	5	9	0

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

⁵Heurística. Técnica o procedimiento práctico o informal, para resolver problemas.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.4.5. Reconocimiento de objetos

A partir de cada extracción de las características para cada algoritmo, se puede hacer un reconocimiento del tipo de característica de las botellas a clasificar, para finalmente tomar la decisión de clasificación; en los tres casos (color de tapas, nivel de llenado y etiquetas) se hace una comparación por umbral.

3.4.5.1. Color de tapas

El reconocimiento del color de las tapas se determina de la siguiente forma: si el área obtenida de cada canal RGB de las tapas, se encuentran en los intervalos definidos para cada color de tapa, se dice que pertenece a ese conjunto o color de tapa, los intervalos de áreas de cada canal, para cada color de tapa se definen teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de cada canal a partir de las 80 imágenes de prueba tomadas para la extracción de las características, además se adicionaron algunos condicionales para asegurar el reconocimiento del color de las tapas, en la tabla 3.3 observamos los máximos y mínimos de los canales RGB de cada color de tapa y en la tabla 3.4 observamos los intervalos y condicionales para el reconocimiento de cada color de tapa.

Tabla 3.3. Máximos y mínimos de los canales RGB de cada color de tapa.

	AREA(cantidad de pixeles)					
	Canal Rojo		Canal Verde		Canal Azul	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Tapa Roja	7634	3632	3737	57	2939	0
Tapa Verde	3935	54	7712	3253	6144	1209
Tapa Azul	1653	0	6592	2354	9529	3898
Tapa Blanca	11486	3966	11855	3990	10295	3892

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Tabla 3.4. Intervalos y condicionales para el reconocimiento de cada color de tapa.

Color de tapa	Canal rojo	Canal verde	Canal azul	Condicional
Azul	Área <3000	-	Área>3000 y Área <11000	Área canal verde < Área canal azul
Rojo	Área > 3000 y Área < 8000	Área < 3800	-	Área canal verde < Área canal rojo
Blanco	Área > 3965 y Área < 12000	Área > 3000 y Área < 12000	Área > 3000 y Área < 11000	-
verde	Área =< 3965	Área > 3000 y Área < 8000	-	Área canal rojo < Área canal verde y Área canal azul < Área canal verde

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

3.4.5.2. Nivel de llenado

Para el reconocimiento del nivel de llenado, se tomaron 20 imágenes con botellas totalmente llenas a velocidades de 10cm/s, 20cm/s, 30cm/s y 40cm/s, cinco por cada velocidad y se encontró el promedio del factor de forma y dividiéndolo en tres partes, para obtener tres intervalos, siendo estos los rangos de los niveles como son: nivel alto, nivel medio y nivel bajo. En la tabla 3.5 se pueden ver los intervalos o rangos de los niveles de llenado de las botellas, denotando solo tres rangos, porque el cuarto estado del clasificador es para los niveles de botellas no identificado como pueden ser los que están por debajo de la etiqueta.

Tabla 3.5. Intervalos o rangos de los niveles de llenado de las botellas.

Nivel de llenado	Factor de forma (FF)
Nivel alto	$FF \geq 0.8$ y $FF < 3$
Nivel medio	$FF \geq 0.4$ y $FF < 0.8$
Nivel bajo	$FF > 0$ y $FF < 0.4$
Por debajo de la etiqueta	$FF = 0$

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

3.4.5.3. Etiquetas

Partiendo de la extracción de las características de las 80 imágenes de prueba tomadas a las botellas con diferentes etiquetas y botellas sin etiqueta a velocidades de 10cm/s, 20cm/s, 30cm/s y 40cm/s, 20 por cada velocidad, se determinó el intervalo de componentes conexos para cada tipo de etiqueta, dando origen a la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Intervalo de número de componentes conexos para cada tipo de etiqueta

Tipo de etiqueta	Número de componentes conexos (NC)
Etiqueta 3	$NC \geq 6$
Etiqueta 2	$NC \geq 3$ Y $NC < 6$
Etiqueta 1	$NC > 0$ Y $NC \leq 2$
Sin etiqueta	$NC = 0$

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

3.4.6. Decisión

Para cada algoritmo (color de la tapa, nivel de llenado o etiqueta) se puede modificar la salida del puerto paralelo que está conectada al PLC, entre los cuatro estados del clasificador como se observa en la tabla 3.7.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Tabla 3.7. Relación entre las características de las botellas y los bits de clasificación en el puerto.

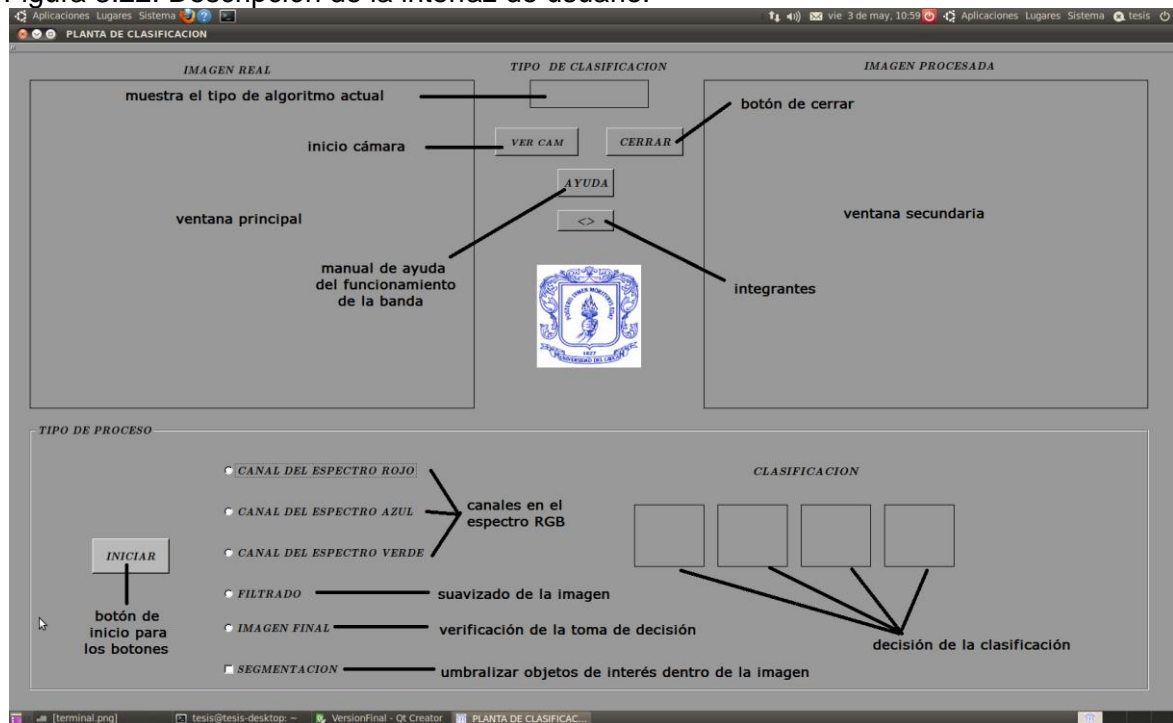
Estados del clasificador	Pin3 - Pin2(Salida)		Tapas de botellas	Nivel de llenado	Tipo de etiqueta
Estado 1	0	0	Verde	Por debajo de la etiqueta	Sin etiqueta
Estado 2	0	1	Blanco	Bajo	Etiqueta 1
Estado 3	1	0	Rojo	Medio	Etiqueta 2
Estado 4	1	1	Azul	Alto	Etiqueta 3

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

3.5. DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE USUARIO HOMBRE MAQUINA

El diseño de la interfaz de usuario es de tipo amigable y manipulación fácil, diseñada para comunicarse en tiempo real por medio del puerto paralelo con la banda transportadora, dentro de esta, están codificados tres algoritmos para la correcta clasificación de las botellas. Para la visualización de las imágenes y su procesamiento se cuenta con dos pantallas y múltiples botones, además se cuenta con un recuadro donde se describe el tipo de algoritmo actual, la interfaz también cuenta con luces indicadoras de la decisión de clasificación, un manual de ayuda que le facilitará el manejo adecuado de la planta de clasificación y un recuadro adicional donde mostrará los diseñadores. Como se puede ver en la figura 3.22.

Figura 3.22. Descripción de la interfaz de usuario.



Fuente: Elaboración propia, Marzo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Para inicializar la cámara, se da clic en el botón VER CAM, consecuentemente se habilitarán los demás botones del tipo de proceso, la imagen en tiempo real se muestra en la ventana principal llamada IMAGEN REAL y la imagen procesada se muestra en la ventana secundaria llamada IMAGEN PROCESADA.

El procesamiento de la imagen de cada botella, como son: los espectros RGB (espectro rojo, espectro verde, espectro azul), la segmentación en cada espectro RGB, el filtrado de la imagen y la imagen final, se pueden visualizar dando clic en un botón como se puede ver en la figura 3.23.

Figura 3.23. Funcionamiento de interfaz gráfica.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

La decisión de clasificación se actualiza cada vez que es detectada una botella y se ve reflejada en los recuadros como se muestra en las figuras 3.24, 3.25 y 3.26, en donde se observa que la posición de la imagen corresponde a la posición real en el clasificador de la banda transportadora, esto se cumple en los tres algoritmos, ejemplo: para el caso del nivel del líquido, la imagen representa el nivel bajo en la botella, por consiguiente se muestra en la posición 2 con su respectiva figura, como se ilustra en la figura 3.24.

Figura 3.24. Decisión de clasificación para el algoritmo de nivel de llenado.



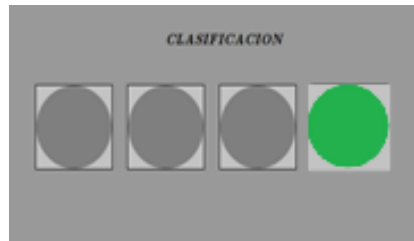
Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Para el algoritmo de color de las tapas, la pieza que fue detectada es la tapa de color verde, la posición en la que se muestra la decisión de clasificación es la 1. Como se puede ver en la figura 3.25.

Figura 3.25. Decisión de clasificación para el algoritmo de color de tapas.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Para el algoritmo de tipo de etiqueta, la pieza que fue detectada es la etiqueta 3, la posición en la que se muestra la decisión de clasificación es la 4. Como se puede apreciar en la figura 3.26.

Figura 3.26. Decisión de clasificación para el algoritmo de tipo de etiqueta.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

CAPITULO 4. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE VISION

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas a los scripts de procesamiento, como también de todo el sistema de visión con pruebas hechas a estudiantes de semestres superiores donde se tuvo en cuenta su opinión con respecto a su interacción con la planta de clasificación.

4.1. VALIDACION DE LOS ALGORITMOS

Se realizaron pruebas para verificar el desempeño de los scripts de procesamiento a diferente velocidad de la banda, para cada uno de los tres algoritmos implementados los cuales son: color de tapas, nivel de llenado y el tipo de etiquetas.

4.1.1. Color de tapas

Se realizaron pruebas dinámicas para determinar el rendimiento del algoritmo de color de tapas, estas pruebas se dividieron en pruebas con tapas en perfecto estado y pruebas con tapas imperfectas.

- **Prueba con tapas en perfecto estado**

Propósito: Evaluar el desempeño del *script* de clasificación por color de tapas, verificando su tipo (tapa azul, tapa roja, tapa blanca, tapa verde) y posicionándola correctamente en el clasificador.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 112 imágenes de las botellas en tiempo real, 16 para cada velocidad, las cuales son: 10 cm/s, 15 cm/s, 20 cm/s, 25 cm/s, 30 cm/s, 35 cm/s y 40 cm/s, utilizando el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y verificando la correcta posición en el clasificador.

Resultados: En la tabla 4.1, se encuentran los datos adquiridos luego de clasificar las 112 imágenes de las botellas obtenidas con la banda en movimiento, donde encontramos los errores obtenidos en cada velocidad, los cuales ocurrieron a velocidad de 30cm/s y a 40cm/s dando como resultado un porcentaje de error por velocidad de 0,89% y 0,89% respectivamente, siendo el porcentaje total de error de 1,79%.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Tabla 4.1. Pruebas dinámicas de clasificación de las tapas de las botellas

ALGORITMO COLOR DE TAPAS								
	VELOCIDAD (cm/s)							TOTAL
	10	15	20	25	30	35	40	
NÚMERO DE PIEZAS	16	16	16	16	16	16	16	112
ERRORES	0	0	0	0	1	0	1	2
PORCENTAJE ERROR								1,79%

Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

- **Prueba con tapas imperfectas**

Propósito: Evaluar el desempeño de los *scripts* de clasificación ante una tapa imperfecta, para esto se usaron tapas con marcas negras como se observa en la figura 4.1.

Figura 4.1. Botellas con tapas imperfectas.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 16 imágenes de las botellas en tiempo real, cuatro para cada velocidad las cuales son: 10 cm/s, 20 cm/s, 30 cm/s y 40 cm/s, se utilizó el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y se observó la posición en el clasificador.

Resultados: las tapas imperfectas, fueron reconocidas por el *script* como “NO RECONOCIDAS” y posicionadas por el clasificador al lado derecho tal como se esperaba, debido a que el algoritmo se diseñó para que en casos como los presentados, los ubique en la posición de la tapa verde.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

4.1.2. Nivel de llenado

Se realizaron pruebas dinámicas para determinar el rendimiento del algoritmo de nivel de llenado, estas pruebas se dividieron en pruebas con líquido amarillo el cual es el color preestablecido para el desarrollo del algoritmo y pruebas con colores de líquido diferente al preestablecido.

- **Prueba con el color de líquido preestablecido**

Propósito: Evaluar el desempeño del *script* de clasificación por nivel de llenado, verificando su nivel (nivel alto, nivel medio, nivel bajo y nivel por debajo de la etiqueta) y posicionándolo correctamente en el clasificador.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 112 imágenes de las botellas en tiempo real con niveles diferentes, 16 para cada velocidad, las cuales son: 10 cm/s, 15 cm/s, 20 cm/s, 25 cm/s, 30 cm/s, 35 cm/s y 40 cm/s, utilizando el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y verificando la correcta posición en el clasificador.

Resultados: En la tabla 4.2, se encuentran los datos adquiridos luego de clasificar las 112 imágenes de las botellas obtenidas con la banda en movimiento, obteniendo dos errores a velocidad de 15cm/s, un error a 25cm/s y dos errores a 40cm/s, dando como resultado un porcentaje de error por velocidad de 1,79%, 0,89% y 1,79% respectivamente, siendo el porcentaje total del error de 4,46%.

Tabla 4.2. Pruebas dinámicas de clasificación del nivel de llenado de las botellas.

ALGORITMO NIVEL DE LLENADO								
	VELOCIDAD (cm/s)							TOTAL
	10	15	20	25	30	35	40	
NÚMERO DE PIEZAS	16	16	16	16	16	16	16	112
ERRORES	0	2	0	1	0	0	2	5
PORCENTAJE ERROR								4,46%

Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013.

- **Prueba con el color de líquido diferente al preestablecido**

Propósito: Evaluar el desempeño de los *scripts* de clasificación ante colores de líquidos diferentes al preestablecido, para esto se usó líquido de color rojo, blanco, amarillo claro y negro como se pueden ver en la figura 4.2.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Figura 4.2. Nivel de líquido diferente al preestablecido.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 16 imágenes de las botellas en tiempo real, cuatro para cada velocidad las cuales son: 10 cm/s, 20 cm/s, 30 cm/s y 40 cm/s, se utilizó el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y se observó la posición en el clasificador.

Resultados: las botellas con líquidos de color rojo, amarillo claro y negro, fueron reconocidas por los *scripts* como “NIVEL POR DEBAJO DE LA ETIQUETA” y posicionadas por el clasificador al lado derecho, como era de esperarse, debido a que el algoritmo no reconoce estos colores, para el caso del color del líquido blanco, se esperaba que el algoritmo lo clasificara correctamente debido a que las intensidad de color del plano rojo son similares al color preestablecido, pero el algoritmo lo clasifico aleatoriamente, debido a que el líquido blanco (leche) utilizado, manchaba temporalmente la botella y no permitió la clasificación correcta de todos sus niveles.

4.1.3. Etiquetas

Se realizaron pruebas dinámicas para determinar el rendimiento del algoritmo de etiquetas, estas pruebas se dividieron en pruebas con etiquetas preestablecidas para el desarrollo del algoritmo y pruebas con etiquetas diferentes a las preestablecidas.

- **Prueba con etiquetas preestablecidas**

Propósito: Evaluar el desempeño del *script* de clasificación por etiqueta, verificando su tipo (etiqueta 1, etiqueta 2, etiqueta 3 y sin etiqueta) y posicionándolo correctamente en el clasificador.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 112 imágenes de las botellas en tiempo real con niveles diferentes, 16 para cada velocidad, las cuales son: 10 cm/s, 15 cm/s, 20 cm/s, 25 cm/s, 30 cm/s, 35 cm/s y 40 cm/s, utilizando el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y verificando la correcta posición en el clasificador.

Resultados: En la tabla 4.3, se encuentran los datos adquiridos luego de clasificar las 112 imágenes de las botellas obtenidas con la banda en movimiento, sin obtener error alguno en cada una de las velocidades.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Tabla 4.3. Pruebas dinámicas de clasificación del tipo de etiqueta de las botellas.

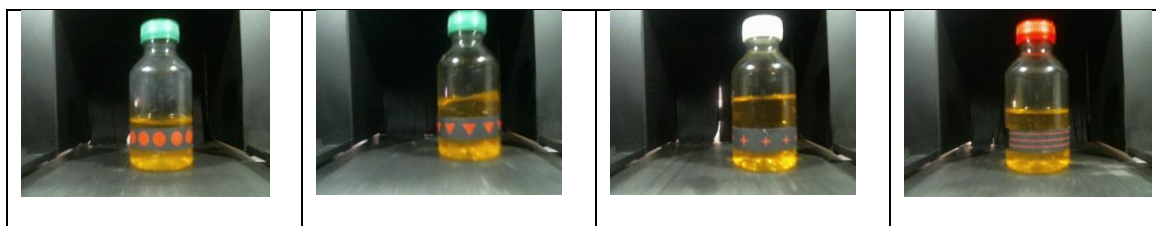
ALGORITMO TIPO DE ETIQUETA								
	VELOCIDAD (cm/s)							TOTAL
	10	15	20	25	30	35	40	
NÚMERO DE PIEZAS	16	16	16	16	16	16	16	112
ERRORES	0	0	0	0	0	0	0	0
PORCENTAJE ERROR								0%

Fuente: Elaboración propia, Mayo 2013.

- **Prueba con etiquetas no preestablecidas**

Propósito: Evaluar el desempeño del *script* de clasificación con etiquetas al preestablecido, para esto se usó etiquetas con formas diferentes como por ejemplo como se pueden ver en la figura 4.3.

Figura 4.3. Tipo de etiqueta diferente al preestablecido.



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Procedimiento: las pruebas dinámicas se realizaron capturando 16 imágenes de las botellas en tiempo real, cuatro para cada velocidad las cuales son: 10 cm/s, 20 cm/s, 30 cm/s y 40 cm/s, se utilizó el *script* para clasificar cada una de estas imágenes y se observó la posición en el clasificador.

Resultados: las etiquetas de las botellas con diseños diferentes, fueron reconocidas por el *script* como “NO RECONOCIDAS” y posicionadas por el clasificador al lado derecho tal como se esperaba, debido a que el algoritmo se diseñó para que en casos como los presentados, los ubique en la posición de sin etiqueta.

4.2. PRUEBAS CON ESTUDIANTES

Propósito: Evaluar el manual de usuario diseñado para la banda transportadora con estudiantes de la universidad del cauca del programa de Ingeniería en Automática Industrial y otros programas, los estudiantes encuestados están cursando semestres a partir de séptimo hasta décimo.

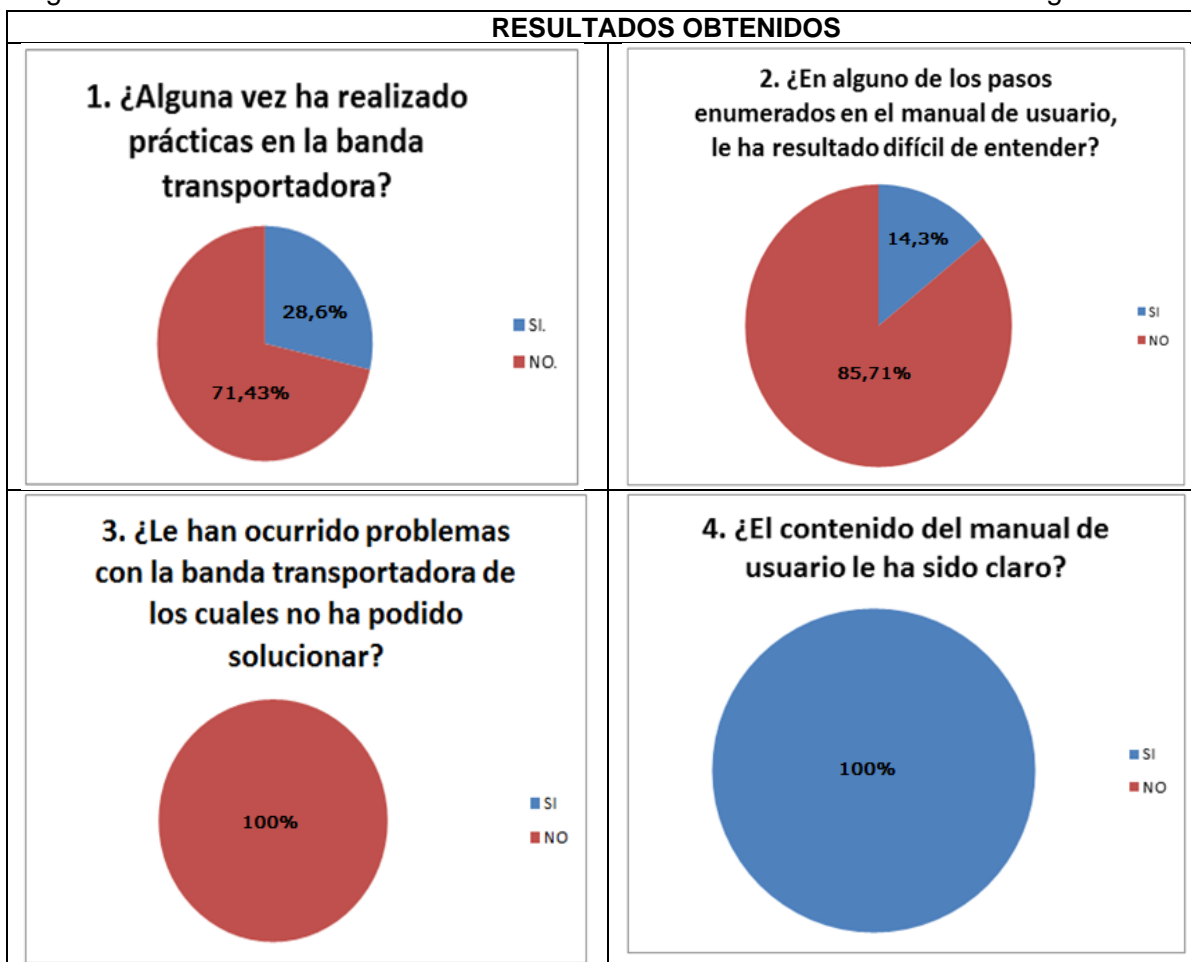


Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

Procedimiento: las pruebas la realizaron 7 estudiantes a los cuales se les proporcionó el manual de usuario y la disponibilidad de la banda de clasificación, luego de terminada la práctica con cada uno de ellos, se procedió a evaluar su nivel de satisfacción con respecto a la interfaz gráfica y el manual de usuario, por medio de una encuesta que consta de 11 preguntas. Como se puede ver en el anexo D.

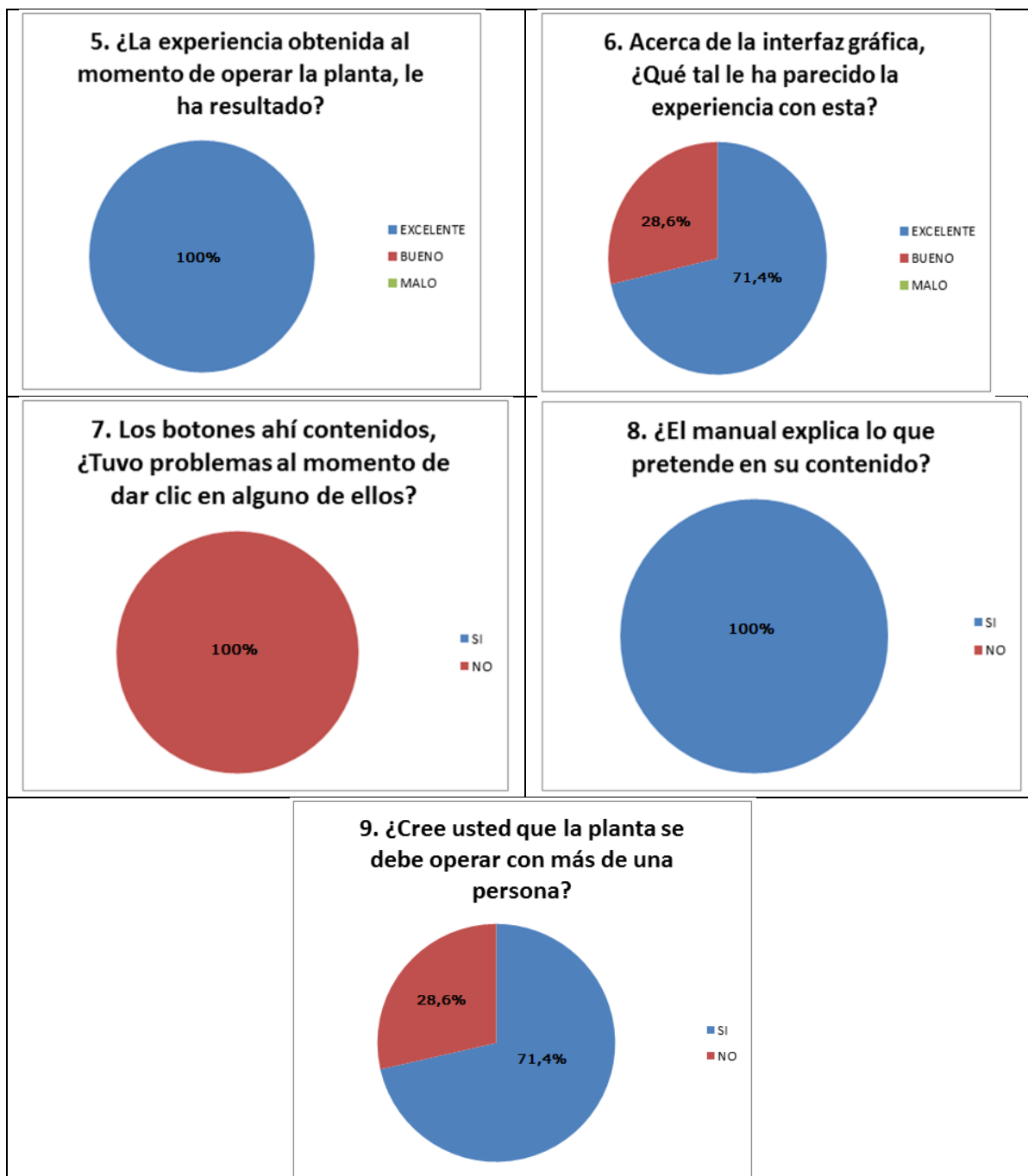
Resultados: En la figura 4 se representan los resultados obtenidos a cada una de las preguntas realizadas a los estudiantes encuestados.

Figura 4.4. Resultado encuesta de conformidad a estudiantes sobre la interfaz gráfica





Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos



Fuente: Elaboración propia, Mayo de 2013.

Como se puede observar en las figuras, los estudiantes que realizaron la prueba, no tuvieron inconveniente alguno al momento de operar la banda tomando como guía el manual proporcionado, salvo uno de ellos, ya que tuvo dificultades al momento de seguir uno de los procedimientos indicados en la guía. Lo que se concluye que la interfaz y el manual de usuario han obtenido los resultados esperados.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

CONCLUSIONES

El sistema de visión anterior solo garantizaba la clasificación de las piezas a velocidades entre 17cm/s y 24 cm/s, con el sistema de visión optimizado la clasificación de las botellas se puede realizar en todo los rangos de velocidades de la banda, debido a que los algoritmos clasificaron adecuadamente y tuvieron comportamientos similares en las pruebas realizadas a diferentes velocidades.

Con el nuevo sistema para la toma de imágenes, se obtuvieron imágenes claras, nitidez y con colores más rico, que con el sistema de captura de imágenes anterior, como se puede evidenciar observando las imágenes de la figura 2.13 y 2.12 que corresponden a imágenes capturadas con el sistema de toma de imágenes pre optimizado y optimizado respectivamente.

El desarrollo y diseño de la interfaz de usuario, permitió una mayor practicidad y eficiencia al momento de analizar las imágenes obtenidas, reduciendo así el engorroso proceso de interactuar directamente con las líneas de código para lograr analizar el proceso deseado. Además proporciona un entorno visual sencillo para monitorear la correcta clasificación en la planta.

Con la incorporación de un cuarto de toma de imágenes a la banda transportadora independiente de la iluminación externa, permitió abrir las cortinas de las ventanas del laboratorio y obtener un ambiente de trabajo más amigable e iluminado.

La entrega de la optimización del sistema de visión funcionando en conjunto con el proceso de clasificación de piezas de la banda transportadora al laboratorio de Control de procesos de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, permite generar un valioso aporte al programa de Ingeniería en Automática Industrial en el campo de la automatización y aplicaciones de visión de máquina, convirtiéndose en una valiosa guía de apoyo para la formación de los estudiantes y futuros proyectos del PIAI.

Se recomienda probar Los scripts de procesamiento desarrollados es esta tesis, en sistemas portátiles como lo son los sistemas embebidos para prácticas con fines educativos.



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Introducción a la visión artificial, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://isa.umh.es/asignaturas/rvc/cap1IntroVA.pdf>
- [2] INFAIMON, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://www.infaimon.com/catalog/catalog_pages.php?pageid=42&utm_source=adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=sistemas_vision
- [3] COMTITRONIC. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.comtitronic.com/nuestra-empresa.html>
- [4] La visión artificial aplicada al proceso de producción del café. [Citado Enero 2013] sitio Web disponible: http://unal.academia.edu/GustavoOsorio/Papers/1386111/La_vision_artificial_aplicada_al_proceso_de_produccion_del_cafe
- [5] LOGICELECTRONIC, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.logicelectronic.com/vision/inspeccionautomatizada.html>
- [6] Aspectos de un proyecto de visión artificial, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Aspectos_de_un_Proyecto_de_Vision_Artificial.pdf
- [7] INFAIMON, CATALOGO INDUSTRIA. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.infaimon.com/catalogo-industria/camaras-vision-artificial-55.html>
- [8] LOGIC ELECTRONIC, VISION. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.logicelectronic.com/vision/inspeccionautomatizada.html>
- [9] PEREZ SANDOVAL, María Fernanda. VELASCO DELGADO, Oscar Duvier. Sistema de clasificación de piezas en una línea de producción empleando visión de máquina. Trabajo de grado. Ingeniero en Automática Industrial Popayán. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento de Electrónica Instrumentación y Control. 2011
- [10] O'REILLY, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.oreilly.com/catalog/9780596516130>
- [11] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/aplicaciones-vision-artificial-industria.html>
- [12] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL-VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA DE ALIMENTACION. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/vision-artificial-aplicada-industria-alimentacion.html>
- [13] VISION ARTIFICIAL. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://jennys-visionart.blogspot.com/2012/04/aplicacion-en-las-industrias.html>



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

- [14] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL-VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA DE LA AUTOMOCIÓN. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/vision-artificial-aplicada-industria-automocion.html>
- [15] EVOLUCION DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA ROBOTICA. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.monografias.com/trabajos88/evolucion-inteligencia-artificial-aplicada-robotica/evolucion-inteligencia-artificial-aplicada-robotica.shtml>
- [16] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL-VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/vision-artificial-aplicada-industria-electronica.html>
- [17] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL-VISIÓN ARTIFICIAL APLICADA AL PACKAGING. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/packaging/vision-artificial-aplicada-packaging.html>
- [18] JASVISIO, VISIÓN ARTIFICIAL-OTRAS APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.jasvisio.com/otras/otras-aplicaciones-vision-artificial.html>
- [19] APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL EN METROLOGÍA Y LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://www.angeldacal.com/files/news/DEA_angeldacal_memoria.pdf
- [20] INFAIMON S.L. Sistema de Visión Integrados. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.infaimon.com/catalogo-industria/sistemas-vision-integrados-62.html>
- [21] COMTITRONIC. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.comtitronic.com/nuestra-empresa.html>
- [22] La visión artificial aplicada al proceso de producción del café. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://unal.academia.edu/GustavoOsorio/Papers/1386111/La_vision_artificial_aplicada_al_proceso_de_produccion_del_cafe
- [23] ATALAYA DEL EMPRENDEDOR, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://www.atalayadelemprendedor.com/images/pdf/La_vision_artificial_una_oportunidad.pdf
- [24] TIC, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos_adicionales/trabajos/3D/VisionArtificial/index.html
- [25] DE LA ESCALERA, ARTURO. Visión por computador. Madrid, 2001. P [12-22]
- [26] ROBESAFE, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://www.robescape.com/personal/pablo.alcantarilla/papers/Alcantarilla06pfc.pdf>



Optimización del Sistema de Visión para la Banda Transportadora del Laboratorio de Control de Procesos

- [27] SOFTUSES, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://es.softuses.com/77423>
- [28] NATIONAL INSTRUMENTS. El Software de Desarrollo de Visión de National Instruments Ahora proporciona Capacidad de Visión Integrada. [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/8337B390E60D638E86256EE6005AB9F>
- [29] INTEL® SOFTWARE NETWORK. Open Source Computer Vision Library (OpenCV). [Citado Enero 2013], Sitio Web disponible: <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-integrated-performance-primitives-intel-ipp-open-source-computer-vision-library-opencv-faq/>
- [30] GARCÍA SANTILLÁN, Iván Danilo. Visión artificial y procesamiento digital de imágenes usando Matlab, 2008.
- [31] DESARROLLO DE UN SISTEMA SEÑALADOR PARA PRESENTACIONES, [Citado Enero 2013] Sitio Web disponible: http://www.disca.upv.es/magustim/val/pfcs_anteriors/punterLaser/memoria.pdf
- [32] LOGITECH, [Citado Mayo 2013] Sitio Web disponible: <http://www.logitech.com/en-us/product/hd-webcam-c615?crid=34>
- [33] MADE-IN-CHINA, [Citado Mayo 2013] Sitio Web disponible: http://es.made-in-china.com/co_lisacy/product_Spotlight_hnhnyieyg.html
- [34] Qt Project, [Citado Mayo 2013] Sitio Web disponible: http://qt-project.org/wiki/QtCreatorWhitepaper_Spanish
- [35] LA LIBRERÍA QT, [Citado Mayo 2013] Sitio Web disponible: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12046/fichero/7_Capitulo7.pdf
- [36] Connected Components Labeling, [Citado Mayo 2013] Sitio Web disponible: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/label.htm>