



POSGRADOS

Maestría en Electrónica y Automatización

RPC-SO -30-No.507-2019

Opción de
titulación:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN
VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA
INSPECCIÓN DE ETIQUETAS EN EL PROCESO
DE MARCACIÓN FISCAL DE BEBIDAS

AUTOR:

JONNATHAN ISMAEL ARIAS REGALADO

DIRECTOR:

MARCELO ESTEBAN FLORES VÁZQUEZ

Cuenca - Ecuador
2022

COHORTE
2020 - 2021

Autor:



Jonnathan Ismael Arias Regalado

Ingeniero Electrónico.

Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización,
Mención en Informática Industrial por la Universidad
Politécnica Salesiana - Sede Cuenca.

jo.isma@hotmail.com

Dirigido por:



Marcelo Esteban Flores Vázquez

Ingeniero Electrónico.

Máster universitario en Automática e Informática Industrial.
mfloresv@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

ARIAS REGALADO JONNATHAN ISMAEL

***DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN VISIÓN
ARTIFICIAL PARA LA INSPECCIÓN DE ETIQUETAS EN EL
PROCESO DE MARCACIÓN FISCAL DE BEBIDAS***

Índice general

Índice de Contenidos	II
Índice de Figuras	IV
Índice de Tablas	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
1. Introducción	1
1.1. Ventajas del control de calidad por visión artificial	2
1.2. Descripción general del problema.....	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Contribuciones	4
1.5. Organización del manuscrito.....	4
2. Estado del arte	6
2.1. Visión Artificial	7
2.1.1. Proceso para un análisis utilizando Visión Artificial.....	7
2.1.2. Sistema de Iluminación	7
2.1.3. Fuentes de Iluminación	7
2.1.4. Procesamiento de imágenes	8
2.1.5. Tipos de archivo de imagen	9
2.2. Cámara.....	9
2.2.1. Conexión PC – Cámara.....	11
2.3. LabVIEW.....	11
2.3.1. Visión artificial en LabVIEW	11

2.4. Técnicas de reconocimiento de patrones	11
2.4.1. Correlación cruzada normalizada (NCC)	12
2.4.2. Momentos invariantes HU	13
2.4.3. Transformación de características invariantes de escala (SIFT).....	15
2.4.4. Redes Neuronales	16
3. Materiales y Metodología	21
3.1. Diseño del sistema	23
3.1.1. Adquisición de imágenes	23
3.2. Detección de presencia de botella.....	26
3.3. Selección de SKU y LOTE	29
3.3.1. SKU	29
3.3.2. LOTE	29
4. Resultados	31
4.1. Experimentación y Resultados.....	38
4.2. Conclusiones.....	39

Índice de Figuras

2.1. Píxeles extraídos de una imagen.[Bib, 2015].....	8
2.2. Cámara 'ELP USBFHD08S'[Bib, 2022a].....	10
2.3. Análisis gráfico de la correlación de f y w.[Lewis, 2016]	12
2.4. Filtro Gaussiano.	15
2.5. Variación de la desviación estándar en el filtrado Gaussiano.	16
2.6. Diferencia entre imágenes suavizadas.....	16
2.7. Pirámide Gaussiana de una imagen.	17
2.8. Esquema de detección SIFT.	17
2.9. Esquema de una RNA.....	18
2.10. Representación matricial de la imagen patrón.....	18
2.11. Representación matricial binaria de la imagen patrón.	19
2.12. Representación vectorial de la imagen patrón.	19
2.13. Representación de la RNA.	19
2.14. Representación del patrón del numero 3.	20
3.1. Reconocimiento de Patrones	22
3.2. Adquisición de la imagen en LabVIEW	23
3.3. Adquisición de la imagen en LabVIEW mejorada.....	24
3.4. Procesamiento de imágenes.....	24
3.5. Transformación a escala de grises de una imagen.	25
3.6. Creación de la imagen Patrón.	26
3.7. Selección del área de la imagen patrón.	27
3.8. Regiones que no son de interés en la imagen patrón.	27
3.9. Selección del ROI imagen patrón	28
3.10. Búsqueda de la imagen patrón	28
3.11. Panel frontal - Comunicación LabVIEW y Arduino	29
3.12. Diagrama de bloques - Comunicación LabVIEW y Arduino	29
3.13. Selección del SKU y LOTE.....	30

4.1. Lugar donde se implementó el sistema de visión.....	32
4.2. Soporte del sistema de visión [Bib, 2022b].....	32
4.3. Soporte de cámara y sensor.	33
4.4. Soporte de cámara y sensor instalado.....	33
4.5. Sistema de visión artificial.	34
4.6. Conexión Cámara-PC y Arduino-PC.....	35
4.7. Conexión Arduino - Sensor.....	35
4.8. Tarjeta de Adquisición ensamblada.	36
4.9. Inicio de programa en LabVIEW.....	36
4.10. Inicio de sesión.	37
4.11. Funcionamiento del sistema de visión.....	38
4.12. Funcionamiento del sistema de visión.....	38
4.13. Generación de reporte en Excel.	39
4.14. Aciertos y errores de la prueba 1.....	40
4.15. Aciertos y errores de la prueba 1.....	41
4.16. Aciertos y errores de la prueba 2.....	42
4.17. Botellas - prueba 2.	43
4.18. Aciertos y Errores Prueba 3.....	44

Índice de Tablas

2.1. Características técnicas - Cámara.....	10
4.1. Características - Caja PVC.....	34

Resumen

Este proyecto elabora un sistema de inspección de calidad en el proceso de etiquetado fiscal SIMAR utilizando visión artificial, mediante herramientas informáticas. Para desarrollar el sistema de visión artificial se utilizó LabVIEW ya que posee librerías dedicadas al procesamiento de imágenes para la implementación de visión artificial en la industria. Es así como se logró desarrollar un sistema que permite detectar la presencia de botella, inspeccionar la calidad del etiquetado, almacenar un historial de análisis, generar reportes y alertas sin la presencia constante de un operador. Se logró reducir el desperdicio de material, tiempo de respuesta entre fallas, realizar una evaluación continua de la calidad del etiquetado, detección automática de fallas e incrementar la eficiencia en el desarrollo de informes de auditoría. Para ejercer el control en la calidad del etiquetado se ha programado un sistema compuesto por una cámara y una computadora. La cámara envía las imágenes a Labview mediante una comunicación serial, Labview mediante el toolkit de visión artificial inicia el proceso para determinar si el CFS colocado en la botella en ese momento cumple con los parámetros de calidad establecidos:

- CFS este centrado en la tapa.
- Pegado de manera vertical.

El sistema implementado informa si la colocación del CFS en la botella es el adecuado y en el caso de no serlo genera una alerta. Al finalizar la producción genera un reporte de producción donde se evidencia un informe de la calidad del etiquetado en general.

Abstract

This project develops a quality inspection system in the SIMAR fiscal labeling process using artificial vision, through computer tools. To develop the machine vision system, LabVIEW was acquired as it includes several machine vision and image processing functions that can be implemented on hardware platforms. This is how a system will be developed that allows detecting the presence of a bottle, inspecting the quality of the labeling, storing an analysis history, generating reports and alerts without the constant presence of an operator. It was possible to reduce the waste of material, response time between failures, carrying out a continuous evaluation of the quality of the labeling, automatic detection of failures and increasing the efficiency in the development of audit reports. To control the quality of the labeling, a system has been programmed consisting of a camera and a computer. The camera sends the images to Labview through serial communication, Labview through the machine vision toolkit starts the process to determine if the CFS placed in the bottle at that moment meets the established quality parameters:

- CFS is centered on the cap.
- Vertically glued.

The implemented system informs if the placement of the CFS in the bottle is appropriate and if it is not, it generates an alert. At the end of production, it generates a production report where a report on the quality of the labeling in general is evidenced.

Capítulo 1

Introducción

Según la última información publicada por el Banco Central del Ecuador existen más de 500 empresas que fabrican bebidas alcohólicas operando en tres segmentos de mercado específico:

- Elaboración de bebidas malteadas y malta.
- Destilación de bebidas alcohólicas.
- Elaboración de vinos.

Esta industria tiene gran participación en el mercado registrando ventas superiores a USD 850 millones en los últimos 3 años. El Servicio de Rentas Internas SRI es el organismo encargado de regular, fiscalizar y recaudar aspectos de interés tributario. El SRI implementó un sistema denominado SIMAR, el objetivo principal de este proyecto es garantizar que el producto que se va a consumir es auténtico y que no ha sufrido alteraciones o manipulaciones químicas.[[unk, 2020](#)].

El control de calidad basa su funcionamiento en buscar imperfecciones en el producto de inicio a fin en la cadena de producción, analizando el envase, líquido, etiquetas, tapas, etc.[[Schwartz and Manickum, 2015](#), [Gordillo et al., 2019](#)].

El sistema de visión artificial en la industria pretende simular la función que realiza el ojo humano, a través de una cámara captura imágenes, las procesa y analiza los resultados para tomar una decisión correcta. A diferencia del sistema de visión humano, la visión artificial puede analizar objetos a gran velocidad, agilizando procesos, aumentando la productividad y mejorando la eficiencia [[Hammoumi et al., 2018](#)]

1.1. VENTAJAS DEL CONTROL DE CALIDAD POR VISIÓN ARTIFICIAL2

1.1. Ventajas del control de calidad por visión artificial

- Aumentar la productividad: Se eliminan los productos defectuosos antes de finalizar el proceso de producción, agiliza el flujo de producto y en consecuencia se incrementa el volumen de producción.
- Disminuir las pérdidas de materiales: Al retirar el producto defectuoso a tiempo, se impide que pase por otras etapas de producción ahorrando así material e insumos.
- Reducir los costes: Se optimiza el uso de material, se reduce tiempos de producción, en consecuencia existe una reducción de costes desde un punto de vista general.[[Gordillo et al., 2019](#)]
- Mejorar la calidad del producto final: Si el control de calidad se aplica correctamente, el resultado final será un producto terminado de mejor calidad, beneficiándose así el productor y el consumidor.

En conclusión, el control de calidad beneficia al fabricante y al consumidor, por lo que su implementación es necesaria y permite garantizar un producto final de calidad [[Javier and Baroja, 2016](#)]

Existen trabajos previos que se han desarrollado en distintas áreas como medicina, industria farmacéutica, industria metalúrgica, etc. Las principales aplicaciones que se han dado al análisis por visión artificial son:

- Realizar el seguimiento de un objeto mediante la secuencia de imágenes.
- Localizar y reconocer objetos.
- Análisis de imágenes en 2D y 3D.
- Medir objetos a partir de imágenes.
- Automatizar procesos mediante el análisis de imágenes.

A través del tiempo se ha logrado mejorar varios aspectos de la visión artificial como tiempos de respuesta, mejora de la calidad de imágenes, optimización de recursos, algoritmos computacionales etc. [[Hammoumi et al., 2018](#)]

1.2. Descripción general del problema

La producción de bebidas alcohólicas es un proceso industrial a gran escala, y como en todo proceso existen falencias como desgaste de la maquinaria, variación en la presión del aire, fricción por rodamientos, variación de envases, etc. Estas variaciones ocasionan que los CFS (Componentes físicos de seguridad) no se coloquen adecuadamente en la tapa de la botella.

La ubicación incorrecta del CFS en el producto genera diversos inconvenientes tales como:

- En el caso de que el CFS este arrugado y no se pueda leer el código QR impreso. El SRI según el art.118 del régimen tributario interno prohíbe la tenencia de todo producto que no cumpla con las normas requeridas. Por tanto, se procede con la incautación del producto.
- Si el producto no contiene el CFS, el art.25 establece que se prohíbe el expendio de todo producto gravado con ICE que no cuente con un CFS valido.
- El caso más común es cuando el producto cuenta con CFS, pero este no se colocó adecuadamente, es decir no se encuentra en el centro de la tapa y sus aristas no están ubicadas de forma perpendicular. En este caso no existe sanción por parte del SRI ya que el CFS si es legible pero afecta de una forma significativa al aspecto visual del producto y en consecuencia al volumen de venta.

[SRI, 2016]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema basado en visión artificial para el control de calidad en el proceso de etiquetado fiscal de botellas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Objetivo específico 1. Analizar el estado del arte sobre las técnicas existentes para la detección de posición y perpendicularidad de objetos usando visión artificial mediante la revisión sistemática de documentos científicos, con el objetivo de sentar las bases conceptuales y metodológicas para el desarrollo del proyecto.
- Objetivo específico 2. Definir los requerimientos de diseño, mediante el análisis del funcionamiento de un sistema de visión artificial, con la finalidad de sentar las bases necesarias para la implementación del sistema.
- Objetivo específico 3. Desarrollar el sistema de inspección de etiquetas basado en visión artificial mediante el uso de la herramienta informática LabView para realizar el proceso de análisis de las etiquetas considerando su posición y perpendicularidad.
- Objetivo específico 4. Validar el sistema desarrollado mediante pruebas de campo para verificar los resultados y medir la eficiencia.

1.4. Contribuciones

Actualmente la industria licorera en el país realiza sus procesos de control de calidad de manera manual, es decir un operador inspecciona la botella y el producto de manera visual para así validar que el producto final se encuentra en óptimas condiciones para ser despachado y vendido.

En el control de calidad convencional, el factor humano prevalece generando desventajas como cansancio, distracciones, velocidad de reacción, criterio de selección, problemas de salud por acciones repetidas, etc.

Este proyecto aporta un sistema automático para analizar el etiquetado fiscal que puede funcionar 24/7. El margen de error es menor al manual y existe una reducción de costos, la generación de reportes se realiza en segundos y disminuyen los tiempos de producción debido a que las paradas de línea también se reducen.

1.5. Organización del manuscrito

En el capítulo 1 se presenta un resumen e introducción al tema que aborda este proyecto, recalcando su papel e importancia dentro de la industria. Se detalla el problema que se estudia así como las contribuciones y aportes

que se evidenciaron en el desarrollo de la solución. Se exponen los objetivos planteados al inicio del proyecto y la metodología que se utilizó para lograr la consecución de los mismos. En el capítulo 2 se expone un estado del arte siendo este un marco teórico referencial y punto de partida de las siguientes secciones. Se presentan definiciones previas necesarias para la comprensión del problema y los temas que se abordan en este. Se formula nuevamente el problema que se desea tratar y dar solución mediante un desarrollo técnico. En el capítulo 3, partimos del diseño del experimento abarcando todos los objetivos planteados para que después en el desarrollo se pueda evidenciar el proceso que se llevó a cabo para elaborar el sistema de inspección de etiquetas, evidenciando etapa a etapa su programación, estructuración y funcionamiento. Al finalizar este capítulo se presentan los resultados obtenidos, analizándolos y evaluándolos para que mediante una discusión se pueda poner en balanza las metas alcanzadas. Por último, en el Capítulo 4 se expone la implementación del sistema en la industria y su funcionamiento. Se tratan problemas que se presentaron en la implementación y como se logró solucionar. Se evidencia todas las ventajas que nos brinda este proyecto y cual es el procedimiento a seguir para que este funcione adecuadamente.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo se evidencia los resultados de la investigación documental realizada previamente. Partimos de una descripción del proceso que se lleva a cabo dentro de una fábrica de bebidas para así ubicar el área en la que se desarrolla este proyecto. Se analiza el proceso de etiquetado fiscal, cuales son sus características principales y que consideraciones se deben tomar en cuenta para una evaluación. Mediante un análisis general de la visión artificial, proceso y su incorporación en diferentes programas. Se realiza un análisis técnico de la cámara elegida para el desarrollo del sistema de inspección, siendo esta una pieza fundamental que garantizará una ejecución adecuada y exitosa de la aplicación. Por último se detalla que técnicas de reconocimiento de patrones se utilizó para poder determinar si el producto analizado en ese instante posee un CFS válido y si su ubicación es correcta.

2.1. Visión Artificial

Es una ciencia que tiene como objetivo principal adquirir, procesar y analizar imágenes para mediante un procesamiento de los resultados tomar decisiones y elaborar acciones de control.[[Vitoriano and Amaral, 2017](#)]

2.1.1. Proceso para un análisis utilizando Visión Artificial

- **Captura:** Se obtiene una imagen digital mediante un dispositivo electrónico como cámara, escáner, satélite, telescopio, etc.
- **Pre-Procesamiento:** Se adecua la imagen para que cumpla con ciertos parámetros como nivel de ruido, contraste, nitidez, siendo el objetivo principal el realce de ciertas características que son de interés.
- **Segmentación:** Ya que se conoce las regiones de la imagen que son de nuestro interés, se procede a dividir la imagen en grupos de píxeles, separando aquellas regiones que se desean analizar más detenidamente.
- **Descripción:** Aquí se obtiene toda la información necesaria para diferenciar el objeto analizado de otro, clasificándole por su color, forma, perímetro, textura, entre otros.
- **Interpretación:** Es el sentido que le damos a los resultados obtenidos, es decir, que acción se debe realizar en consecuencia de los resultados obtenidos.

[[Vitoriano and Amaral, 2017](#), [Herrador, 2009](#)]

2.1.2. Sistema de Iluminación

La iluminación es de suma importancia cuando se pretende analizar una escena dentro de un sistema visual. Se debe implementar la iluminación adecuada para que la imagen obtenida por la cámara sea idónea y permita realizar el análisis de la misma con la mayor velocidad posible y disminuyendo al máximo el tiempo de procesamiento.

2.1.3. Fuentes de Iluminación

- **Lámparas incandescentes:** Son muy comunes y simples, su interior esta compuesto por un filamento de tungsteno, generando así la posibilidad de entregar una potencia variable. Su principal desventaja consiste en

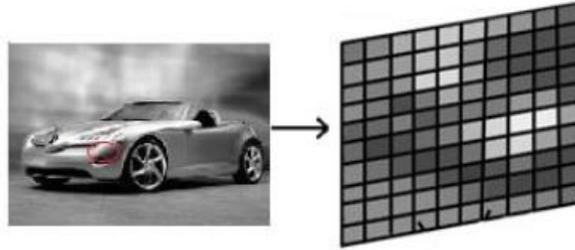


Figura 2.1: Píxeles extraídos de una imagen.[Bib, 2015]

que con el paso del tiempo la intensidad lumínica disminuye, lo que podría llevar a generar fallas en el sistema de visión.

- Lámparas fluorescentes: Estas lamparas producen una luz más difusa y se utiliza generalmente en ambientes reflectivos. Son fabricadas a base de vapor de mercurio. Son ampliamente utilizadas en el ambiente industrial ya que su consumo energético es bajo comparado con otros productos del mercado.
- Láser: Las fuentes láser emiten luz de alta intensidad con bajo consumo energético, fácil control, operación sencilla y larga vida en servicio.
- Lámparas LED: Están formadas por un material semiconductor, dependiendo de la composición química de este material, el diodo tendrá diferentes características como color, intensidad, consumo, entre otras. Su funcionamiento se basa en entregar suficiente corriente al diodo para que este libere energía en forma de fotón [Herrador, 2009, Pérez and Vaquero, 2015]

2.1.4. Procesamiento de imágenes

Una imagen en 2 dimensiones puede ser representada como una función $f(x,y)$, siendo $f(x,y)$ un arreglo en dos dimensiones para representar la intensidad luminosa en un punto (x,y) , donde tanto x como y representan las coordenadas espaciales de un píxel en específico. Para realizar el procesamiento de una imagen es necesario convertir dicha imagen digital en un arreglo de píxeles.[Rodrigo et al., 2014] A cada píxel se le asigna una coordenada y una intensidad de color como se muestra en la Figura 4.1

2.1.5. Tipos de archivo de imagen

- BMP: Utilizado por Windows son archivos demasiado grandes, ya que no implementan algoritmos de compresión para su almacenaje
- PSD: Creado por Adobe restringe su uso en programas como Photoshop, Creator entre otros.
- TIF: Es un formato muy común y puede ser utilizado en gran variedad de programas, su principal uso es en imágenes de mapa de bits.
- JPG o JPEG: Presente principalmente en imágenes de tono constante o en fotografías, utiliza algoritmos de compresión facilitando así su almacenaje.
- PNG: Es una versión mejorada del formato GIF y JPG, sus principales características son que presentan altos niveles de compresión y permite representar colores degradados o transparentes. [Salazar, 2019, Santiago et al., 2020]

2.2. Cámara

La cámara tiene como objetivo principal capturar una imagen a través de un sensor fotosensible, para después enviar la información a un sistema de análisis. [Schwartz and Manickum \[2015\]](#) Al momento de adquirir una cámara se debe tener ciertas consideraciones, como que sensor elegir, analógica o digital, velocidad, resolución, etc.

Para este proyecto se seleccionó una cámara digital por su rapidez en comparación con su similar analógico. En cuanto al sensor, la cámara elegida posee un sensor CMOS, siendo su principal ventaja la velocidad, esto debido a que todo el proceso de digitalización de los píxeles se realiza dentro del sensor, lo que ocasiona que no se requieran sistemas externos, se disminuyen costos y permiten fabricar equipos más pequeños. LabView posee librerías completas para comunicarse con cámaras USB, por este motivo se eligió este tipo de conexión. Analizando los requerimientos del sistema de visión como velocidad de obturación, procesamiento e iluminación, se optó por la cámara ELP USBFHD08S, véase la Figura 4.2.



Figura 2.2: Cámara 'ELP USBFHD08S'[Bib, 2022a]

Tabla 2.1: Características técnicas - Cámara

Características	Descripción
Resolución y FPS	1920X1080 MJPEG @ 60fps 1280X720 MJPEG @ 120fps 640X360MJPEG @ 260fps
Sensor	OV4689 Sensor
Puerto de conexión	USB 2.0
Resolución Máxima	FULL HD 1920x1080
Formato de imagen	MJPEG
Fuente de alimentación	DC 5V
Soporte de sistema operativo	WinXP/Vista/7/8/9/10 Linux Mac-OS X 10.4.8 o superior Android 4.0 o similares
Temperatura de trabajo	(-20 a 70 °C)

2.2.1. Conexión PC – Cámara

La conexión entre la cámara USB y la PC es sencilla, gracias a que posee el sistema PLUG and PLAY, es decir no necesita de ningún programa o controlador adicional para su funcionamiento. Basta con conectar la cámara mediante el cable USB que viene en su empaque y listo.

2.3. LabVIEW

LabVIEW es una herramienta informática para la creación de aplicaciones de monitoreo, control y diseño a través de una programación gráfica. LabVIEW posee como característica principal un entorno amigable y facilidad de uso para los usuarios, ya sean estos profesionales o principiantes. Al ser un entorno de programación gráfico, facilita la creación de aplicaciones complejas, sustituyendo extensas líneas de código con un ambiente gráfico.[[Gloria Ordoñez, 2012](#)]

2.3.1. Visión artificial en LabVIEW

Se utilizó LabVIEW para el desarrollo del sistema de visión artificial, ya que este software posee módulos desarrollados para este fin, además posee gran compatibilidad con otros programas, cámaras y sistemas de visión. Para interactuar entre el programador y la interfaz de LabVIEW se posee dos pantallas principales. El Panel frontal donde se puede visualizar un fondo gris y es la pantalla que ve el usuario.

La segunda pantalla de interés dentro de LabVIEW es el diagrama de bloques. Generalmente es una ventana de color blanco, aquí es donde se programa, insertan bloques, funciones, objetos que formaran parte de la programación gráfica.

2.4. Técnicas de reconocimiento de patrones

[[Vitoriano and Amaral, 2017](#), [Javier and Baroja, 2016](#), [Lewis, 2016](#)] Para el reconocimiento de patrones se debe asignar a cada objeto en análisis una clase en específico, a este proceso se lo denomina clasificación. Clasificar consiste en combinar las características del objeto en análisis con las características del ambiente en ese momento en base a una función discriminante.

Se requiere analizar(comparar) dos imágenes, para este proyecto se analiza la imagen patrón con la imagen obtenida con la cámara en un instante determinado. Surge la interrogante ¿Cómo medir la similitud entre estas

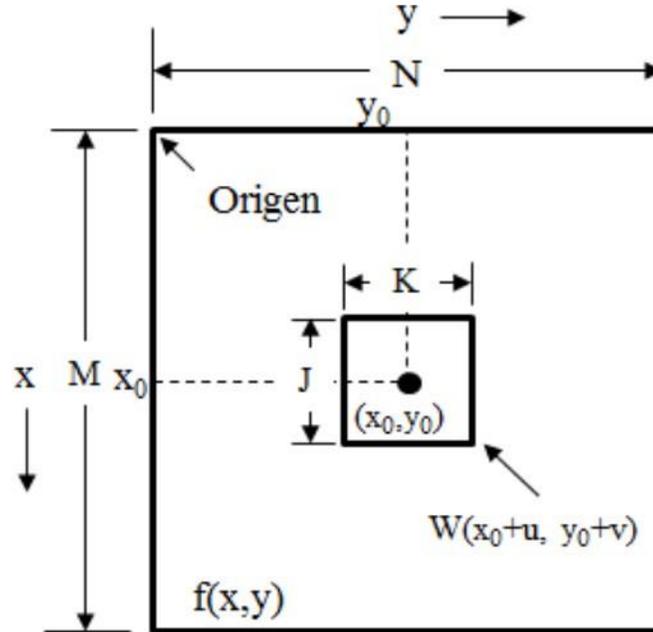


Figura 2.3: Análisis gráfico de la correlación de f y w . [Lewis, 2016]

imágenes? La idea principal basa su funcionamiento en comparar la imagen patrón píxel a píxel con la imagen adquirida y medir su similitud. Al algoritmo que permite comparar dos imágenes para conocer su similitud se lo conoce como clasificador.

2.4.1. Correlación cruzada normalizada (NCC)

La correlación cruzada normalizada es un algoritmo matemático que determina y cuantifica la relación entre dos conjuntos de datos (imágenes). El proceso parte de una imagen $f(x,y)$ que supondremos que posee elementos de interés. Se desea determinar si f contiene un objeto en particular, para ello generaremos una plantilla del objeto de interés $w(x,y)$. En consecuencia, si existe similitud entre f y w al realizar la correlación entre estas dos funciones, el resultado de la correlación será mayor en las coordenadas donde se encuentre mayor concordancia de w en f (Ver figura 4.3).

La correlación cruzada calcula la distancia Euclidiana cuadrada para

encontrar la similitud entre dos imágenes. Lewis [1995]

$$d_{f,w}^2(u, v) = \sum_{x,y} (f(x, y) - w(x + u, y + v))^2 \quad (2.1)$$

Donde f es la función bidimensional que representa la imagen en análisis, se ubica la imagen de referencia (patrón) en las coordenadas (u, v) . Se calcula la distancia euclidiana entre la imagen patrón y la escena en todos los puntos x, y . Para esto hacemos variar u y v , logrando así que la imagen patrón se mueva y abarque toda la escena. Bib [2022c] Las distancias calculadas mediante la ecuación 2.1 se suman y así se encuentra d^2 . Ahora si consideramos que el término $\sum (w^2(x + u, y + v))$ no varía así como el término $\sum (f^2(x, y))$ casi constante, la correlación cruzada estaría definida por la ecuación 2.2:

$$c(u, v) = \sum_{x,y} [f(x, y)w(x - u, y - v)] \quad (2.2)$$

La ecuación 2.2 Salazar Castillo [2019] cuantifica la similitud entre la escena y la imagen patrón. En esta ecuación se puede observar que su valor dependerá de varios factores como posición, tamaño, intensidad e iluminación. Esta dependencia se aplica a la imagen de referencia como a la escena. El índice de correlación se diseñó para solventar estos inconvenientes mediante la normalización de los vectores de la escena y la imagen patrón, Esta normalización tiene base 1, es decir, las intensidades de las imágenes no pueden superar este valor y se escalan para que su valor esté entre 0 y 1. El coeficiente de correlación se calcula mediante la ecuación 2.4:

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - \overline{f_{u,v}}][w(x - u, y - v) - \overline{w}]}{\sqrt{\sum_{x,y} [f(x, y) - \overline{f_{u,v}}]^2 \sum_{x,y} [w(x - u, y - v) - \overline{w}]^2}} \quad (2.3)$$

\overline{w} es la intensidad luminosa media de la imagen patrón y $\overline{f(u, v)}$ es la intensidad media de $f(x, y)$ de la escena bajo la imagen patrón.

2.4.2. Momentos invariantes HU

[Santiago et al., 2020, R and V, 2013, Alegre et al., 2016] Hasta este punto se ha logrado determinar el grado de similitud entre dos imágenes, permitiendo así encontrar una imagen patrón dentro de una escena. Para este proyecto se utilizó el análisis por correlación cruzada normalizada para determinar si el CFS está ubicado correctamente. En la actualidad se

estudian nuevas técnicas que permitan reconocer objetos independientemente de su posición, rotación y escalamiento. Los momentos invariantes permiten reconocer un objeto dentro de una escena sin importar si este ha sido rotado, trasladado o escalado.

Para encontrar el momento general $M_{pq}(f)$ $f(x, y)$ se define como Alegre et al. [2016]:

$$M_{pq}(f) = \iint_D P_{pq}(x, y) f(x, y) dx, dy \quad (2.4)$$

En donde P_{pq} son polinomios definidos sobre la región D. El momento general y el momento de una imagen difieren entre sí, ya que una imagen está representada en el dominio discreto y por estar representada por las coordenadas de los píxeles. En base a lo anterior se adapta la ecuación 2.4 al dominio discreto reemplazando la función continua $f(x,y)$ por una función discreta que represente la intensidad de los píxeles $I(x,y)$, en consecuencia se puede representar los momentos de una imagen así:

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y) \quad (2.5)$$

Si analizamos la ecuación 2.5, podemos observar que el momento de una imagen es un promedio ponderado de las intensidades de los píxeles de una imagen. Si analizamos el centroide, se obtendrá los momentos que son invariantes a la traslación de la imagen μ_{rs} así:

$$\mu_{rs} = \sum_{ij} (i - k)^r (j - l)^s \quad (2.6)$$

En donde los parámetros r y s determinan el orden del momento. Para reconocer patrones se toma en consideración las derivadas de los momentos centrales conocidos como momentos de Hu.

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (2.7)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} + \eta_{02})^2 = 4\eta^2 \quad (2.8)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (2.9)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (2.10)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + 3(\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (2.11)$$



Figura 2.4: Filtro Gaussiano.

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} - \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (2.12)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (2.13)$$

Siendo:

$$\eta_{rs} = \frac{\mu_{rs}}{\mu_{00}^t} \quad (2.14)$$

$$t = \frac{r+s}{2} + 1 \quad (2.15)$$

2.4.3. Transformación de características invariantes de escala (SIFT)

B et al. [2011], Schwartz and Manickum [2015] SIFT es un algoritmo utilizado comúnmente en visión artificial para detectar puntos de interés de un objeto dentro de una escena. SIFT fue desarrollado por Lowe en el año 2004. Este algoritmo parte de someter a la imagen en análisis a una serie de filtros gaussianos. Al someter una imagen a este filtro lo que se obtiene como resultado es una imagen suavizada como se puede observar en la figura 4.4. El grado de suavizado de la imagen resultado dependerá de la magnitud de la desviación estándar de la función gaussiana 2.16, es decir, mientras mayor sea σ mayor será el suavizado de la imagen, esta afirmación se comprueba visualmente en la imagen 4.5.

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi(\sigma)^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.16)$$

Para encontrar los puntos de interés en una imagen, SIFT realiza la

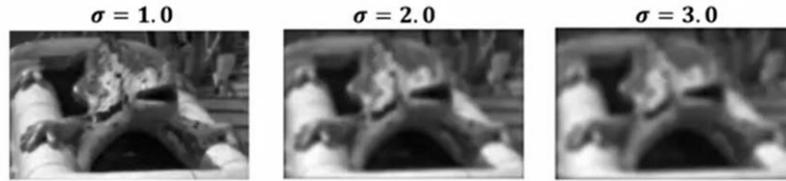


Figura 2.5: Variación de la desviación estándar en el filtrado Gaussiano.

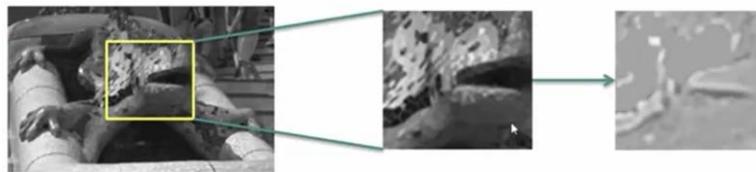


Figura 2.6: Diferencia entre imágenes suavizadas.

diferencia (resta) entre dos imágenes suavizadas consecutivas y analiza su resultado intentando hallar cambios de intensidad entre regiones claras y oscuras como se observa en 4.5, estos cambios generaran valores máximos y mínimos permitiendo así asegurar que en ese píxel y alrededores existen cambios de intensidad.

Ya encontrados los puntos de interés debemos asegurarnos que estos sean los mismos sin importar en que escala se encuentre la imagen. Para este proceso se desarrolla una pirámide Gaussiana, esta pirámide parte de la imagen original y conforme avanza la imagen disminuye su tamaño a la mitad (Ver figura 4.6). En cada nivel de la pirámide se aplica el filtro Gaussiano, después se realiza la diferencia entre imágenes de niveles consecutivos y se encuentran los puntos de interés, este procedimiento se aplica en todos los niveles de la pirámide. Un resumen del proceso de detección se puede visualizar en la imagen 4.7

2.4.4. Redes Neuronales

[Gordillo, 2009, Javier and Baroja, 2016, Hernández et al.] Una red neuronal RNA está formada por un conjunto de neuronas, cada neurona tiene una entrada, salida y como resultado genera un estado. De forma general, una neurona recibe una señal, realiza la operación matemática para la que fue diseñada, genera una salida que a su vez será el ingreso a una neurona



Figura 2.7: Pirámide Gaussiana de una imagen.

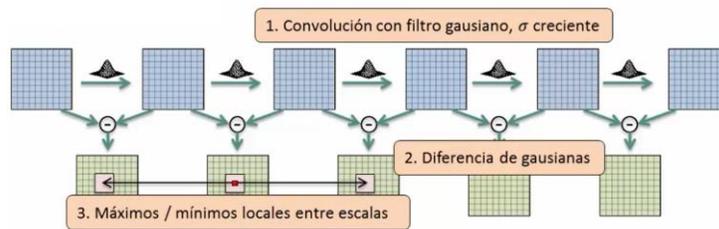


Figura 2.8: Esquema de detección SIFT.

vecina.

El uso de redes neuronales en el área de visión artificial ha incrementado continuamente gracias a las investigaciones que se han desarrollado con el paso del tiempo. Existe diversos tipos de RNA como Perceptrón(Monocapa), Multicapa(MLP), recurrentes, etc. Para ilustrar la aplicación de una RNA, se analizará la Red Neuronal Perceptrón. La RNA Perceptrón basa su funcionamiento en tomar una decisión como consecuencia de sus entradas. En su forma más simple la red Perceptrón toma una decisión(0 o 1) basada en la suma de los pesos de las entradas.4.9 El funcionamiento de una RNA para analizar la similitud entre en una escena y una imagen patrón parte de el cálculo de los pesos.

$$d(x) = \sum_{i=1}^n w_i x_i + W_{n+1} \quad (2.17)$$

La ecuación 2.17 representa como se toma la decisión, analizando la semejanza entre la imagen en tiempo real con referencia al vector que conforma la imagen patrón en función de los coeficientes w_i denominados

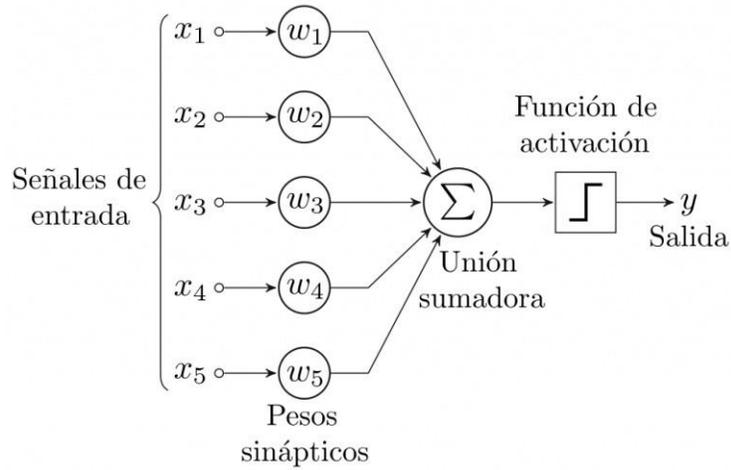


Figura 2.9: Esquema de una RNA.

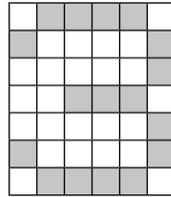


Figura 2.10: Representación matricial de la imagen patrón.

pesos. Cuando $d(x) > 0$ la salida de la RNA es 1, esto evidencia que la imagen analizada pertenece a la misma clase del Perceptrón. En el caso contrario, cuando $d(x) < 0$, la imagen analizada no pertenece a ninguna clase de la RNA.

Ejemplo de aplicación de una RNA en detección de patrones

Para ilustrar como sería la aplicación de una RNA para detectar las letras del abecedario (A..Z) o los números de un solo dígito (0..9) es necesario desarrollar un mecanismo que permita representar todos los elementos que conforman mi universo de análisis. Para este ejemplo se va a representar tanto los números como las letras en una matriz de 7 x 6 como se indica en la figura 4.10. El objetivo de representar a la imagen patrón en forma matricial es que

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	1	1	0
2	1	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	1
4	0	0	1	1	1	0
5	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	1
7	0	1	1	1	1	0

0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1
0	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0

Figura 2.11: Representación matricial binaria de la imagen patrón.

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	...	X42
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0		0

Figura 2.12: Representación vectorial de la imagen patrón.

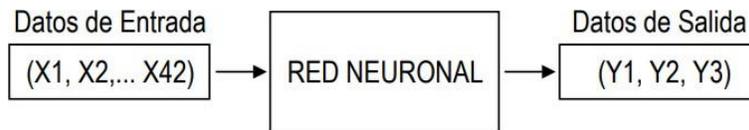


Figura 2.13: Representación de la RNA.

de esta manera se puede colocar un 1 por donde pase el trazo del número o letra y 0 si es un píxel vacío, este proceso se puede observar en 4.11. Como ya se mencionó, la RNA necesita de datos de entrada en forma de un vector lineal, para cubrir este requisito se transforma la matriz de 6 x 7 en un vector lineal de 42 elementos(Figura 4.12).

De esta manera nuestra red neuronal quedaría expresada por datos de entrada $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ y por los datos de salida $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$, esta representación se visualiza en 4.13 y tomando como ejemplo el reconocimiento del patrón del número 3 en la figura 4.14 se visualiza una representación gráfica de este proceso.

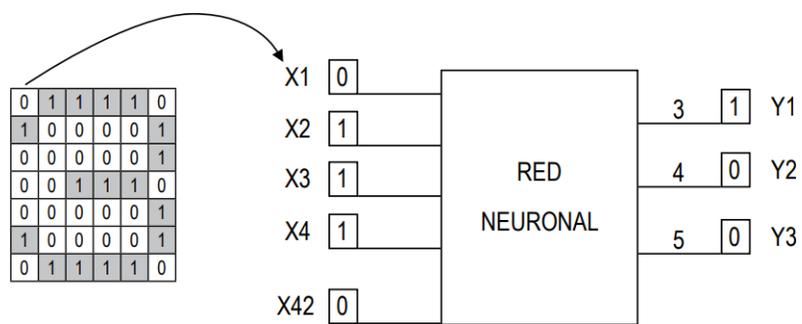


Figura 2.14: Representación del patrón del número 3.

Capítulo 3

Materiales y Metodología

En este apartado se presenta el desarrollo mediante LabVIEW del sistema para la inspección del etiquetado, explicando cada herramienta utilizada por el sistema, la programación realizada y como se configuró los diferentes módulos para lograr un funcionamiento óptimo. Para realizar el análisis por medio de visión artificial, como ya se mencionó anteriormente, se deben llevar a cabo los siguientes procesos: la captación de imágenes, almacenamiento de la información, adecuación de los datos, procesamiento e interpretación de los resultados. En la Figura 4.11 se muestra el diagrama de flujo para poder realizar la adquisición del vídeo y el reconocimiento de patrones.

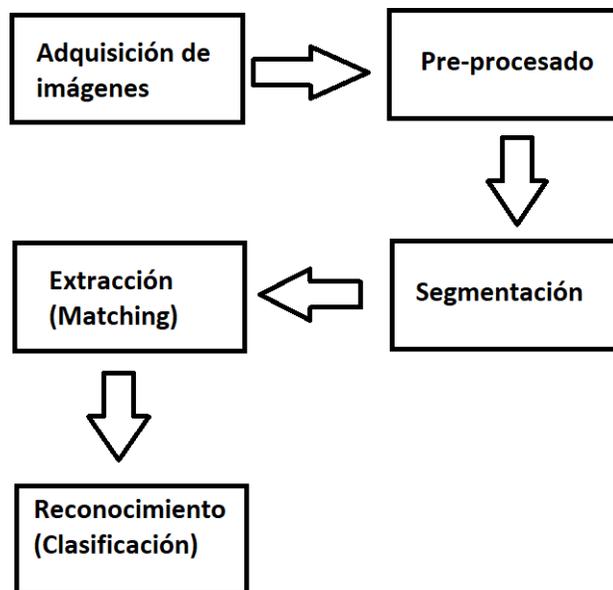


Figura 3.1: Reconocimiento de Patrones

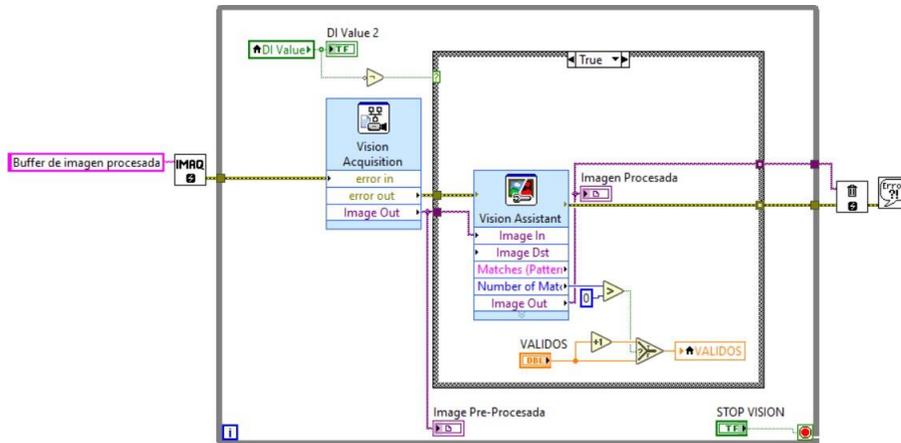


Figura 3.2: Adquisición de la imagen en LabVIEW.

3.1. Diseño del sistema

3.1.1. Adquisición de imágenes

Para adquirir una imagen en LabVIEW, primero es necesario verificar que la cámara posea conexión con el computador. Para ello abrimos la aplicación que viene por defecto en el sistema operativo de Windows denominado cámara.

Una vez que se haya verificado la conexión entre la PC y la cámara, podemos realizar la adquisición de la imagen desde LabVIEW. El primer intento se realizó basándose en el VI "Vision Acquisition" como se observa en la Figura 4.12. Su funcionamiento es el correcto, pero se observó que aporta con gran cantidad de carga al procesador ocasionando que la velocidad de repuesta del sistema de visión sea muy lenta. Para solucionar este inconveniente, la adquisición de imágenes se realizó como indica la Figura 4.13. En este punto ya se logró adquirir una imagen de la cámara USB y visualizarla en LabVIEW. El siguiente paso es verificar si la imagen adquirida es similar a la imagen patrón. Para realizar esta acción utilizamos el VI "Vision Assistant".

Para el procesamiento de la imagen partimos de la imagen adquirida, esta es una imagen a color y como consecuencia ocupa mayor espacio en disco y su procesamiento demandaría mayor uso de recursos computacionales. Es por ello que el primer paso es transformar la imagen a color a una imagen a

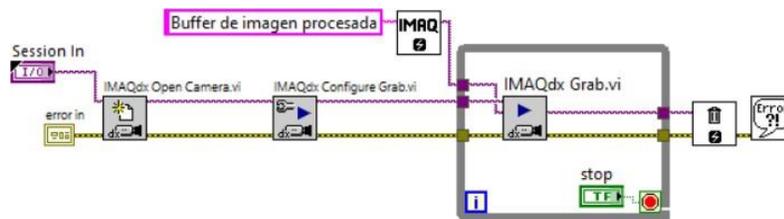


Figura 3.3: Adquisición de la imagen en LabVIEW mejorada.

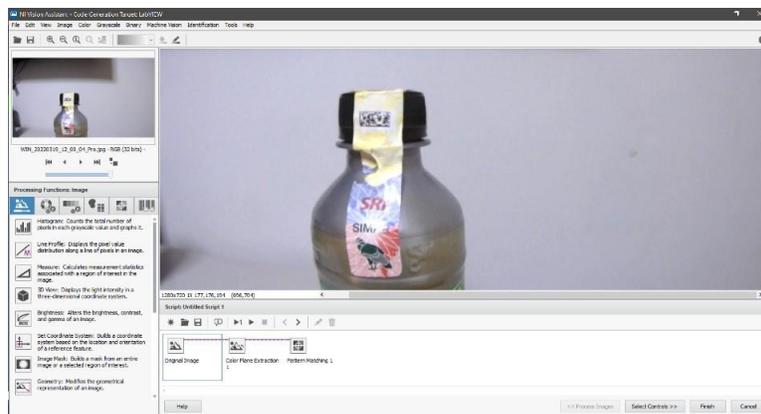


Figura 3.4: Procesamiento de imágenes.

escala de grises. En la Figura 4.15 observamos el proceso de transformación a escala de grises.

Como último paso en el procesamiento de la imagen es encontrar la similitud entre la imagen en análisis y la imagen patrón. Para esto existe una función dentro del VI de "VisionAssistant" conocida como "PatternMatching". Como se analizó en secciones anteriores se hace uso de la correlación cruzada normalizada para medir o cuantificar la similitud existente entre dos imágenes haciendo una búsqueda de una imagen patrón en los píxeles que forman la imagen en análisis. Como primer paso de este proceso debemos crear la imagen patrón, una vez dentro de la función "PatternMatching" aparecerá una ventana denominada "PatternMatchingSetup".

Aquí seleccionamos mediante un clic la opción "New Template", se abrirá

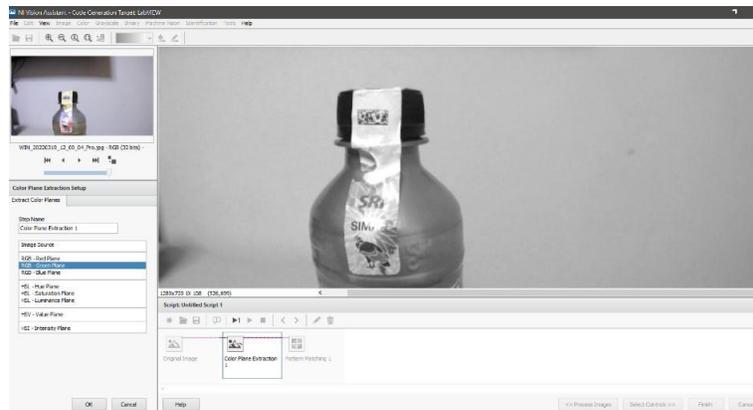


Figura 3.5: Transformación a escala de grises de una imagen.

una nueva ventana "NI Vision Template Edition", aquí seleccionaremos la región de interés y el objeto dentro de la imagen que deseamos que nos sirva como imagen patrón. Esta acción la podemos verificar en la Figura 4.17. Dando clic en Next aparecerá una nueva ventana que contiene la imagen patrón, en esta nueva ventana debemos seleccionar aquellas regiones que no son de nuestro interés, ver Figura 4.18.

En la siguiente ventana realizamos el proceso contrario, seleccionamos el área de interés conocida como ROI por sus siglas en inglés Region Of Interest.

Por último damos clic en finalizar, esta acción nos llevará a la primera ventana donde podremos visualizar un resumen de las características del patrón generado y el resultado del primer análisis, es decir si se encuentra o no el patrón generado dentro de la imagen en análisis. Este resultado se verá reflejado en el apartado "Matches found", este valor nos indicará cuantos objetos-patrón se descubrieron e incluso se puede visualizar la ubicación de cada uno.

Esta ventana es de gran importancia, ya que se puede indicar a LabVIEW que la imagen patrón puede estar presente de forma escalada, es decir aumentar o disminuir su tamaño o puede estar rotada. En ambas situaciones se debe especificar un rango de tolerancia. En este punto nuestro VI de "VisionAsistand" ya se encuentra entrenado y listo para analizar las imágenes que se envíen desde la cámara USB. LabVIEW leerá la imagen desde la cámara, analizará dicha imagen e intentará buscar la imagen patrón dentro de la imagen adquirida. En caso de hallar similitudes enviará a la siguiente etapa cuantos objetos-patrón encontró.

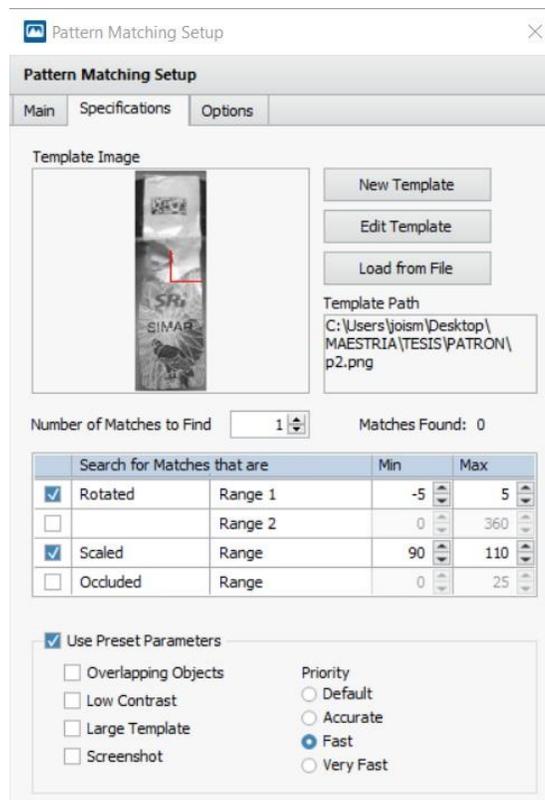


Figura 3.6: Creación de la imagen Patrón.

3.2. Detección de presencia de botella

El sistema de inspección de botella debe funcionar cuando se detecte la presencia de una botella nueva. Para brindar al sistema esta característica de detección se utilizó una tarjeta de adquisición, específicamente la tarjeta Arduino.

En esta sección se presenta la comunicación entre las plataformas Arduino y LabVIEW a través del uso de la herramienta LINX.

Linx está diseñado para ser una capa de abstracción de hardware más genérica para dispositivos embebidos como Arduino, myRIO, etc, en lugar de estar diseñados para una plataforma de microcontrolador específica. Esto significa que LINX proporciona la infraestructura para agregar soporte para prácticamente cualquier dispositivo.



Figura 3.7: Selección del área de la imagen patrón.



Figura 3.8: Regiones que no son de interés en la imagen patrón.

Para instalar los drivers que permiten la comunicación entre Arduino y LabVIEW, deben ser descargados por medio de la herramienta “VI Package Manager” ofrecida por National Instruments y de descarga gratuita en su página oficial:<http://www.ni.com/tutorial/12397/en/>. Una vez instalado VI Package Manager ejecutamos el programa y en el buscador escribimos LINX y lo descargamos, después buscamos NI-Visa y procedemos con la descarga. Una vez instalado el software requerido procedemos con la programación en LabVIEW para establecer una comunicación entre LabVIEW y Arduino. En



Figura 3.9: Selección del ROI imagen patrón.

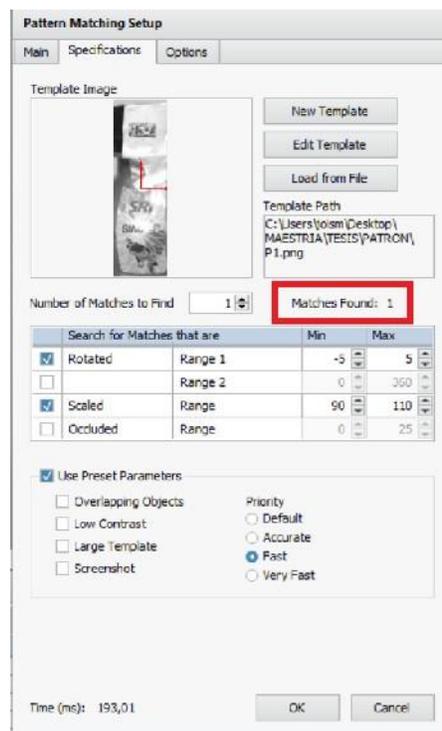


Figura 3.10: Búsqueda de la imagen patrón .

la Figura 3.11, se presenta el algoritmo utilizado para leer el estado del pin 2 de la tarjeta Arduino, Este estado se lee desde LabVIEW para después realizar una determinada acción.

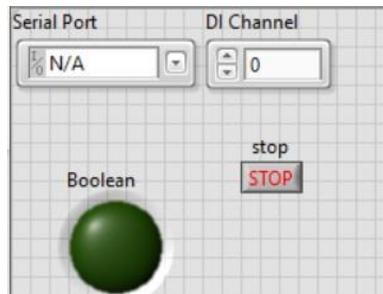


Figura 3.11: Panel frontal - Comunicación LabVIEW y Arduino .

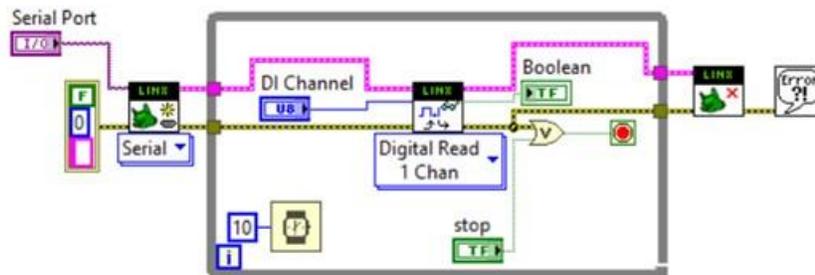


Figura 3.12: Diagrama de bloques - Comunicación LabVIEW y Arduino .

3.3. Selección de SKU y LOTE

3.3.1. SKU

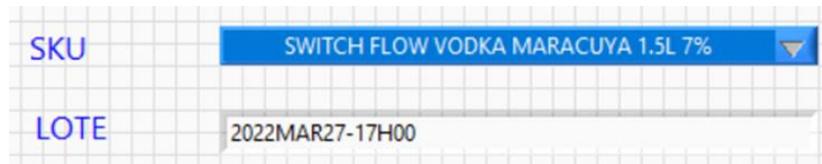
El SKU es un código único que sirve para identificar el producto de otros con el objetivo de facilitar el control de inventarios dentro de la empresa.

Ejemplos:

- Aguardiente de caña rectificado 40 % 750CC.
- Otras bebidas alcohólicas coctel sabor a maracuyá 1.5L 8 %.

3.3.2. LOTE

Para que un producto se pueda comercializar, el gobierno exige que todo producto para consumo humano debe estar marcado con el lote de venta. El



The image shows a screenshot of a web form with a light gray grid background. On the left side, there are two labels: 'SKU' and 'LOTE', both in blue text. To the right of 'SKU' is a blue dropdown menu with a white downward-pointing arrow on its right side. The text inside the dropdown menu is 'SWITCH FLOW VODKA MARACUYA 1.5L 7%'. To the right of 'LOTE' is a text input field with a light gray border and a white background. The text inside the input field is '2022MAR27-17H00'.

Figura 3.13: Selección del SKU y LOTE.

lote debe contener información útil para que el consumidor pueda conocer aspectos como la fecha de fabricación, fecha de expiración, fabricante, etc.

En base a lo antes mencionado se decidió incluir EL SKU Y LOTE del producto que se está analizando. Al generar el reporte de producción se podrá visualizar un apartado informativo donde se detalla fecha, hora, sku y lote.

Capítulo 4

Resultados

Para la implementación del sistema de visión artificial, partimos de las necesidades que se deben solventar de acuerdo a las características que presenta la planta. El sistema de inspección fue implementado en la fábrica de licores más grande del Ecuador, la Corporación Azende. Corporación Azende es una empresa ecuatoriana dedicada a la elaboración de bebidas como agua, jugos, licores e incluso desinfectantes. Tiene gran presencia en el mercado de licores con productos reconocidos como Zhumir, Switch y en el área de jugos su producto dominante es el refresco Vivant.

La empresa es de gran magnitud y posee diversas líneas de producción. Para implementar este proyecto se seleccionó la línea de licores, en la Figura 3.13 se presenta el ambiente de instalación.

Existe variedad de productos y por ende diversidad de alturas, grosor, material de fabricación, etc. El sistema de visión debe poseer la posibilidad de adaptarse a todos los formatos que envasa la fábrica. Para brindar al sistema dicha característica se optó en que el soporte principal del sistema sea un trípode. Este mecanismo permitirá variar la altura de la cámara para que esta se acople a diferentes tamaños de botella. El trípode también permitirá acercar o alejar la cámara a la línea de producción, en consecuencia el sistema tendrá la posibilidad de acercarse o alejarse al producto. El trípode seleccionado se muestra en la imagen ??.

Para el diseño, elaboración e instalación de la cámara y el sensor de obstáculos se optó por una caja impermeable de plástico ABS. Su principal ventaja es la capacidad de funcionar como aislante, es decir no permite la conducción de corriente eléctrica debido a que está fabricada en plástico ABS. La Figura ?? presenta la caja utilizada y sus dimensiones.



Figura 4.1: Lugar donde se implementó el sistema de visión.



Figura 4.2: Soporte del sistema de visión [Bib, 2022b]

Se instaló la cámara y el sensor en la caja de plástico ABS. El resultado de esta implementación se visualiza en la Figura ??

El resultado final del sistema de visión compuesto por el trípode, la cámara y el sensor se puede observar en la Figura ??



Figura 4.3: Soporte de cámara y sensor.



Figura 4.4: Soporte de cámara y sensor instalado.



Figura 4.5: Sistema de visión artificial.

Tabla 4.1: Características - Caja PVC.

Característica técnica	Descripción
Garantía	1 año
Altura	150 mm
Ancho	150 mm
Profundidad	70mm
Modelo	PVC 150x150x70 PVC C/cono
Material	PVC011
Observaciones	Protección IP65 y UV

Para el funcionamiento del sistema se debe conectar la cámara USB a la PC y el sensor de obstáculos debe conectarse a la tarjeta de adquisición, para que esta envíe los datos a LabVIEW mediante el puerto serial. Estas conexiones se detallan en la Figura ???. Para instalar la tarjeta de adquisición se utilizó una caja PVC de grado industrial, este material es muy utilizado en proyectos de automatización tanto en interiores como exteriores por su robustez. Las características de esta caja se detallan en la tabla 4.1.

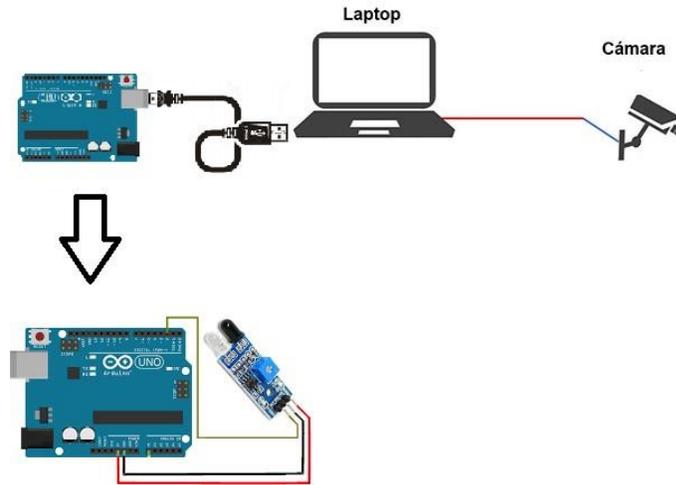


Figura 4.6: Conexión Cámara-PC y Arduino-PC.

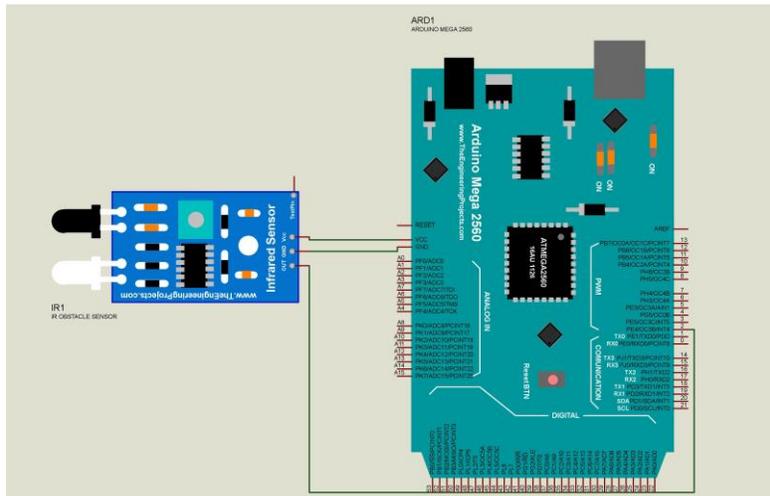


Figura 4.7: Conexión Arduino - Sensor.

Ya que el sistema de visión este conectado al PC, se procede a abrir LabVIEW junto con el programa desarrollado para la inspección de etiquetas. En el panel frontal iniciamos el programa dando clic en RUN. ver



Figura 4.8: Tarjeta de Adquisición ensamblada.

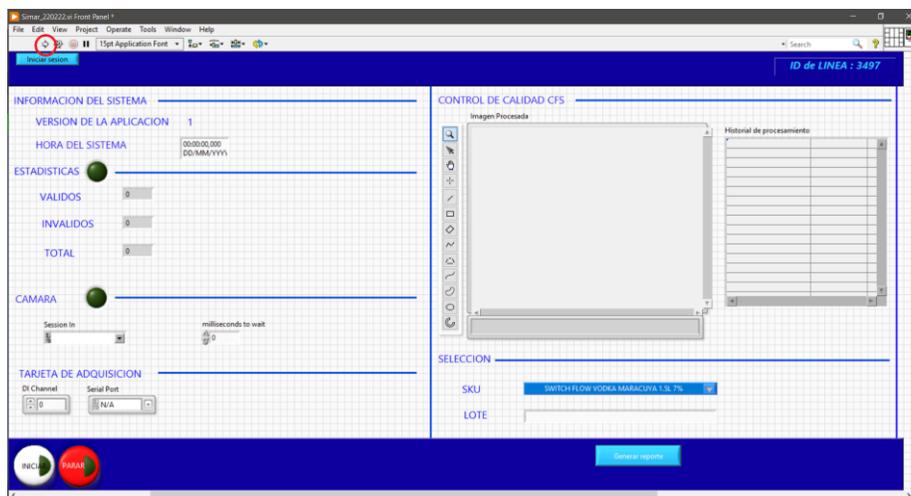


Figura 4.9: Inicio de programa en LabVIEW.

Figura ??



Figura 4.10: Inicio de sesión.

Una vez que el programa ya está ejecutándose, seleccionamos la cámara que se va a utilizar y el puerto que se utilizará para la comunicación con Arduino. Damos clic en el botón INICIAR ubicado en la esquina inferior izquierda. Después presionamos el botón "Iniciarsesin" ubicado en la esquina superior izquierda. Se abrirá una nueva ventana donde tendremos que ingresar usuario y contraseña.

Después de iniciar sesión el programa comenzará a ejecutarse, esto lo podemos verificar ya que el tiempo en el apartado HORA comenzará a variar. En este punto es necesario Seleccionar el SKU del producto e ingresar el LOTE.

Para la inspección de etiquetas primero se debe crear una imagen patrón como se indicó en el capítulo 3. El sistema medirá la similitud entre la imagen adquirida y la imagen patrón. Así determinará si el CFS está ubicado correctamente. El resultado del análisis se verá reflejado en la variable válidos o inválidos, adicionalmente se crea una tabla donde podemos observar un historial de todos los eventos y análisis realizados.

Por último, procedemos a generar un reporte de producción, donde se evidencia todos los análisis realizados y que resultado se obtuvo.

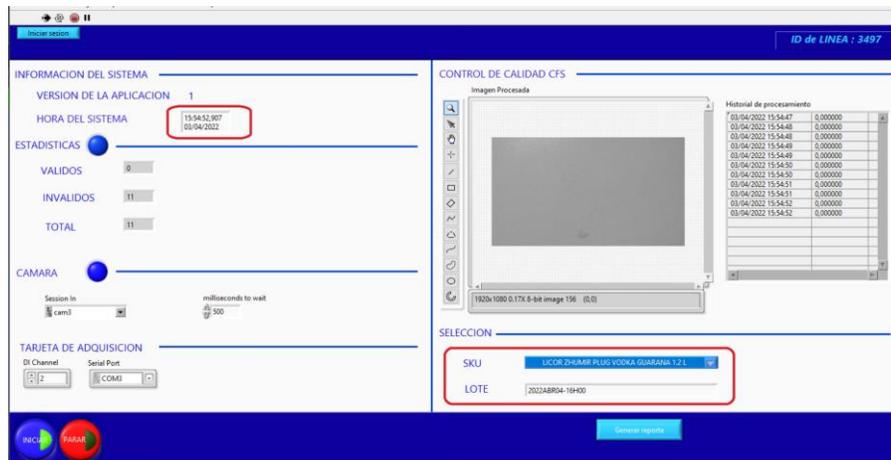


Figura 4.11: Funcionamiento del sistema de visión.

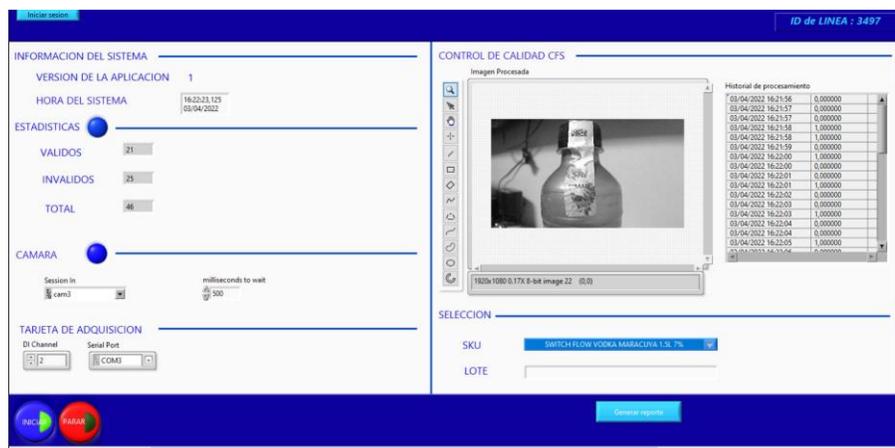


Figura 4.12: Funcionamiento del sistema de visión.

4.1. Experimentación y Resultados

Se analizó el desempeño del sistema de visión artificial antes de ser implementado en planta, para la primera evaluación se eligió un ambiente estático, es decir se verificó el funcionamiento con una botella sin movimiento. Se realizaron 100 inspecciones con el mismo envase, pero variando ligeramente la iluminación del ambiente en general, el CFS estaba

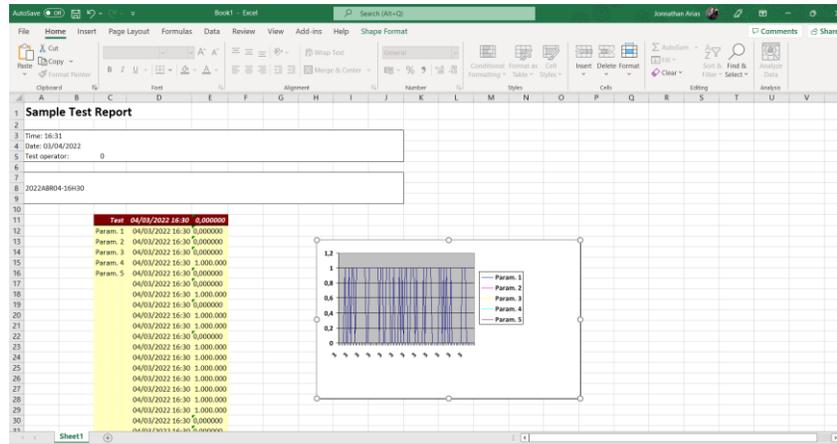


Figura 4.13: Generación de reporte en Excel.

ubicado correctamente. El resultado se expresa en la figura ??.

Para la prueba 2 se analizó dos envases, el primero contiene un CFS colocado correctamente y el segundo envase contiene un CFS ubicado de forma incorrecta. La prueba consistió en intercalar los dos envases durante 50 iteraciones para analizar el desempeño del sistema. La figura ?? expresa los resultados obtenidos en esta prueba. Entiéndase como falso negativo al envase que contiene un CFS mal ubicado y que el sistema lo detectó como bueno. Falso positivo corresponde a un envase que contiene un CFS correctamente ubicado, pero el sistema lo detectó como bueno.

La prueba 3 consiste en analizar la respuesta del sistema cuando el envase está en movimiento, para esta prueba y como se mencionó anteriormente, las pruebas y la implementación del sistema se realizó en la fábrica de licores y bebidas Corporación Azende. Para documentar esta prueba y poder analizar resultados se desarrolló un vídeo y se publicó en YouTube, el vínculo del vídeo es: <https://www.youtube.com/watch?v=caAGRTAPkgA>, y los resultados obtenidos se expresan en la figura ??

4.2. Conclusiones

El sistema de inspección de etiquetas funcionó acorde a los objetivos planteados al inicio del proyecto. Evidenciando que el sistema fue capaz de realizar el análisis del etiquetado. El resultado de los análisis se presentó en el HMI diseñado en LabVIEW, permitiendo visualizar el último análisis

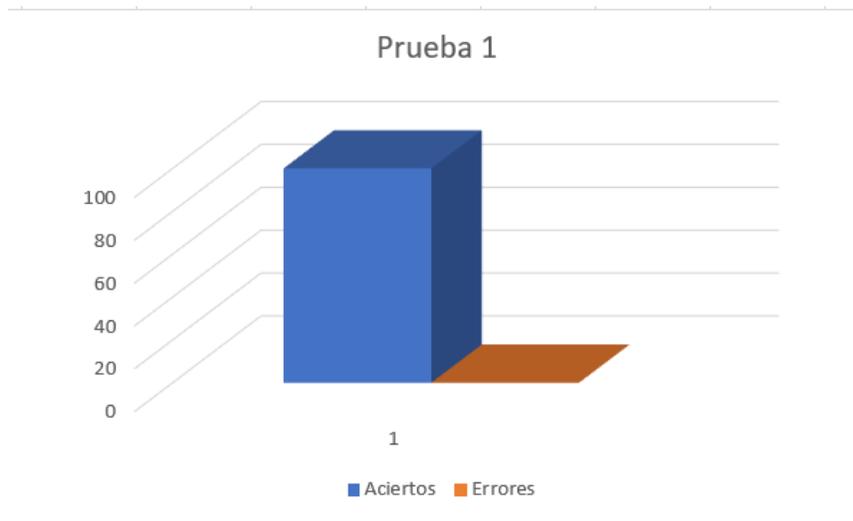


Figura 4.14: Aciertos y errores de la prueba 1.

y un registro de todos los análisis realizados.

Se eligió LabVIEW como herramienta de programación, siendo esta una elección acertada ya que posee gran número de librerías, VIs y herramientas que permiten realizar el procesamiento de imágenes, brindando facilidades al programador para implementar soluciones de manera fácil y ágil; esto permitió desarrollar totalmente la aplicación sin la necesidad de utilizar un software adicional.

Se consiguió integrar el sistema a la banda transportadora, permitiendo trabajar a diferentes velocidades (8 y 20 m/min) y con diferentes formatos de envases, se trabajó con dos envases de vidrio y un envase de plástico. El sistema permitió ajustar la altura de la cámara y la distancia entre la cámara y el envase, esto garantiza que el sistema puede ser implementado para diferentes tipos de envases. Se analizaron dos tamaños de botellas, una pequeña(350 CC) y una grande(750CC). El sistema fue diseñado para ser flexible, si se realiza un cambio fijo en iluminación o material solo se debe generar una nueva imagen patrón y el sistema funcionará correctamente. La cámara USB tuvo un excelente desempeño para capturar las imágenes a analizar sobre todo cuando se trabajó con la resolución más baja, ya que la velocidad de obturación es máxima llegando a superar los 120 FPS. Es importante configurar la cámara antes de ser utilizada en el sistema de visión, deshabilitar funciones automáticas como el autoenfoco, autocontraste, etc.

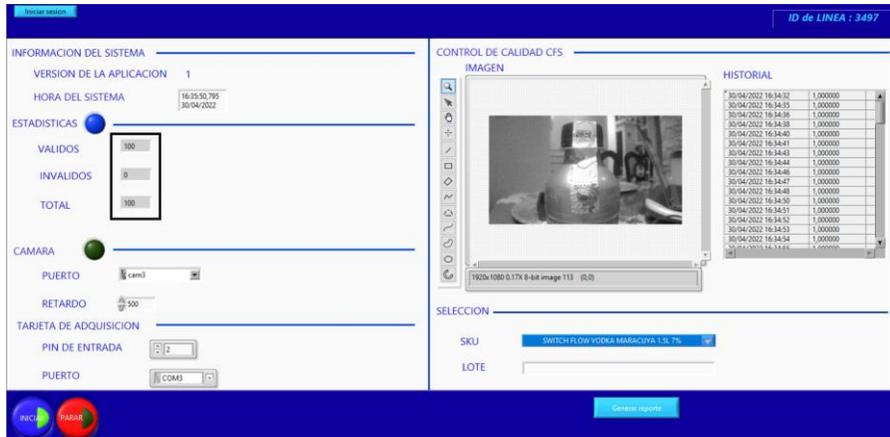


Figura 4.15: Aciertos y errores de la prueba 1.

El objetivo de esto es disminuir al máximo el tiempo de procesamiento de la imagen.

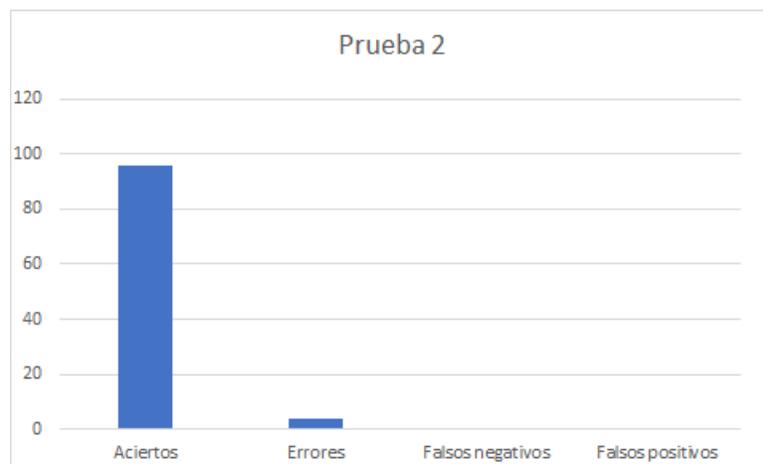


Figura 4.16: Aciertos y errores de la prueba 2.



Figura 4.17: Botellas - prueba 2.

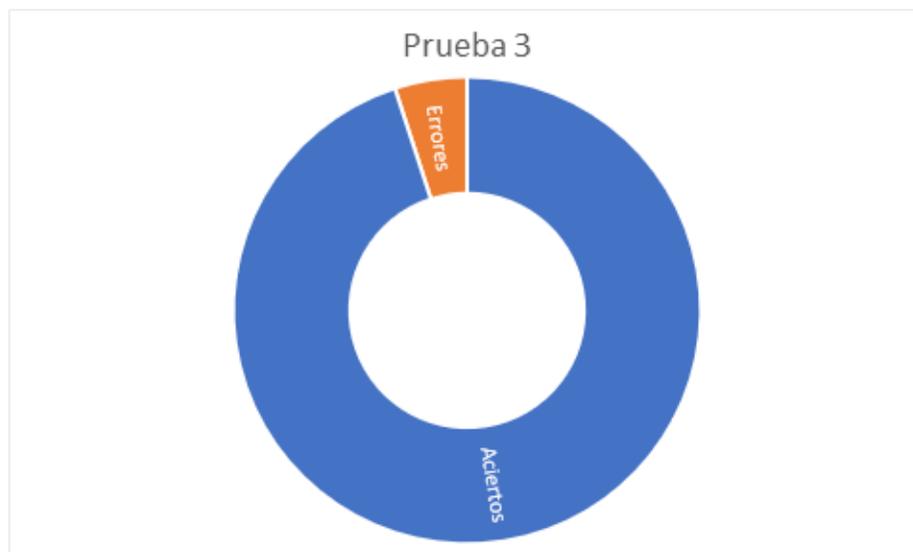


Figura 4.18: Aciertos y Errores Prueba 3.

Bibliografía

- ¿Sabes cuántos píxeles de resolución tiene el ojo humano? - Zamarripa Ópticos, Mar. 2015. URL <https://www.zamarripa.es/blog/sabes-cuantos-pixeles-de-resolucion-tiene-el-ojo-humano>. [Online; accessed 22. Apr. 2022].
- El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador, 08 2020. URL <https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/>.
- 2 Megapixel cmos camera module USB ELP-USBFHD08S-L29., Apr. 2022a. URL <http://www.elpcctv.com/2-megapixel-ov4689-sensor-free-driver-hd-1080p-60fps-cmos-camera-module-usb-elpushbfhd08sl29-p-127.html>. [Online; accessed 22. Apr. 2022].
- Aro de luz LED 10"para selfies / streaming / trípode / soporte par..., Apr. 2022b. URL <https://www.sukasa.com/accesorios-para-celulares-y-tablets/72477-aro-de-luz-led-10-para-selfeaming-tripode-soporte-para-celular-0104533892016.html>. [Online; accessed 23. Apr. 2022].
- CÓmo ayuda una red neural a inspeccionar la fabricaciÓN, May 2022c. URL <https://www.cognex.com/es-mx/blogs/deep-learning/what-is-a-neural-network>. [Online; accessed 6. May 2022].
- E. Alegre, M. Pajares, and A. de la Escalera Hueso. *Conceptos y métodos en visión por computador*. 2016. ISBN 9788460889335. URL <https://books.google.com.co/books?id=9g9UAQAACAAJ>.
- V. R. B, J. Santiago, and S. Reinoso. IdentificaciÓN de objetos en tiempo real utilizando tÉcnicas y clasificadores de visiÓN artificial para el reconocimiento de patrones ., 2011.

- P. Q. Gloria Ordoñez. Diseño e implementación de un sistema de clasificación de rosas aplicando visión artificial con labview, 2012.
- L. Gordillo. Aplicación de visión con labview para la detección de frascos con turbiedades, 2009.
- L. E. Gordillo, J. Luis, and Y. Roca. Aplicación de visión con labview para la detección de frascos con turbiedades, 2019.
- A. E. Hammoumi, S. Motahhir, A. Chalh, A. E. Ghzizal, and A. Derouich. Real-time virtual instrumentation of arduino and labview based pv panel characteristics. volume 161. Institute of Physics Publishing, 6 2018. doi: 10.1088/1755-1315/161/1/012019.
- J. M. Hernández, E. Inzunza-González, A. Flores-Vergara, E. E. García-Guerrero, O. A. Aguirre-Castro, and O. R. López-Bonilla. Nuevo algoritmo para la contabilización de peces empleando momentos invariantes de hu.
- R. E. Herrador. Guía de usuario de arduino, 2009.
- E. Javier and A. Baroja. Aplicación de vision artificial en labview (deteccion de color, presencia de etiqueta y marca en botellas). page 15, 2016.
- J. P. Lewis. Fast normalized cross-correlation, 1995.
- J. P. Lewis. Fast normalized cross-correlation, 2016.
- R. D. L. O. Pérez and R. N. Vaquero. Análisis de media de diferencia entre imágenes y su posterior implementación usando matlab proyecto final de carrera, 2015.
- D. R and B. V. Image processing techniques for coin classification using labview. *Open Journal of Artificial Intelligence*, 1:13, 2013. doi: 10.12966/ojai.08.03.2013.
- J. Rodrigo, J. Luis, and S. Gómez. Medida de similitud combinada para el registro y fusión de imágenes development of automatic systems for the detection of prohibited objects in x-ray radiographic images of baggage in airports view project glaucoma early diagnosis from retinographs through emerging techniques of deep learning view project, 2014. URL <https://www.researchgate.net/publication/36720978>.
- J. Salazar. Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial, 2019.

- J. E. Salazar Castillo. Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial. Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas , 2019.
- J. Santiago, S. Reinoso, and I. V. Robles. IdentificaciÓn de objetos en tiempo real utilizando tÉcnicas y clasificadores de visiÓn artificial para el reconocimiento de patrones, 2020.
- M. Schwartz and O. Manickum. *Programming Arduino with LabVIEW : build interactive and fun learning projects with Arduino using LabVIEW*, volume 1. 2015. ISBN 9781849698221.
- SRI. Sistema de identificación, marcación, autenticación, rastreo y trazabilidad fiscal de bebidas alcohólicas, cervezas y cigarrillos de producción nacional., 2016. URL <https://www.sri.gob.ec/web/guest/simar>.
- P. M. A. Vitoriano and T. G. Amaral. Improved pattern matching applied to surface mounting devices components localization on automated optical inspection, 2017.