ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

"Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos con turbiedades"

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Lenin Edwin Gordillo Erazo

Jorge Luis Yánez Roca

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2009

AGRADECIMIENTO

A Dios y sus constantes bendiciones.

A nuestras familias por su apoyo y cariño.

A los amigos que colaboraron de varias maneras a la culminación de este proyecto.

A los diferentes profesores que supieron compartir su conocimiento e incentivaron en nosotros la creatividad.

A todos aquellos que creyeron en nosotros.

DEDICATORIA

A Dios por la vida y oportunidad que nos brinda día a día. A mi familia, en especial a mi madre por ser mi soporte. A mis amigos, “La Tribu”, por su amistad desinteresada y ayuda incondicional. Y a todas aquellas personas que colaboraron con el proyecto!!

Jorge Luis

A Dios por la oportunidad de crecer cada día. A mi familia, que me ha apoyado y guiado siempre. Y a todas aquellas personas que supieron estar en el momento adecuado dando palabras de aliento para no decaer en los esfuerzos y brindaron todo su apoyo.

Lenin Gordillo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M.Sc. Jorge Aragundi R.
Presidente del Tribunal

Ing. Carlos Valdivieso A.
Director de Tesis

M.Sc. Efrén Herrera M.
Miembro Principal

Ing. Washington Medina M.
Miembro Principal

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Lenin Edwin Gordillo Erazo

Jorge Luis Yánez Roca

RESUMEN

El presente trabajo "Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos con turbiedades" forma parte del Tópico de Graduación "Plataforma para el desarrollo de proyectos con dsPICs y visión robótica con LabVIEW".

En el capítulo 1 se describen las ventajas y desventajas de los sistemas de visión artificial frente al sistema humano de visión, se menciona las potenciales áreas industriales para su aplicación, se plantean los objetivos del proyecto, alcances y especificaciones de la solución propuesta.

En el capítulo 2 se presentan aspectos importantes vinculados a la iluminación, tipo de cámaras y algoritmos matemáticos usados en el procesamiento digital de las imágenes.

En el capítulo 3 se hace una descripción de los instrumentos virtuales que LabVIEW presenta en su paquete NI Vision, aquí se podrá encontrar una guía con ejemplos claros del uso de los instrumentos virtuales. También

se describen las principales características y ventajas de trabajar con dsPics.

En el capítulo 4 se describen las características de los dispositivos con los cuales el sistema de detección de turbiedades deberá interactuar (sistema de bandas y brazo empuja frasco). Se muestra la implementación del sistema de detección de turbiedades en lenguaje gráfico y especificaciones de funcionamiento (como el tamaño del frasco). Se integra la solución planteada al sistema de bandas y brazo empuja frasco; y se analiza los costos de la solución.

En el capítulo 5 se exponen las pruebas realizadas, se analizan los resultados obtenidos, eficiencia de los algoritmos y tendencias estadísticas.

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS

AC	Corriente alterna
bit	Dígito binario
BMP	Mapa de bits
bps	Bits por segundo
byte	Conjunto de ocho bits
CAN	Control de redes de área
CCD	Dispositivos de carga acoplada
CCD	Dispositivos de acoplamiento de carga
cm	Centímetro
CMOS	Semiconductor de óxido metálico complementario
CMY	Cian, magenta y amarillo

DSC	Controlador digital de señales
DSP(s)	Procesador(es) digital(es) de señales
dsPic(s)	Microcontrolador(es) de Microchip con soporte para procesamiento digital de señales
EEPROM	Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente
FFT	Transformada rápida de Fourier
HSI	Tonalidad, saturación e intensidad
HSL	Tonalidad, saturación y luminancia
HSV	Tonalidad, saturación y valor
Hz	Hertz
I2C	Circuito inter integrado
ICSP	Interfaz de programación serial en circuito
IMAQ	Adquisición de Imágenes, paquete de instrumentos virtuales de National Instruments
ki	Constante de integración
kp	Constante de proporcionalidad

LED(s)	Diodo(s) emisor(es) de luz
LUT	Tabla de consulta
Mbps	Mega bits por segundo
MCPWM	Módulo de control de modulación de ancho de pulso
MCU	Unidad micro controladora
MHZ	Megahertz
MOS	Semiconductor de óxido metálico
MSPS	Millones de muestras por segundo
NI	National Instruments
OCR	Reconocimiento óptico de caracteres
PDI	Procesamiento Digital de Imágenes
PIC(s)	Microcontrlador(es) de Microchip
PTMR	Registro de tiempo para pulso programable
PWM	Modulación por ancho de pulso
RAM	Memoria de acceso aleatorio
RGB	Rojo, verde y azul

INDICE DE IMÁGENES

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

La optimización de procesos y maximización de recursos es un objetivo que se plantean las industrias a nivel mundial. El poder contribuir a este objetivo fue uno de los principales motivos para el planteamiento y desarrollo de este trabajo de investigación: “Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos con turbiedades”. Poder coadyuvar a la automatización de los sistemas de control de calidad a través de un sistema de visión artificial fue nuestra meta.

A pesar de que la solución es un prototipo, se trato de emular un ambiente industrial a través del uso de bandas transportadoras y un brazo robótico. Sin embargo el trabajo desarrollado no deja de ser un referente que debe ser tomado en cuenta como base para futuros proyectos.

Invitamos a Usted, estimado lector, a explorar, experimentar y desarrollar soluciones en base a sistemas de visión artificial; campo complejo pero interesante y desafiante.

CAPITULO 1

1. ANÁLISIS PRELIMINAR Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Sistemas de Visión

El desarrollo del comercio y la globalización han ocasionado que las industrias sean cada vez más competitivas. Cada empresa se esfuerza con la finalidad de obtener un producto final de alta calidad. Esto hace que la etapa de control de calidad sea una fase crucial del proceso industrial de cualquier empresa.

Existen diferentes mecanismos para establecer la calidad de un producto, decidir qué mecanismo se va a aplicar depende del parámetro que se considere tenga más relevancia. Si la geometría o la forma del objeto son de gran importancia en el producto, se suele dejar a la vista humana el trabajo de inspección y verificación del control de calidad; sin embargo pueden existir errores en la geometría de un objeto que escapen de la vista del operario y que luego impidan el buen funcionamiento del producto.

Como una alternativa surgen los sistemas de visión artificial, capaces de detectar aquellos errores que un operario pudiese pasar por alto. Una desventaja del sistema de visión artificial es la respuesta a situaciones imprevistas, a las que un operario puede ser capaz de resolver.

Para comprender de mejor manera las ventajas y desventajas de cada uno de estos dos sistemas, es primordial primero tener una idea de su funcionamiento.

Sistema humano de visión

La vista es uno de los sentidos más complejos y especializados del cuerpo humano, por medio de la visión, el ser humano es capaz de captar la forma, el volumen, los colores, la luminosidad, el tamaño y demás cualidades de los objetos que lo rodean, lo cual corresponde a tres cuartas partes del total de las percepciones de la persona.

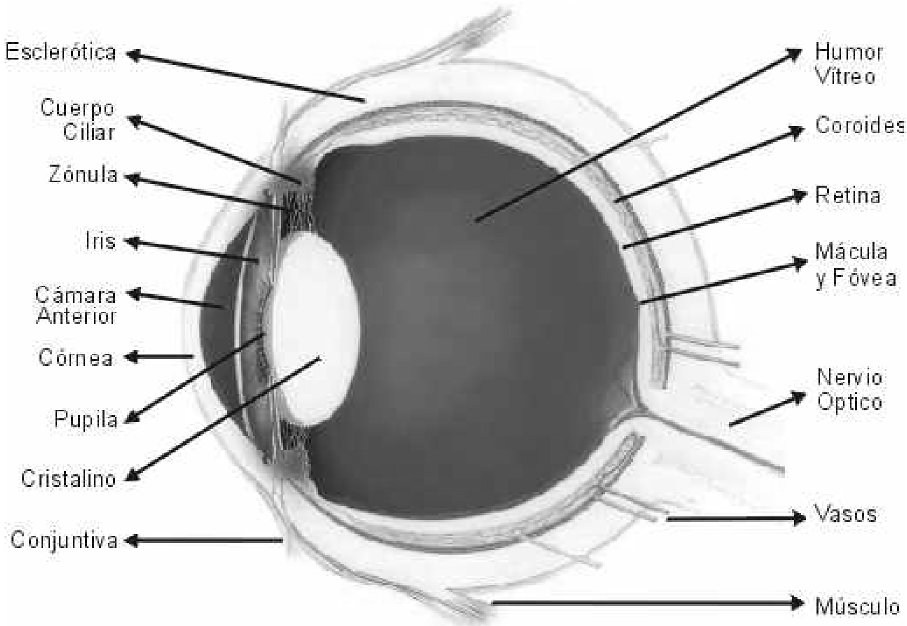


Imagen 1-1 Partes del Sistema Ocular (1)

La versatilidad de la visión humana se debe a la interacción de diferentes componentes, de los cuales cabe resaltar los siguientes:

Córnea.- Es la membrana dura y transparente, se encuentra situada en la cobertura externa del globo ocular.

Coroides.- Es la membrana intermedia pigmentada, oscurece el ojo para que se destaque la imagen.

Cristalino.- Es el lente del ojo, disco biconvexo transparente que está sujeto por el ligamento suspensorio del cristalino. Esta lente tiene la particularidad de que puede modificar su curvatura para que el enfoque sea exactamente sobre la retina.

Esclerótica.- Es la membrana opaca y blanca que ayuda a mantener la forma del ojo.

Iris.- Es la parte de forma circular localizada entre la córnea y el cristalino, separa las cámaras anterior y posterior del ojo. La contracción del iris altera el tamaño de la pupila. Su cantidad de pigmento determina el color del ojo.

Pupila.- Es la abertura circular en el centro del iris, a través de la cual penetra la luz en el ojo.

Retina.- Es la membrana donde converge la luz y se forman las imágenes.

Fotorreceptor.- Es toda célula o mecanismo con la capacidad de captar la luz. En el ojo humano los fotorreceptores son los conos y los bastones.

Conos.- Son las células fotosensoras responsables de la visión en condiciones de alta luminosidad. Estos codifican el color visualizado, es decir, cada uno de ellos presenta una respuesta dependiendo de la longitud de onda incidente. La sensación de color se produce combinando los tres tipos de conos (rojo, verde y azul).

Bastones.- Son células fotosensoras responsables de la visión en condiciones de baja luminosidad. Estos presentan una elevada sensibilidad a la luz; aunque se saturan en condiciones de mucha luz y no detectan los colores.

El funcionamiento del sentido de la vista es similar al de una cámara fotográfica, en donde se debe enfocar una imagen visual sobre la retina.

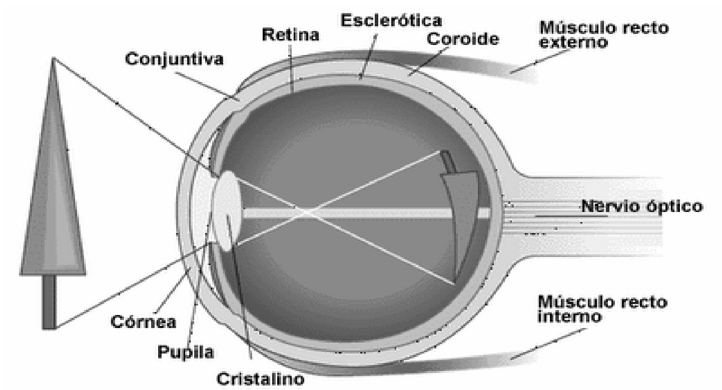


Imagen 1-2 Formación de las imágenes (1)

El proceso de captación de las imágenes se puede resumir de la siguiente manera:

Los rayos de luz entran a través de las pupilas y son registrados en las retinas, en donde se forman las imágenes invertidas, que luego se convertirán en impulsos eléctricos que viajaran al cerebro (al lóbulo occipital) a través de los nervios ópticos.

Los campos visuales son superpuestos parcialmente, debido a que las imágenes captadas por cada ojo difieren ligeramente. La percepción en profundidad es permitida gracias a la zona de visión binocular, lo cual brinda la información necesaria para discernir la distancia del objeto con respecto al ojo.

Basándose en la proximidad o distancia de un objeto, los músculos del ojo emiten una respuesta automática que modifica la forma del cristalino, que a su vez altera el ángulo de los rayos de luz incidentes; permitiendo un enfoque más agudo del objeto sobre la retina.

Sistema de visión artificial

El sistema de visión artificial (SVA) surgió a partir del desarrollo de la inteligencia artificial, con el propósito de programar un computador para que sea capaz de “entender” una escena o las características de una imagen. Por lo que se puede definir a la visión artificial como el “proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes utilizando para ello un computador”(2). Otra definición bastante aceptada es “ciencia que estudia la interpretación de imágenes mediante computadores digitales" (2).

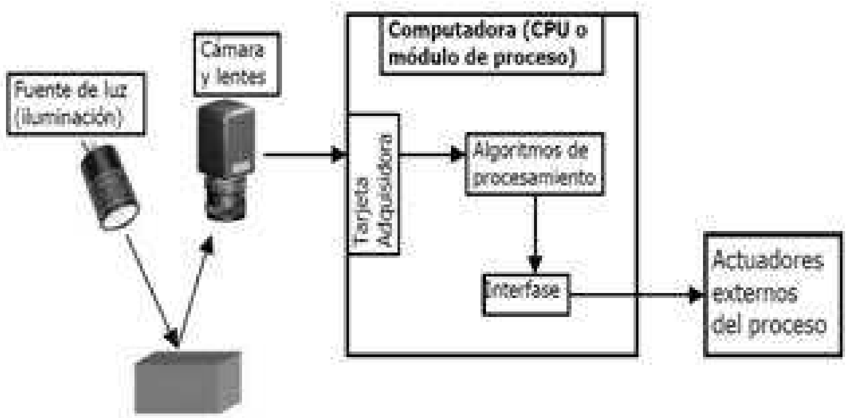


Imagen 1-3 Elementos de un sistema de visión artificial (2)

Un sistema de visión artificial se compone básicamente de los siguientes elementos:

Fuente de Luz: conseguir una correcta iluminación es de vital importancia para la implementación de cualquier sistema de control de calidad basado en un sistema de visión artificial, ya que debe proporcionar unas condiciones de iluminación uniforme e independiente del entorno, con la finalidad de extraer los rasgos de interés. Existen diferentes tipos de iluminación: direccional, difusa, contraluz, estructurada, estroboscópica (3).

Sensores de Imagen: es el encargado de tomar las características del objeto bajo estudio, son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben. El ejemplo más común de un sensor de imagen es una cámara, existen diferentes tipos de cámaras entre los cuales las más comunes son las basadas en dispositivos de acoplamiento de carga (CCD por su nombre en inglés) que se caracterizan por su bajo coste, bajo consumo de energía, buena resolución, durabilidad y facilidad de manejo.

Aunque existen otros tipos de cámaras que dependen del tipo de aplicación, por ejemplo: las progresivas son excelentes para trabajar con imágenes de movimientos rápidos, las lineales se usan en inspección de piezas de gran tamaño y las infrarrojas cuando se desea medir rasgos sensibles a este tipo de radiación.

Imagen 1-4 Cámara como sensor de imagen (2)

Sistemas de Adquisición: El sistema de adquisición de imagen es el encargado de tomar la información proveniente desde la cámara y convertirla en una señal digital que pueda ser procesada por el computador.

Los características más importantes a ser tomadas en cuenta al momento de seleccionar la tarjeta del sistema de adquisición son los siguientes: la velocidad de transmisión, el formato de los datos, la profundidad del píxel, la capacidad de captura por disparo, la velocidad de transferencia de la imagen desde la memoria de la tarjeta a la memoria del computador, la cantidad de cámaras que puede manejar.

Imagen 1-5 Tarjeta de Sistema de Adquisición (3)

Aplicación de Procesado: Una vez adquirida la imagen, las aplicaciones de procesado operan sobre la señal y extraen la información útil de la misma. El tratamiento que se aplicará a la imagen va a depender del tipo de análisis a realizar.

En un principio existió la tendencia a desarrollar tarjetas procesadoras digitales de señales (DSP por su nombre en inglés) que tuvieran implementados los algoritmos para procesar la información; sin embargo el gran desarrollo de los procesadores convencionales ha provocado que el desarrollo de tarjetas especializadas no sea rentable.

El proceso de adquisición de las imágenes es similar al sistema humano de visión:

- La imagen es adquirida por la cámara, a través de un sistema de sensores basados en dispositivos de acoplamiento de carga (CCD).

- El sistema de adquisición que se encarga de la conversión analógica a digital de la señal, para que ésta pueda ser procesada.

- La información digital es utilizada como dato de entrada para un computador que, dependiendo del programa de aplicación que se haya diseñado se encargará de realizar los cálculos correspondientes.

Como se puede observar, para el diseño del sistema de visión artificial se ha tomado como modelo al sistema humano, creando componentes y dispositivos que se fusionen de manera análoga y que traten de cumplir las mismas funciones.

Comparación entre los sistemas Artificiales y Humanos de Visión

Todos los componentes del sistema de visión artificial trabajan de manera análoga al sistema humano:

- Fuente de luz: los seres humanos, al igual que algunos sistemas de visión artificial, necesitan de condiciones mínimas de luz y claridad para poder distinguir los objetos que vemos; de otra manera la información que obtenemos es errónea o ambigua.
- Sensores de imagen: el trabajo que realizan el iris, el cristalino, la pupila, la retina, los conos, los bastones y demás componentes del globo ocular son emulados por una cámara que también posee una lente, sensores fotoeléctricos en un arreglo de CCD , un objetivo, un diafragma y demás componentes de la cámara.
- Sistema de Adquisición: mientras que el ser humano posee el nervio óptico, que se encarga de llevar la información brindada por los conos y los bastones hacia

el cerebro en forma de pulsos eléctricos; el SVA posee el sistema de adquisición, que se encarga de transformar la información eléctrica de naturaleza analógica en una señal digital.

- Aplicación de Procesado: a diferencia del cerebro humano, en el SVA la aplicación de procesado depende del programa de aplicación que se encuentre instalado. El cerebro humano puede sacar toda la información pertinente del objeto y realizar un trabajo de acuerdo a sus necesidades.

Como se ha explicado ambos sistemas tienen un solo objetivo: obtener información a través de las imágenes y tomar decisiones. Pero existen ventajas y desventajas entre el un sistema y el otro. A continuación resaltamos las principales:

- El SVA es mucho mejor al momento de realizar evaluaciones en magnitudes físicas, ya que el sistema no cae en problemas de ilusiones ópticas o en la influencia del entorno al momento de realizar la verificación visual.

- El SVA no necesita de un contacto físico con el producto para efectuar mediciones, lo cual es de vital importancia en productos que son muy delicados o nocivos para la salud de los operarios.

- El SVA, puede realizar actividades de verificación rutinarias a una gran velocidad en procesos muy rápidos para el limitado ojo humano. Esto facilita aumentar la capacidad de producción, al mismo tiempo que permite una drástica disminución de la mano de obra.
- El SVA permite la verificación de lugares inaccesibles a las personas; ya sea porque escapan a la vista del ser humano o por el peligro al que se exponen las personas. Por ejemplo ampliando la respuesta de las cámaras a los espectros ultravioleta e infrarrojo es posible detectar defectos y problemas, que de otra manera pasarían inadvertidos.
- En el sistema humano de visión, las personas son susceptibles a varias enfermedades que afectan al sentido de la vista: astigmatismo, miopía, hipermetropía, etc.
- Un sistema de control de calidad basado en un SVA puede trabajar las veinticuatro horas del día sin

interrupciones; mientras que los operarios son susceptibles al cansancio físico y mental, que afectan el control de la calidad y la velocidad de la producción.

- Una de las desventajas del SVA, es la respuesta del sistema informático a situaciones imprevistas. Dado a que el SVA no posee la capacidad de un operario de tomar decisiones de acuerdo a su experiencia; sin embargo esta situación puede ser prevenida al momento de desarrollar el programa de aplicación de procesado, considerando todas las situaciones posibles.

- El sistema humano de visión puede ser capaz de entender imágenes de información muy compleja o ambigua, y basando en su experiencia (conocimiento previo) es capaz de tomar la mejor decisión.

Un factor que puede ser decisivo para la implementación de un SVA, es el costo económico. Habrán situaciones en las cuales se necesita tener una alta capacidad de producción y los parámetros a ser controlados son variados y complejos; en ese caso la inversión en un sistema de control de calidad basado en un SVA podría ser muy factible, ya que la fuerte inversión inicial se recuperará en poco tiempo debido a una producción a gran escala y de alta calidad.

Sin embargo, podría darse el caso de que la inversión en la implementación sea demasiado fuerte y el parámetro a ser controlado no sea muy complejo. En todo caso la decisión de implementar un SVA o seguir con sistema basado en operarios depende de un buen estudio costo/beneficio (4).

1.2 Aplicaciones de la Visión por Computador

Gracias a que en el mercado podemos encontrar una gran variedad de cámaras tales como las térmicas, infrarrojas, ultravioletas, etc.; las aplicaciones para la visión por computador son tan variadas que se podría afirmar que no existe área industrial en la cual no se pueda aplicar.

Las áreas en las cuales se han obtenido aplicaciones satisfactorias de visión artificial son diversas en la actualidad. Este tipo de visión puede aplicarse en diversos sectores, tales como: semiconductores, automovilístico, biomédico, electrónico, farmacéutico, alimenticio, textil, seguridad, robótica, agricultura, etc. Las tareas que se pueden realizar a través de la visión por computador son tan variadas, que pueden ser desde una simple inspección visual hasta el manejo de brazos robóticos en un sistema de control automatizado.

A continuación se llevará a cabo un breve análisis de las diversas aplicaciones que pueden ser ejecutadas en diferentes áreas:

En lo correspondiente al área del control de calidad, se puede observar que las aplicaciones que se pueden llevar a cabo podrían ser: la inspección de productos, tales como en la industria del papel, aluminio, acero, entre otras; también se puede realizar la inspección de circuitos impresos, sin dejar a un lado la identificación de diferentes piezas, el etiquetado de envases en los cuales se desea controlar características como fechas de caducidad, etc., además tomando muy en cuenta el área de control de calidad de productos alimenticios, tales como: naranjas, manzanas, flores, etc.

En el área biomédica pueden ser elaboradas aplicaciones que permitan: análisis de imágenes de microscopía con la finalidad de detectar virus, células, proteínas, etc., también el análisis de resonancias magnéticas, tomografías e incluso pudiéndose alcanzar aplicaciones que permitan el análisis del genoma humano.

Otra área de producción en la cual se pueden implementar las aplicaciones con visión artificial es la agricultura en la cual se pueden efectuar interpretación de fotografías aéreas y además se puede utilizar para llevar el control de plantaciones de diferentes productos.

En el área del reconocimiento de caracteres o también denominado OCR se puede efectuar escaneo de control de cheques, inspección de textos, además se podría ingresar al área del control del tráfico brindando un apoyo tecnológico de manera que se permita identificar matrículas de coches, e incluso para ayudar al tráfico viario.

En aéreas como la astronomía y la meteorología, se llevan a cabo aplicaciones que permiten el análisis, exploración del espacio exterior, y también se permitiría la predicción de condiciones climáticas.

Finalmente, mencionaremos un área muy importante, vital, tanto para el mejoramiento de la producción industrial como para el desarrollo de nuestra tesis, que corresponde al área de la robótica. En la cual podemos llevar a cabo aplicaciones tales como el control de soldaduras, control posicional también denominado guiado de robots (vehículo no tripulado) (5).

Como se ha podido observar en lo descrito en párrafos anteriores, esto nos faculta a percatarnos que realmente existen múltiples aplicaciones que pueden llevarse a cabo con la utilización de sistemas de visión artificial.

1.3 Situación Actual

Debido a que las áreas de aplicación para los sistemas de visión artificial son muy amplias, ya existen varias empresas que brindan los servicios para el desarrollo de soluciones basados en SVA u ofrecen cámaras especializadas en determinados tipo de control de procesos industriales.

En la red podemos encontrar muchas de estas empresas. Por ejemplo la multinacional PANASONIC presentó en su catálogo Resumen 2007-2008 los siguientes productos:

Lector de Códigos 2D: es un sistema completo que integra iluminación, óptica, electrónica e interfaces. Permite la lectura de códigos marcados directamente sobre el metal. En la imagen 1.6. se puede apreciar el modelo PD60, que corresponde a una implementación estática, a diferencia del modelo PD65 que es portátil, ambos pertenecientes a la serie PD.

Imagen 1-6 Lector de Códigos Serie Modelos PD65 y PD60 (6)

Sensor Inteligente: capaz de realizar discriminación de colores, comparación con un patrón en color o en escala de grises, mediciones y extracción de características. Los sensores fotoeléctricos convencionales muchas veces son poco fiables, debido a problemas existentes en el área de detección puntual y a las restricciones en superficies que presentan bajos niveles de reflexión. Esta línea de productos ofrece lo mejor de la combinación de los sensores fotoeléctricos y la visión por computador; suministrando un producto compacto y de costo moderado. En la imagen 1.7 se presenta al sensor AE20 de la línea LightPix.

Imagen 1-7 Sensor Inteligente Modelo AE20 (6)

Sistemas Compactos: tienen varios modelos, que pueden realizar variadas funciones como el control de presencia de objetos, medidas, clasificación, identificación, reconociendo de caracteres (6).

Imagen 1-8 Sistema Compacto Modelo PV310 (6)

Entre los sistemas que se han diseñado para diversas industrias tenemos:

Sistema de Caudal de fruta: este sistema efectúa una medición del caudal de frutas, para aplicar una cantidad proporcional de detergentes, fungicidas o ceras necesarios para el envasado de la misma. Además brinda otro tipo de información tales como: tamaño medio, número de frutas por unidad de tiempo, promedio de color.

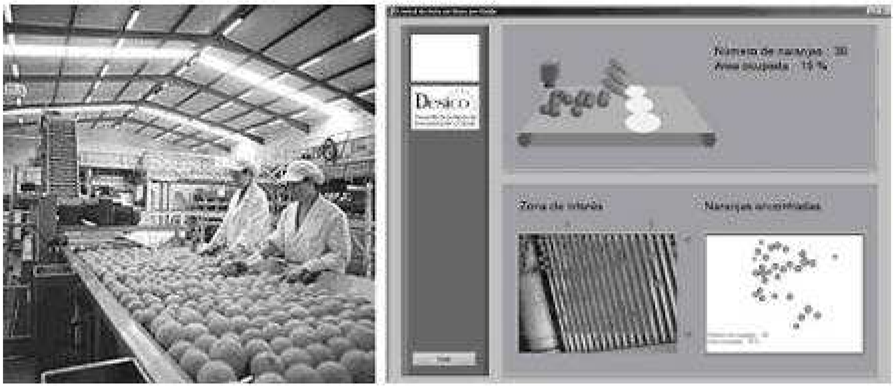


Imagen 1-9 Sistema de Caudal de Frutas (3)

Control de Calidad de Chapas: en los sistemas de laminado de la madera existe la necesidad de clasificar las chapas según la uniformidad del color, existencia de nudos, geometría de la pieza, etc. Este sistema permite clasificar las chapas en diferentes categorías(3).

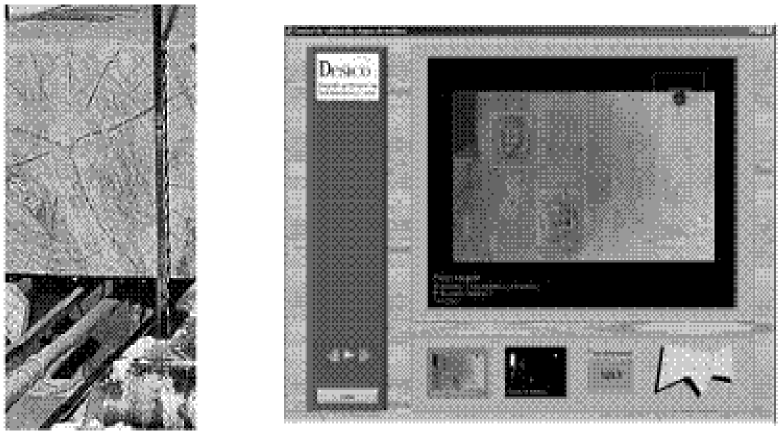


Imagen 1-10 Sistema de Clasificación de Chapas (3)

Como se puede apreciar con los ejemplos descritos, las industrias a nivel mundial se están volcando a la implementación de sistemas de control de calidad basados en SVA. Sin embargo, en nuestro país son pocas las empresas que aplican la visión por computador. Nuestras industrias siguen utilizando operarios para el control de calidad en los procesos industriales. Entre las iniciativas que ya existen para aplicar la visión por computador tenemos varios grupos de investigación en diferentes universidades:

- Los proyectos que han sido desarrollados o se encuentran en proceso de desarrollo por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) son: un módulo de visión e interacción remota para el robot policía “PRESO”, un prototipo de investigación de vehículo submarino, entre otros (7).

- En la Universidad Técnica Particular de Loja, también han desarrollado varios proyectos que brindan soluciones a procesos industriales (8).
- En la Universidad Técnica del Norte, también existe varios proyectos relacionados con robótica y visión artificial (9).

En conclusión, la evolución de los sistemas de visión artificial a nivel mundial está en auge, y en nuestro país ya existen varios proyectos de investigación en diversas áreas, lo que no existe todavía es una implementación masiva en el sector industrial.

1.4 Desventajas de la situación actual

El uso del SVA en los procesos industriales, se convertirá en una necesidad prioritaria de las diferentes empresas a nivel mundial para poder sobrevivir en un mundo globalizado y competitivo. El Ecuador no será la excepción, es de ahí la importancia de comenzar a desarrollar soluciones para nuestra industria, con la finalidad de que se haga fuerte y competitiva.

En la sección anterior se expusieron algunos ejemplos de soluciones y productos que se ofrecen a nivel mundial. Existen un sinnúmero de empresas que desarrollan soluciones para las industrias; sin embargo estas empresas se encuentran en el extranjero, lo cual conlleva inconvenientes al momento de contratar sus servicios.

El contratar los servicios de una empresa en el extranjero para el desarrollo de una implementación, implica que el costo debe ser más elevado en comparación si la empresa estuviese radicada en el país. El soporte técnico y el mantenimiento de los equipos, también representarán grandes inconvenientes; si se presentasen fallas, surge la interrogante de cuánto tiempo deberá estar detenida la línea de producción hasta que el soporte técnico llegue y pueda corregirse el desperfecto.

El comprar sistemas compactos con múltiples funcionalidades (como la línea PV de Panasonic), sería una estupenda idea si todas ellas fuesen usadas; de lo contrario significaría un gran desperdicio de recursos y dinero. Otro factor importante que debe ser tomado en cuenta es la accesibilidad a un soporte técnico y a la existencia de los repuestos en el mercado nacional, si se produjese una avería qué tanto tiempo se tardarían en importar la refacción o en reparar el equipo.

Todos estos inconvenientes se presentan en la actualidad, por lo que es de vital importancia el surgimiento de empresas que ofrezcan el desarrollo de soluciones basados en SVA, y un paso necesario para lograrlo, es el de brindar recursos a los diferentes grupos de investigación en las universidades para el desarrollo tecnológico de nuestro país y poder estar a la vanguardia en los controles automatizados.

1.5 Justificación del Proyecto

La constante evolución en los controles de calidad de los productos es provocada por las nuevas exigencias y requerimientos de los mercados. Investigadores y desarrolladores de aplicaciones se ven seducidos y persuadidos a la innovación y creación de nuevos sistemas de control y monitoreo de productos, a ser utilizados durante las diferentes etapas de producción.

Las necesidades de las diversas industrias de alcanzar los más altos niveles de control de calidad, requeridos para poder competir a nivel nacional e internacional, han conllevado a buscar mejoras en los diferentes sistemas empleados, surgiendo como una solución alternativa a la utilización de operarios, los sistemas de visión artificial.

En países europeos y Estados Unidos, se toma muy en cuenta la adaptación de los SVA a la industria, de manera que su utilización pasa a formar parte vital en el desarrollo y crecimiento de la misma; razón por la cual al navegar en Internet se pueden encontrar diferentes empresas dedicadas a proporcionar servicios de soluciones de visión artificial.

Una vez elaborado este análisis a nivel internacional, nos hemos visto fascinados por la idea de coadyuvar en el mejoramiento de los sistemas de calidad de las industrias nacionales o a su vez de aquellas que se encuentren operando en nuestro país, convirtiéndose este en uno de los pilares fundamentales para la elección del tema de nuestra tesis.

Nuestro tema, que corresponde a la aplicación de visión mediante el uso del software LabVIEW™, permite la detección de frascos cuyo contenido contenga turbiedades. Si bien la turbiedad está más relacionada a un control estético del producto, el enfoque dado al desarrollo de la aplicación es poder determinar la presencia de objetos extraños en el contenido del frasco, y con un modelo o patrón poder identificar botellas en las cuales el contenido no es el esperado.

Esta implementación puede ser aplicada para verificar que las botellas estén libres de objetos extraños antes de verter el contenido en ellas, así como para la comprobación de que el contenido vertido sea el esperado. Por tanto, puede ser aplicado en la industria farmacéutica, bebidas gaseosas, etc.

El uso de LabVIEW^{TM} se justifica porque esta herramienta ofrece versatilidad para el diseño de aplicaciones de instrumentación virtual y control de procesos, además de ser un programa mundialmente usado para el desarrollo de este tipo de aplicaciones, proporciona suficiente información y soporte sobre sus herramientas. Pero esto, no es una limitante para otras personas que decidan desarrollar las aplicaciones en otro programa licenciado o de código abierto.

La búsqueda de empresas que proporcionen soluciones de tipo SVA, o más aún, industrias que utilicen dispositivos de visión artificial; hace evidente la necesidad prioritaria de la creación de empresas que sean capaces de proveer soluciones de esta naturaleza. De esta manera, se permite el avance tecnológico e industrial de nuestro país, con el objetivo principal de cumplir con los niveles de calidad, para brindar a la sociedad ecuatoriana y al mundo productos de excelente calidad.

Uno de los objetivos fundamentales del desarrollo de nuestro tema es el de motivar e incentivar primordialmente a los lectores de la presente tesis, al desarrollo de nuevas aplicaciones que tengan como finalidad mejorar las industrias ecuatorianas y permita brindar a toda la sociedad ecuatoriana mejores productos.

Un reto de gran importancia es vencer el miedo que poseen los industriales a la aplicación de tecnología de origen nacional, además de la idea implícita de que la adquisición e instalación del sistema será costoso.

A pesar de los altos costos de los equipos existentes en el mercado, nuestro proyecto surge como una alternativa a considerar, dado que se emplean cámaras USB de resolución regular y a precios módicos. Adicionalmente, se cuenta en la actualidad con computadores tan poderosos que pueden ser adquiridos a precios accesibles, sustituyendo la necesidad de utilizar equipos especializados.

1.6 Limitaciones del Proyecto

El paso inicial consiste en definir los parámetros que van a ser controlados con la aplicación basada en SVA. El tema central de esta tesis de grado es la detección de frascos con turbiedades por medio del uso de herramientas de LabVIEW™; entonces es primordial definir que va a ser considerado como turbiedad.

En el diccionario de la Real Academia Española se define como turbio(a) al mezclado o alterado por algo que oscurece o quita la claridad natural o transparencia. Para propósitos específicos del desarrollo se definirá turbiedad como la presencia de substancias u objetos extraños que no formen parte del contenido esperado del frasco, o una variación considerable de la tonalidad esperada del contenido.

Las limitaciones establecidas para el desarrollo de nuestra aplicación serán:

- La cantidad de captura de imágenes por unidad de tiempo que pueden ser realizadas por la cámara, lo que a su vez está vinculado a la velocidad máxima de procesamiento de las botellas, es decir la velocidad de las bandas transportadoras.

- El envase (frasco) a ser utilizado debe ser completamente transparente, para brindar la facilidad de poder identificar el contenido almacenado.

- El líquido contenido debe ser transparente en un 70%, es decir su nivel de transparencia debe ser alta a moderadamente alta, ofreciendo todas las facilidades para apreciar objetos que se encuentre sumergidos en ellos.

- El líquido debe ser una sustancia homogénea, por ejemplo agua, alcohol, bebidas gaseosas claras.

- El nivel del líquido debe estar en un rango definido al momento de realizar las calibraciones para el tamaño de frasco utilizado.

- El proceso de control debe realizarse en un ambiente con iluminación controlada, para evitar la mayor cantidad de fuentes de ruido que alteren el sistema.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTOS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Una de las primeras aplicaciones del procesamiento de imágenes se la encuentra en la prensa escrita. En sus inicios, se transmitían las fotos a través de un cable submarino entre Londres y Nueva York, dicha transmisión podía durar más de una semana para transmitir una sola imagen. Pero este proceso no era digital, la computadora no se había inventado entonces. El procesamiento digital se comenzó a implementar en las aplicaciones aeroespaciales, para mejorar las fotografías tomadas a los cuerpos celestes.

Desde ese entonces, se comenzaron a desarrollar métodos que permitiesen mejorar la calidad de las imágenes para la interpretación de los seres humanos, y por otra parte que faciliten su almacenamiento, distribución y análisis para las máquinas autómatas (sistemas de visión artificial).

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es un tema que requiere de conocimientos matemáticos. Comprender los principios básicos que rigen el PDI es fundamental, para realizar cualquier tipo de implementación de un sistema de visión artificial.

2.1 Adquisición de Imágenes

Un sistema de adquisición de imágenes debe contar con los siguientes elementos:

- La fuente de luz para iluminar la escena (iluminación).
- El sistema que permite capturar la imagen (cámara).
- Una interfaz entre el sistema sensor y el computador.

Iluminación

El diseño de un correcto sistema de iluminación es importante para la implementación de un SVA. Una adecuada iluminación permitirá resaltar los rasgos de interés del objeto, reducir la complejidad de la imagen a analizar y mejorar el tiempo de respuesta del procesamiento digital.

Existen variadas técnicas de iluminación, no se puede asegurar cuál es la mejor; depende de la característica que se desea resaltar del objeto a analizar. Muchas aplicaciones han fallado debido al sistema de iluminación, aquellas que funcionan correctamente en el laboratorio pueden no hacerlo al momento de ser usados en el campo industrial. Además de la técnica de iluminación, el tipo de fuente de luz es considerado al momento de diseñar el sistema de iluminación.

Tipos de fuentes de luz

Existen varios factores que se toman en cuenta al momento de decidir la fuente de luz para la iluminación del ambiente: la intensidad lumínica, el tiempo de vida útil, la flexibilidad del diseño y el precio. A continuación se detallan las fuentes lumínicas más utilizadas:

- **Lámparas de Tungsteno** .- Son muy económicas, pero no son convenientes para el procesamiento de imágenes, especialmente cuando la frecuencia de captura de la cámara no es un múltiplo de la frecuencia de la red eléctrica (50Hz en Europa ó 60Hz América). Cuando la frecuencia de la fuente luminosa y la de captura de la cámara difieren, provoca interferencia en la captura; haciendo que aparezcan franjas más claras u oscuras en la imagen capturada, afectando la calidad de la misma. Adicionalmente este tipo de lámparas no proporcionan una iluminación uniforme y disipan demasiado calor (10).

- **Lámparas fluorescentes** .- Presentan una iluminación bastante homogénea, pueden ser operados con rectificadores de frecuencia para prevenir la modulación de la intensidad de luz y así evitar interferencia, no disipan mucho calor. Una desventaja de las fluorescentes es que no presentan un balance de color uniforme, las longitudes de onda son mayoritariamente azules. Además deben de funcionar a alta frecuencia (25KHz) para que el efecto de parpadeo no afecte a la calidad de la captura. Su vida útil es superior a las 10000 horas (11).

- **Halógenos** .- Al igual que las lámparas de tungsteno, poseen un filamento con dicho material en su interior; adicionalmente tiene un gas raro y halógeno. Estas lámparas no presentan problemas con la frecuencia, la intensidad de luz que proporcionan es bastante constante. Su tiempo de vida es de 1000 a 2000 horas (10).

- **Diodos emisores de luz** .- Poseen una mayor rapidez de respuesta que las lámparas fluorescentes y los halógenos, del orden de algunos microsegundos, lo cual los hace ideal para funcionar en sistemas estroboscópicos (iluminación mediante destellos). Funcionan a baja tensión, consumen poca potencia, disipan poco calor al ambiente, son pequeños, livianos y tienen un tiempo de vida de 100 000 horas (12).

La aberración cromática es un fenómeno óptico en el cual no coinciden las imágenes de un mismo objeto por los diferentes colores que componen la luz, ocasionando bordes coloreados en la imagen final del objeto. Este fenómeno puede ser corregido mediante el uso de diodos emisores de luz, debido a su naturaleza monocromática (longitud de onda fija). En el mercado se pueden encontrar diodos con diferentes longitudes de ondas: infrarrojos, ultravioletas, rojos, verdes, ámbar, blanco.

Entre los diferentes tipos de diodos, el infrarrojo es utilizado en escenarios donde se quiere eliminar por completo la influencia de la luz del día y de las fuentes de luz artificiales cercanas al sistema. Se usan en conjunto con una cámara infrarroja y un filtro de luz blanca.

Por todas estas ventajas, el uso de diodos se ha popularizado en las diferentes aplicaciones industriales de los sistemas de visión artificial.

- **Láser** .- Proporciona un alto poder de radiación enfocado en un área pequeña, su luz es altamente cromática y coherente. En la actualidad, debido a normas de seguridad, el uso de láseres para escanear escenas se están reemplazando por módulos de diodos láser. Estos módulos poseen la ventaja de ser pequeños y con ellos se pueden proyectar líneas, puntos, círculos, etc. En las aplicaciones industriales se usan para poder determinar la tercera dimensión de un objeto (10).

Una vez conocidas las ventajas e inconvenientes de cada una de las fuentes lumínicas, se puede realizar la elección más acorde a la aplicación a desarrollarse.

Tipos de Iluminación

Elegir la fuente de luz es tan solo una parte del diseño del sistema de iluminación, a continuación se debe seleccionar la forma de iluminar la escena y el objeto. La manera en que la luz incida sobre el objeto de interés, resaltará ciertas características y lastimosamente ocultará otras.

Entre las técnicas de iluminación mas utilizadas se tienen las siguientes:

- **Iluminación direccional frontal**.- Se la utiliza en objetos planos con superficies mates. La cámara se ubica en la misma dirección que la luz y recibe la luz reflejada por el objeto. El tipo de fuente que se utiliza con esta técnica son los LEDs, los domos y fuentes puntuales de fibra óptica.

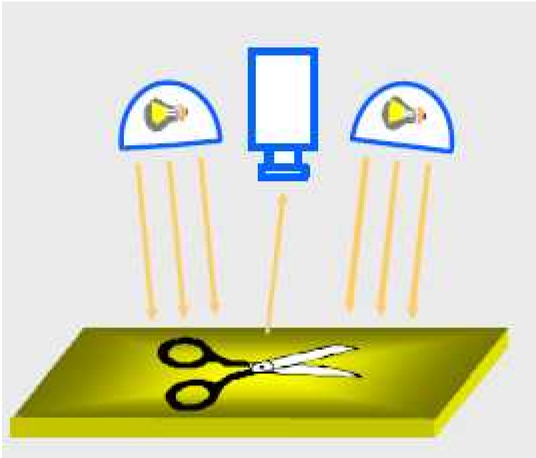


Imagen 2-1 Iluminación Frontal Unidireccional (13)

- **Iluminación lateral**.- Se emplea para mostrar detalles laterales de los objetos, aspectos de la estructura superficial o topología de la escena; pero introduce problemas con los efectos de la sombra. Como el nombre lo indica, en esta forma de iluminación la luz incide lateralmente a un determinado ángulo de incidencia.

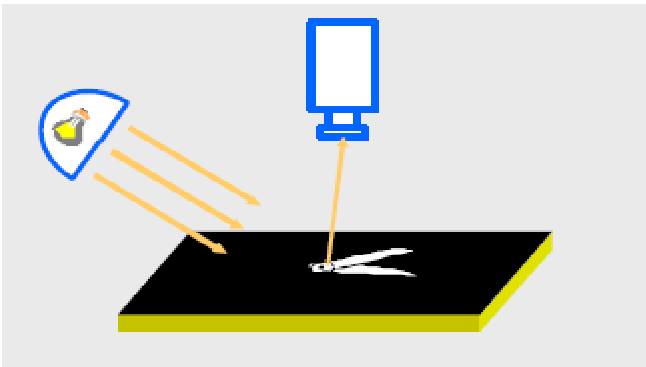


Imagen 2-2 Iluminación lateral (13)

- **Iluminación frontal axial difusa**.- Se utiliza para todos los tipos de objetos, sin importar que sean mates o brillantes. Como fuente luz pueden emplear lámparas que proporcionen una luz difusa y uniforme, como los focos incandescentes (tungsteno), fluorescente, etc. Este método no puede ser utilizado en espacios reducidos.

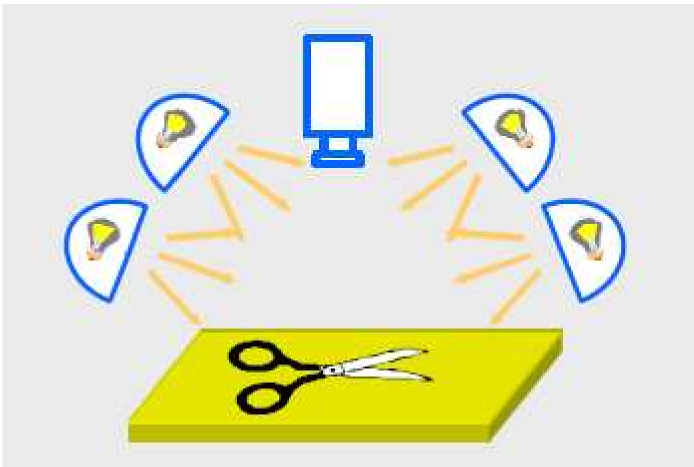


Imagen 2-3 Iluminación Axial Difusa (13)

- **Iluminación coaxial**.- También emplea una luz difusa y uniforme; pero la luz debe incidir al objeto desde el mismo eje de la cámara. Esta iluminación se genera mediante el uso de anillos de luz o divisores de haz, por lo que representa un alto coste y es difícil de montar. Se la emplea en objetos mates o brillantes para todo tipo de inspección y medición.

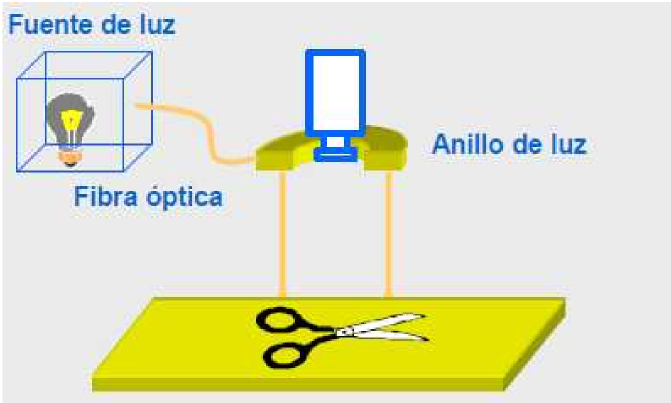


Imagen 2-4 Iluminación Coaxial (13)

- **Iluminación de campo brillante**.- Conocida también como iluminación de campo claro, se la utiliza para resaltar las fisuras, rayas y deformaciones en superficies planas y brillantes. La fuente de luz debe ser uniforme y difusa. Ésta se coloca del mismo lado de la cámara e incide sobre la superficie del objeto a un determinado ángulo; la cámara se coloca al mismo ángulo de forma que capta la luz reflejada por el objeto. Cualquier imperfección ocasionará una mancha oscura en la imagen capturada por la cámara. La mancha oscura es ocasionada por la diferencia entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión (10).

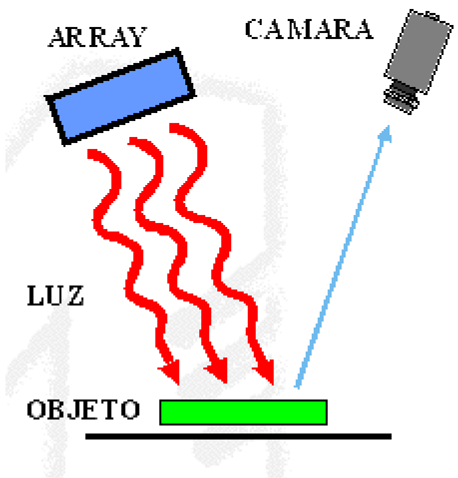


Imagen 2-5 Iluminación de campo brillante (11)

- **Iluminación de campo oscuro**.- Para esta técnica de iluminación se debe contar con una luz directa de alta intensidad. Se la utiliza en objetos transparentes o translúcidos donde se debe verificar grabados, defectos superficiales, roturas. Brinda un bajo contraste y no es útil para objetos opacos. La fuente lumínica se hace incidir sobre el objeto con un ángulo muy pequeño con respecto a la superficie donde descansa; así se consigue que las hendiduras y superficies interfieran con la trayectoria de luz, produciéndose zonas brillantes (12).

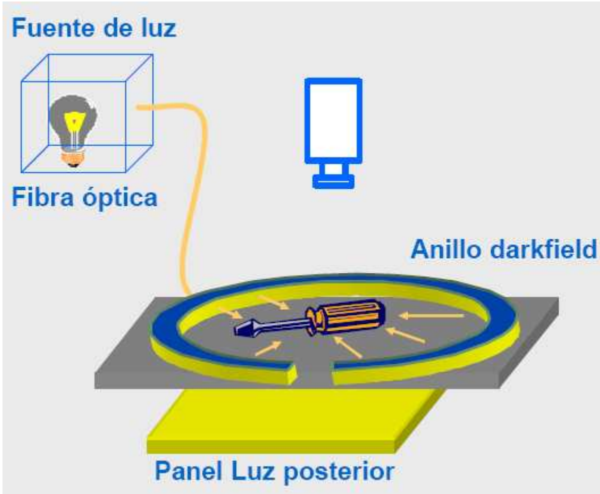


Imagen 2-6 Iluminación de campo oscuro (13)

Cámara

El sensor es considerado el corazón de la cámara digital, por lo que se las clasifican de acuerdo al tipo de sensor que emplean. Se las divide en dos grandes grupos: cámaras de dispositivo de carga acoplada (CCD, siglas en inglés) y cámaras de semiconductor de óxido metálico complementario (CMOS, siglas en inglés) (14).

Cámara CCD

La arquitectura básica CCD consiste en una serie de capacitores CMOS espaciados contiguamente, donde cada uno representa un píxel de la imagen a capturar. Los sensores CCD son dispositivos de almacenamiento y transporte de cargas, que fueron introducidos en 1969 (10).

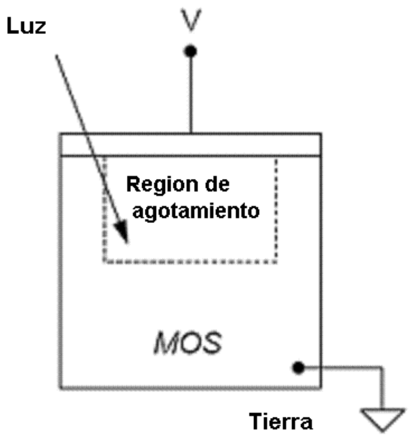


Imagen 2-7 Estructura de sensor CCD (15)

Al aplicar un voltaje positivo a la superficie del capacitor MOS tipo P, carga positiva migra hacia la tierra. Cuando los fotones impactan la región de agotamiento, los electrones liberados se almacenan en esta región; la cantidad de carga almacenada es directamente proporcional a la intensidad de la luz que incide sobre el material sensitivo.

Una imagen digital se forma por la transferencia continua de las cargas almacenadas por cada una de las regiones de agotamiento; las cuales son transferidas a los capacitores MOS aplicando secuencialmente voltaje a cada uno de los mismos. Al momento en que la carga atraviesa el último capacitor en la serie, un amplificador convierte la carga en voltaje.

La arquitectura de los sensores hace referencia a la manera de manejar y ordenar la información para formar la cadena de datos. Existen varios tipos de arquitecturas en el mercado; pero tan solo se mencionarán las tres más importantes:

- **Sensor de Transferencia de Interlínea**.- En esta arquitectura existen dos áreas bien diferenciadas: el área de iluminación y la de almacenamiento, las cuales son ordenadas en franjas. La información es adquirida por las celdas sensitivas a la luz (en el área de iluminación) y en 2.5 us aproximadamente son transferidas a unos registros de almacenamiento verticales (en el área de almacenamiento).

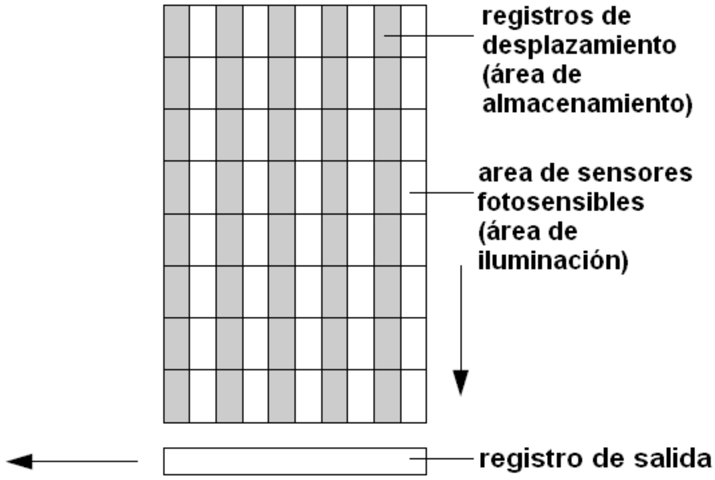


Imagen 2-8 Arquitectura del sensor de transferencia de interlínea (10)

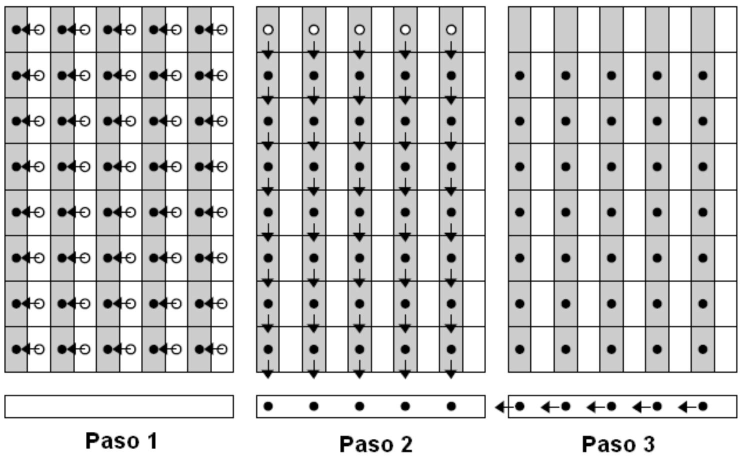


Imagen 2-9 Pasos del proceso de adquisición del sistema de interlínea (10)

En la imagen 2-9 se puede apreciar el proceso de adquisición de la imagen. En el primer paso los sensores transfieren la carga a su respectivo registro de desplazamiento. En el paso dos observamos como los registros empiezan el proceso de desplazamiento con la finalidad de transmitir su información hasta el registro de salida. Finalmente en el paso tres se observa como el registro de salida transfiere el valor.

La desventaja de esta arquitectura es que el área de almacenamiento es más grande que la de iluminación, lo que provoca que sea menos sensitiva hacia la luz. Una solución a este problema es usar micro lentes en la zona de almacenamiento que llevan la luz hacia la zona de iluminación.

- **Sensor de Transferencia de Cuadro**.- En este modelo, las áreas de iluminación y almacenamiento están separas en dos bloques. El área total que se ocupa en esta arquitectura es aproximadamente el doble del modelo de transferencia de interlínea. La totalidad de las cargas de los sensores es transferida a los registros de almacenamiento y de ahí son transferidos al registro de salida que forma la cadena de datos de la imagen adquirida.

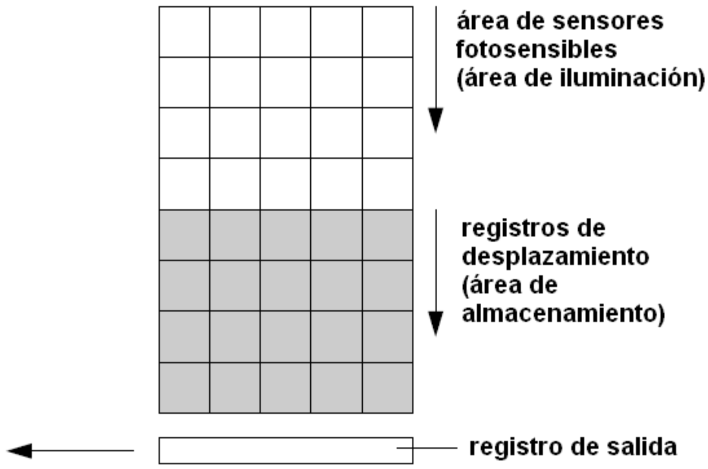


Imagen 2-10 Arquitectura del sensor de transferencia de cuadro (10)

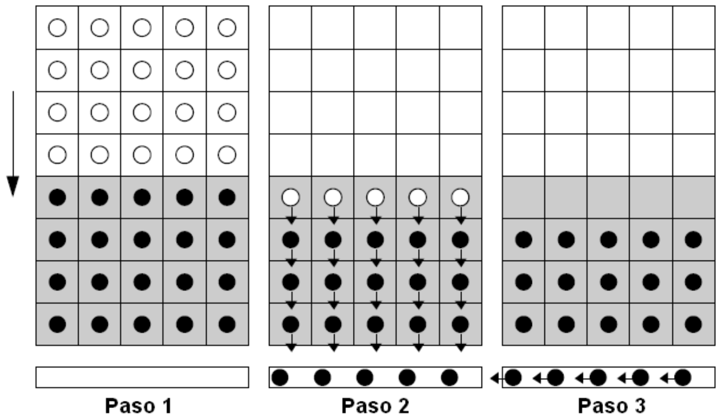


Imagen 2-11 Proceso de adquisición en sensor de transferencia de cuadro (10)

- **Sensor de Transferencia de Cuadro Completa**.- A diferencia de las arquitecturas anteriores, en ésta no existe un área de almacenamiento, el área total del sensor es sensitiva a la luz. Las cámaras que usan este modelo necesitan un obturador, el sensor no tiene influencia en el tiempo de integración, el obturador sí. La ventaja de esta arquitectura es la elevada tasa de datos que puede manejar; pero las cargas van pasando de un sensor al otro, quedando expuestas al ruido ocasionado por la sobreexposición.

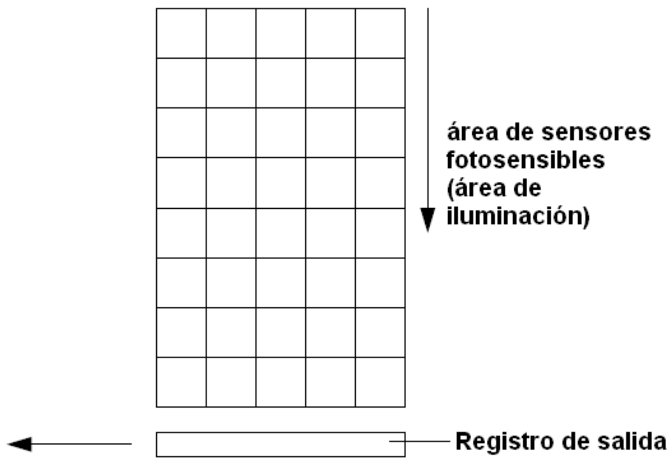


Imagen 2-12 Arquitectura del sensor de transferencia de cuadro completa (10)

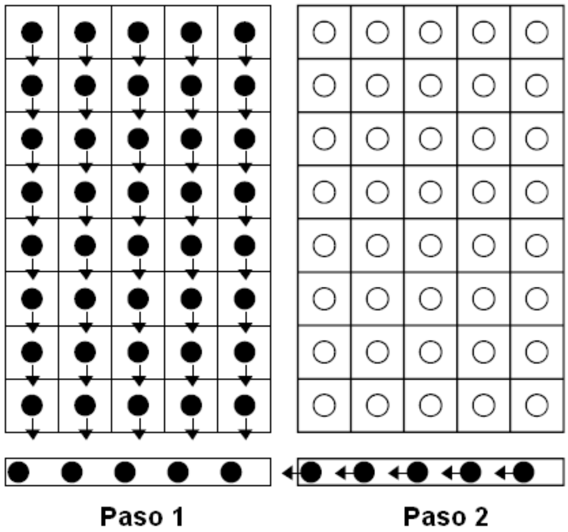


Imagen 2-13 Proceso de adquisición en sensor de transferencia de cuadro completa (10)

Cámara CMOS

Al igual que los sensores CCD, también son fabricados con materiales semiconductores sensibles a la luz. La estructura básica de un sensor CMOS es un fotodiodo en serie con un MOSFET, estos sensores son ordenados en forma de matrices. Cada celda de la matriz CMOS es independiente de sus vecinas y se las puede leer de manera más flexible, ya que se puede acceder a cada elemento de la matriz gracias a unos decodificadores de filas y columnas (10).

Existen dos tipos básicos de estructuras CMOS: los sensores de píxel pasivos y activos. La diferencia radica en que los sensores activos poseen su propio amplificador por sensor, mejorando la figura de ruido, el rango dinámico y la relación señal a ruido (16).

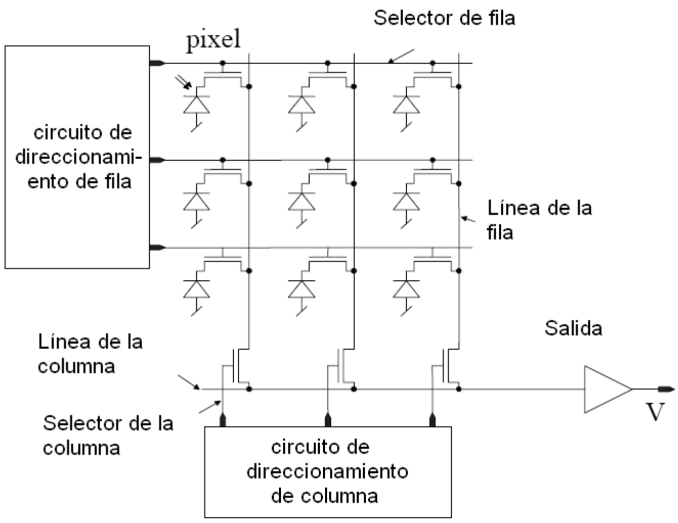


Imagen 2-14 Estructura de sensor CMOS pasivo (17)

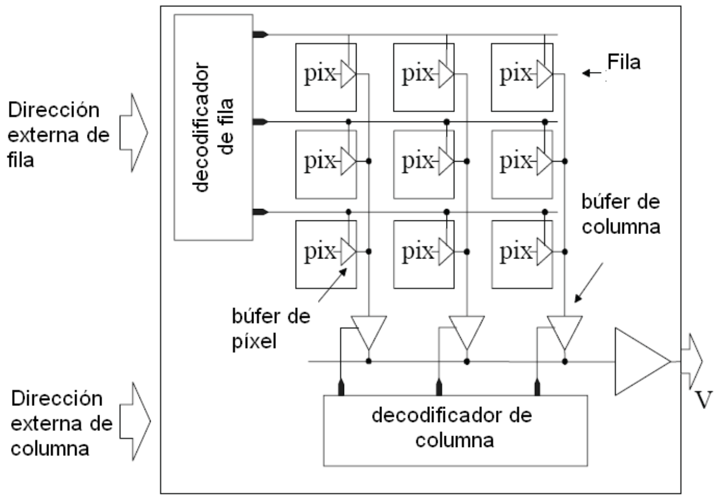


Imagen 2-15 Estructura de sensor CMOS activo (17)

Los arriba descritos son los que poseen una mayor difusión en aplicaciones comerciales; pero existen otros tipos de sensores que se han desarrollado y se están mejorando, como los sensores multicanales para el reconocimiento de color y los TFA (14).

Comparación entre cámaras CCD y CMOS

Como se ha podido apreciar, en sus respectivas descripciones, ambos sensores son construidos en base a materiales semiconductores. La diferencia fundamental es que mientras en el dispositivo CCD las cargas electrónicas van pasando de forma secuencial al amplificador que la convierte en voltaje; en los dispositivos CMOS la conversión se realiza en el mismo fotodiodo. A continuación mostramos varios parámetros de comparación entre estas tecnologías (16).

- **Costo.-** Los dispositivos CMOS son más económicos debido a que su manufacturación es posible en cualquier planta de fabricación de memorias, microprocesadores, etc. sin apenas realizar cambios en la línea de producción de la fábrica.

- **Sensibilidad o Respuesta**.- Aquí el término hace referencia a la cantidad de carga eléctrica que es capaz de generar el sensor por intensidad luminosa que incida sobre él. Los sensores CMOS son superiores a los CCD porque éstos tienen integrado un amplificador en cada celda; aunque algunos fabricantes están desarrollando nuevas técnicas para amplificar la señal de lo sensores CCD y así aumentar la sensibilidad.

- **Rango Dinámico**.- Es la relación entre el nivel de saturación de los píxeles y el umbral por debajo del cual no captan la señal. Este factor es importante porque nos indica la gama de luminosidad que va a ser capaz de percibir el sensor. En este parámetro, las cámaras CCD son superiores a las CMOS, en casi el doble (17).

- **Ruido**.- Los sensores CCD presentan un menor ruido electrónico. En los dispositivos CCD, la información capturada se procesa fuera de ellos.

Por lo que se pueden usar convertidores A/D más rápidos y eficientes. En cambio en los CMOS, la amplificación y conversión A/D, se realiza ahí mismo; por lo que el espacio para el fotodiodo es más reducido y cada elemento electrónico aporta con ruido.

- **Respuesta uniforme**.- Un píxel expuesto a la misma intensidad luminosa que sus vecinos no debe presentar mayores diferencias con ellos. La individualidad de cada píxel en los sensores CMOS los hace más sensibles a presentar respuestas no uniformes; mientras que los sensores CCD presentan respuestas más uniformes.

- **Velocidad**.- La velocidad con que se captura la imagen en un dispositivo CMOS es bastante superior al de un CCD, debido a que muchas de las funciones (por ejemplo la conversión A/D) son realizadas dentro del mismo sensor.

- **Brillo**.- Cuando uno de los píxeles se satura, puede afectar a otros cercanos a él. Este fenómeno es conocido como brillo y se presenta en los sensores

CCD. Los dispositivos CMOS son inmunes al fenómeno debido a la independencia de cada píxel. Existen en el mercado versiones de sensores CCD con circuitos antibrillo.

- **Técnica de Ventanas**:- El poder acceder a una determinada porción de los píxeles, da la capacidad de hacer el rastreo de objetos en una subregión de la imagen. Esto solo se puede aplicar en dispositivos CMOS, a través de los decodificadores de filas y columnas (18).

En el mercado las cámaras CCD son la que tienen una mayor difusión en aplicaciones profesionales, ciencia y astronomía; por la calidad de las imágenes que se pueden obtener. Para usuarios no tan exigentes las cámaras CMOS se han popularizado por sus precios económicos (las cámaras Web USB). Sin embargo, las cámaras CMOS de alta resolución están comenzando a ganar mercado en las aplicaciones profesionales, así como las cámaras CCD están presentando soluciones a sus desventajas para seguir dominando el mercado (19).

Tarjeta de Adquisición de Imágenes.

Las tarjetas de adquisición de imágenes tienen la función de transmitir la información (analógica o digital) obtenida por los sensores de la cámara al computador, para que se puedan llevar a cabo los procesos del sistema de visión artificial. Las tarjetas de adquisición de imágenes son diferentes a las tarjetas gráficas de las computadoras, ya que deben realizar funciones más complejas.

La tarjeta de adquisición de imágenes debe ser capaz de:

- Procesar la información de diferentes fuentes de imágenes.
- Almacenar la información de manera rápida y eficiente.
- Ofrecer una interfaz gráfica al usuario, con la finalidad de facilitar el manejo de la información recibida.
- Ser flexible a diferentes tipos de aplicaciones.

Por lo general las tarjetas de adquisición de imágenes cuentan con los siguientes componentes:

- **Unidad de entrada de video (VIU, siglas en inglés)**.- Tiene la función de ser la interfaz entre el sistema de sensores y la unidad de almacenamiento de la imagen. Entre las funciones que debe llevar a cabo este componente tenemos: multiplexar las señales de entrada, sincronizar las señales de entrada con la memoria de acceso aleatorio (RAM), digitalizar los datos analógicos, transferir los datos digitales y preprocesar los datos.

- **Búfer de Cuadros.-** Es un espacio de memoria auxiliar. La computadora puede poseer suficiente memoria para almacenar los datos de las imágenes; pero puede no ser lo suficientemente rápida para almacenarlas a la tasa con la que arriban. Entonces los datos se almacenan en el búfer de cuadros hasta que el computador puede recibir los datos de entrada, también se usa para almacenar temporalmente los datos de salida.

- **Unidad de salida de video (VOU, siglas en inglés)**.- Esta unidad hace posible poder visualizar las imágenes del búfer de cuadros. Tiene la función de transformar los datos de imagen en una señal de video adecuada.

- **Procesador digital de señales (DSP, siglas en inglés)**.- Es de vital importancia cuando la tarjeta de adquisición es capaz de trabajar con múltiples entradas de manera simultánea. La cantidad de datos a procesar solo puede ser realizada por un procesador de señales, y entre las operaciones que puede realizar se tienen filtros, convoluciones, transformaciones y compresiones de imágenes (10).

2.2 Procesamiento

A fin de evitar confusiones con el lector de este trabajo, de manera general se denomina procesamiento al tratamiento de los datos. La detección de bordes, segmentación, la búsqueda de patrones de color, etc. son procesamientos digitales de la imagen; pero son procesos cuya complejidad amerita ser tratada aparte.

En esta se sección se presentan los procesos menos complejos que pueden ayudar a mejorar la calidad de las imágenes tales como el realce, suavizado, conversión a escala de grises, rotación y redimensionamiento. Muchos eruditos en el Procesamiento Digital de Imágenes llaman a esto pre-procesamiento.

Representación digital de imágenes

La imagen es una función bidimensional que representa la intensidad de luz: f(x, y). Donde x e y son las coordenadas espaciales, siendo f un valor proporcional al brillo en el punto (x, y). La imagen digital es una imagen cuyos valores de brillo y coordenadas son discretos. Una imagen digital es definida como una matriz cuyos valores de filas y columnas identifican un punto en la imagen y su valor representa la intensidad luminosa en ese punto. El tamaño de la matriz es lo que define la resolución de la imagen, es decir con cuantos píxeles representaremos la imagen.

En el caso de que las imágenes sean en escala de grises, cada elemento de la matriz representa el valor de gris. El valor que puede tomar cada elemento va desde 0 (negro) hasta 255 (blanco), 256 escalas de intensidad. Esta restricción se basa en que el ojo humano es lo suficientemente sensible para detectar 256 diferentes niveles de intensidad de un color, además que 256 es un valor manejable por el computador ya que puede ser representado con un byte. El número de bits que se usen para codificar el valor de un píxel es lo que se conoce como la definición de la imagen.

Para representar imágenes a color se pueden usar diferentes modelos de colores, tales como el RGB (rojo, verde, azul), CMY (cían, magenta, amarillo), HSL, HSV, HSI. Cuando la imagen se la representa con mapas de bits (bitmap) usando el modelo de color RGB, cada elemento de la matriz es un valor de 3 bytes, uno para cada color (rojo, verde, azul), cuya combinación es el color del píxel. Esta característica se la menciona como planos de la imagen, cuando se trabaja con imágenes en escala de grises se usa un solo plano, a diferencia de cuando se desee trabajar con imágenes a color que se requieren de tres planos, sin importar el modelo de color que se use porque siempre se usan tres parámetros (20).

Representación vectorial de los colores

En los diferentes modelos de color, estos se representan como combinaciones lineales de tres factores. En el modelo RGB son la combinación del rojo, verde y azul; en el CMY son el cían, magenta y amarillo; en el HSL son el matiz, saturación y luminiscencia.

Para facilidad del análisis matemático, los colores se los representan como vectores. Por ejemplo, en el modelo RGB (imagen 2-16) la base vectorial del espacio de color la constituyen los colores rojo, verde y azul; resultando que cualquier color puede ser expresado como una combinación lineal de la base (21).

Color = a*Rojo + b*Verde + c*Azul, Color = (a, b, c)

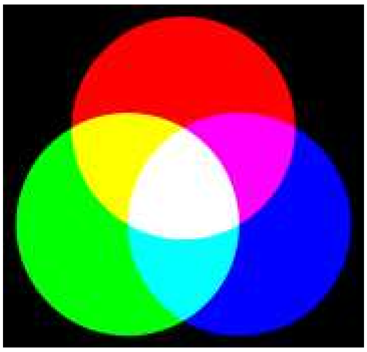


Imagen 2-16 Modelo RGB (21)

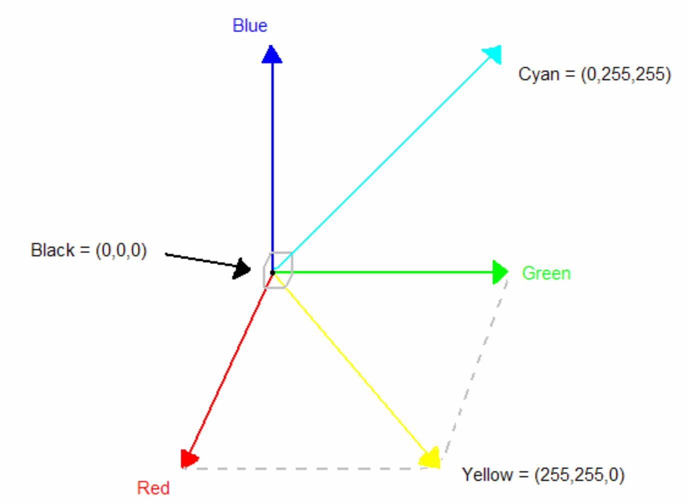


Imagen 2-17 Representación vectorial de los colores (20)

Donde a, b, y c son valores enteros que pertenecen al intervalo [0,255]. Así, por ejemplo un tono de amarillo se lo puede expresar:

Amarillo=255*rojo+255*verde+0*azul, Amarillo=(255, 255, 0)

Representar a los colores a través de vectores hace posible utilizar herramientas y conceptos matemáticos como la norma, el producto punto, la proyección vectorial, distancia, rotación y transformaciones lineales; que permitirán implementar los algoritmos de pre-procesamiento (20).

Algoritmos de procesamiento básico.

La representación de las imágenes a través de matrices de píxeles en función de las coordenadas x i y pertenece al dominio espacial bidimensional. Esto permite realizar transformaciones lineales a las imágenes, simplemente son matrices que se pueden sumar, restar o multiplicar.

Diferencia de Colores

Cada color se expresa como un vector de tres componentes, por lo tanto se puede sacar la distancia vectorial entre colores. Sean dos colores C1 = (r1, g1, b1) y C2 = (r2, g2, b2); la distancia entre C1 y C2 se define como:

$$D(C_1, C_2) = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Comparación de color

La comparación de colores es un proceso que requiere acceder al color de cada píxel de la imagen. La comparación del píxel con un color específico se utiliza en robótica para la identificación de objetos de un determinado color, por ejemplo mover bloques de color azul.

El algoritmo para buscar un color en particular en una imagen es el siguiente:

- Definir el color de interés C0 = (r0, g0, b0).
- Establecer el umbral K de la distancia entre los colores del mapa de bits y el color de interés. Es decir un rango de variación para el cual se pueda considerar que el color del píxel se aproxima al color de interés.
- Para cada píxel de la imagen se realiza el siguiente calculo:
    - ♦ Se extrae el color C de cada píxel.
    - ♦ Se calcula la distancia D(C, C0).
    - ♦ Si la distancia entre C y C0 es menor que el umbral de comparación K, entonces lo

marcamos en blanco, de lo contrario lo marcamos con negro.

Imagen 2-18 Ejemplo de resultado del algoritmo de comparación de color (20)

Conversión a escala de grises

En el modelo RGB, la escala de grises se caracteriza por tener la misma magnitud en los valores para el rojo, verde y azul. En el espacio vectorial, dichos colores se encuentran en la dirección del vector V = (1, 1, 1). Para poder convertir un color a escala de grises, debemos determinar la proyección de cada componente sobre el vector V y así determinar el nivel de gris para ese color.

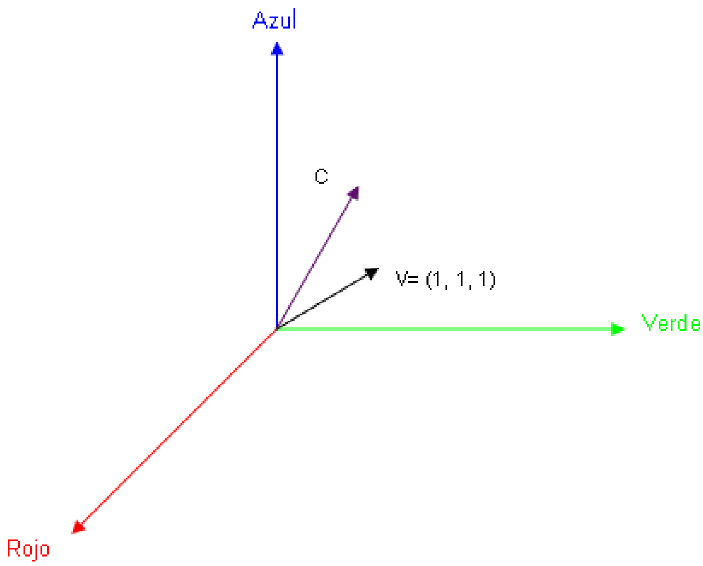


Imagen 2-19 Representación vectorial de colores y la conversión a escala de gris (20)

A fin de poder determinar la proyección del color C= (r,g,b) sobre el vector V se usa el producto punto o producto interno.

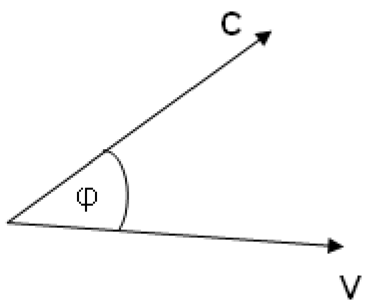


Imagen 2-20 Producto punto de vectores (20)

$$\vec{C} \bullet \vec{V} = \left\|\vec{C}\right\| \left\|\vec{V}\right\| \text{Cos}(\varphi)$$

$$\overrightarrow{\text{Proy}}_{C\rightarrow V} = \left\|\vec{C}\right\| \text{Cos}\,(\varphi)\frac{\vec{V}}{\left\|\vec{V}\right\|} = \frac{\vec{C}\bullet\vec{V}}{\left\|\vec{V}\right\|}\frac{\vec{V}}{\left\|\vec{V}\right\|} = \frac{\vec{C}\bullet\vec{V}}{\left\|\vec{V}\right\|^2}\vec{V}$$

$$\overrightarrow{\text{Proy}}_{C\rightarrow V} = \frac{(r,g,b)\bullet(1,1,1)}{3}(1,1,1) = \frac{r+g+b}{3}(1,1,1)$$

$$\overrightarrow{\text{Proy}}_{C\rightarrow V} = \left(\frac{r+g+b}{3}, \frac{r+g+b}{3}, \frac{r+g+b}{3}\right)$$

En resumen, para convertir una imagen en color a escalas de grises debemos obtener los componentes RGB de cada píxel de la imagen y cambiar su valor por el correspondiente promedio de los tres componentes en ese píxel.

Imagen 2-21 Ejemplo de conversión a escala de grises (20)

Transformación de Escalas

Las transformaciones de escala de grises son funciones enteras de [0, 255] a [0, 255]; es decir que a cualquier valor de entrada entero entre 0 y 255 le corresponde un valor de salida entero entre 0 y 255.

Estas transformaciones son implementadas a través de tablas de consultas (LUT, del inglés lookup table) para modificar el brillo y el contraste de la imagen.

Una transformación en la cual la entrada es idéntica a la salida se expresa como una recta que parte del origen con pendiente de 45º.

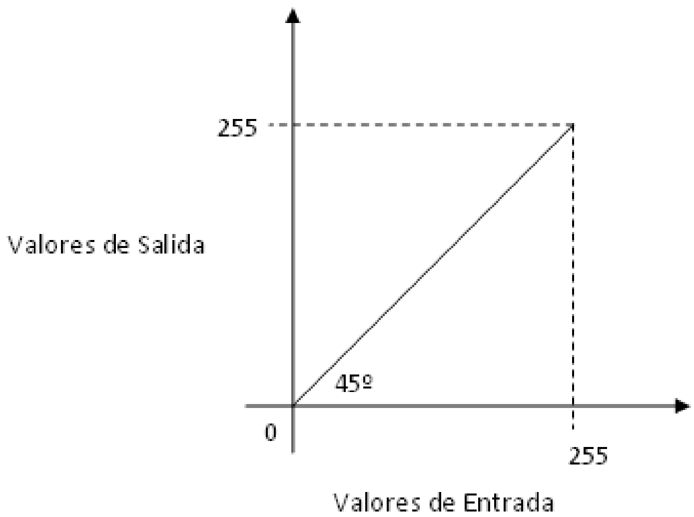


Imagen 2-22 Transformación Lineal (20)

Aumentar o disminuir el brillo consiste en aumentar o disminuir la ordenada al origen de la línea recta con pendiente de 45º.

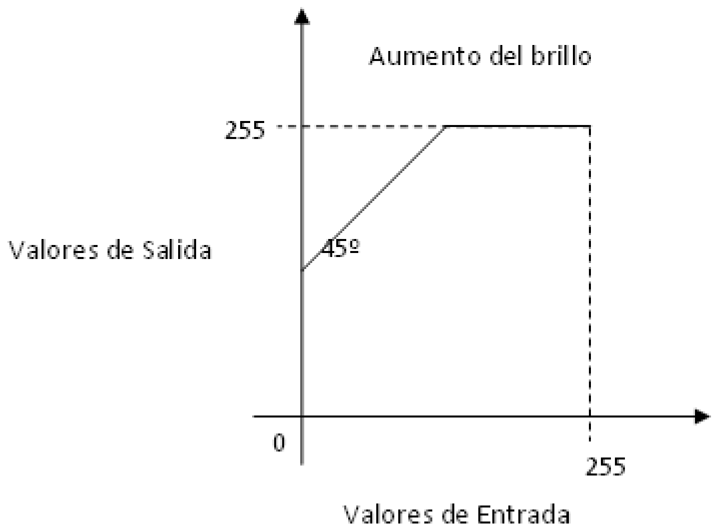


Imagen 2-23 Transformación: aumento de brillo (20)

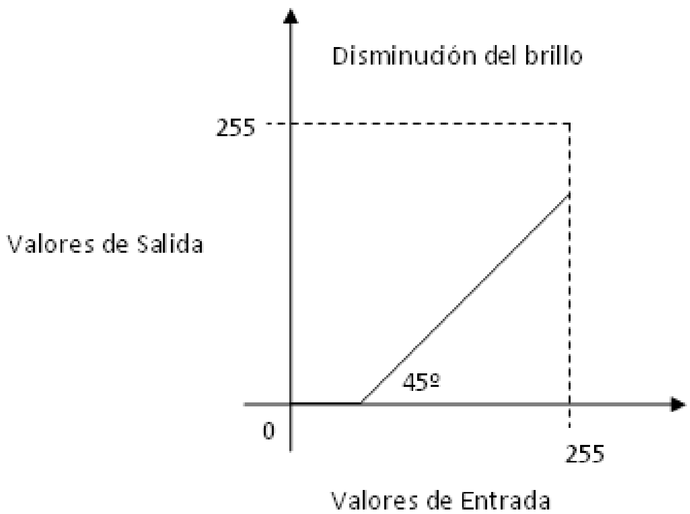


Imagen 2-24 Transformación: disminución del brillo (20)

En cambio aumentar o disminuir el contraste implica modificar la pendiente de la recta.

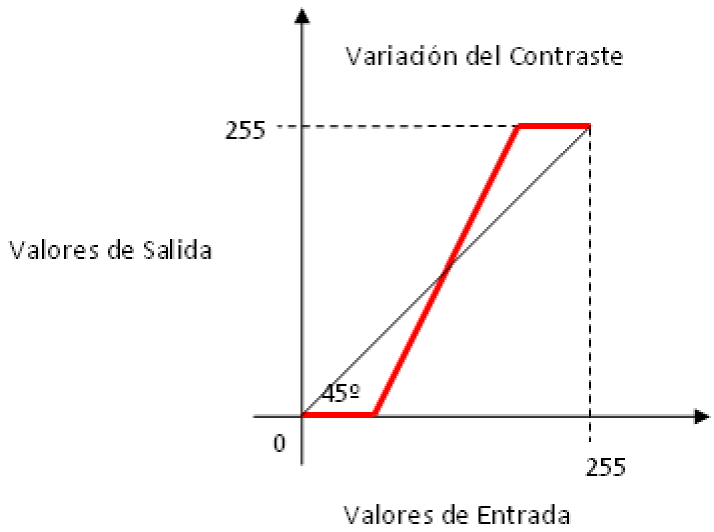


Imagen 2-25 Transformación: variación del contraste (20)

Si se pretende realizar un modificación de brillo y contraste, primero se debe efectuar la de contraste y a continuación la de brillo.

Estas transformaciones en escala de grises también pueden ser usadas en imágenes a color. El mecanismo consiste en aplicar las transformaciones a cada componente del color por separado y al final reconstituir el color.

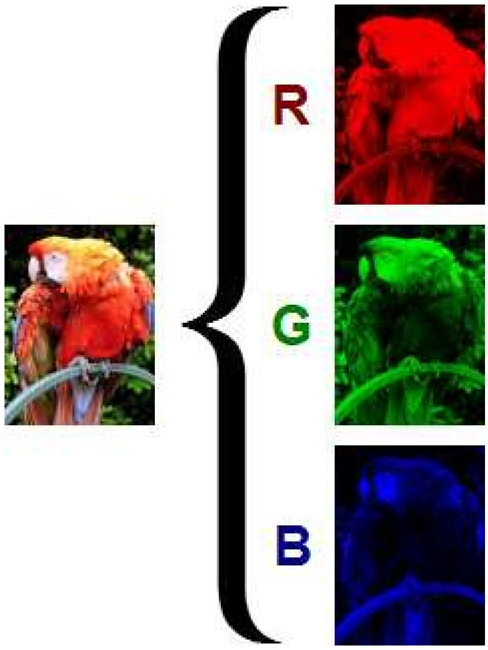


Imagen 2-26 Descomposición de una imagen a color en modelo RGB (20)

Las transformaciones aquí mostradas son lineales, existen otras transformaciones no lineales que son bastante usadas en el tratamiento de imágenes tales como la corrección gamma y exponencial.

Redimensionamiento

Existen varios algoritmos para reducir o aumentar el tamaño de una imagen, a continuación se presenta el algoritmo del redimensionamiento lineal de una imagen. El principal problema es determinar que color le corresponde a cada uno de los pixeles de la imagen de salida, para lo cual se divide el proceso en dos etapas: una para el ancho y otra para el largo de la imagen; pero el procedimiento para cualquiera de las dos etapas es muy similar.

El proceso para redimensionar el ancho de una imagen se basa en las siguientes premisas:

- El ancho de la imagen final se denomina Wout.
- El ancho de la imagen original Win.
- La imagen es considerada como una matriz de pixeles; por lo tanto el ancho Win y Wout deben ser números enteros positivos.
- Se define a la operación E(x) como la obtención de la parte entera de un número, por ejemplo E(5.23)=5.
- Se define la operación F(x) como la obtención de la parte decimal de un número, por ejemplo F(5.23)=.23.

Considere una sola fila de la imagen original y la imagen de salida como se muestra en la imagen 2-27.

Al píxel Xi de la fila de salida qué color le debe corresponder de la fila de entrada.

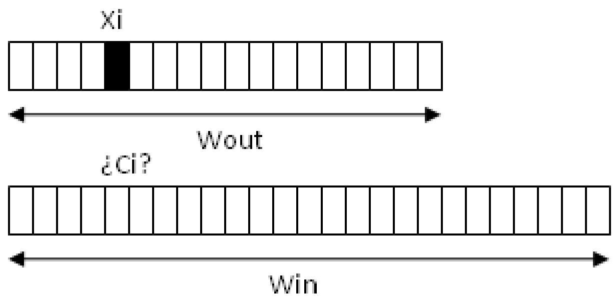


Imagen 2-27 Redimensionamiento de una fila (20)

Se sabe que el algoritmo es lineal, por lo tanto la imagen de salida y de entrada deben ser semejantes, es decir ser proporcionales. Por lo que se puede establecer la siguiente relación:

$$\frac{Xi}{Wout} = \frac{Ci}{Win}$$

$$Ci = Xi \times \frac{Wout}{Win}$$

En base a esta relación se sabe que al píxel Xi le corresponde el color del píxel Ci. Como se mencionó entre las premisas Win y Wout son números enteros positivos, lo que no implica que el cociente entre ellos sea otro entero positivo, puede resultar en un fraccional ocasionando que la coordenada del píxel Ci sea un fraccional, lo cual es imposible dado que las imágenes son matrices.

Ante el inconveniente de que Ci es un fraccional, se presentan dos posibles decisiones:

- Tomar el valor entero más cercano de Ci, es decir Xi= E (Ci).

- Hacer una linealización entre E(Ci) y E(Ci)+1, es decir sacar un valor ponderado entre los dos píxeles, brinda un efecto de suavizado más agradable. En la imagen 2-28 se muestra la ponderación que se suele utilizar en este tipo de algoritmos de redimensionamiento lineal.

La pendiente de la recta es la siguiente:

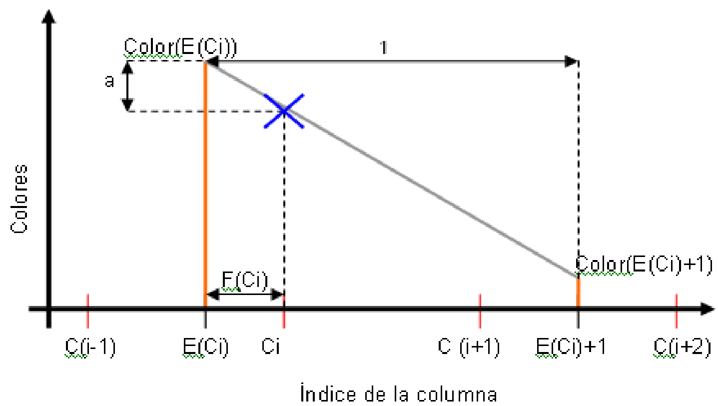


Imagen 2-28 Redimensionamiento a través de linealización (20)

$$m = \frac{Color(E(Ci)+1) - Color(E(Ci)}{E(Ci)+1-E(Ci)}$$
$$m = Color(E(Ci)+1) - Color(E(Ci))$$

Otra forma de hallar la pendiente es usando la siguiente relación:

$$m = \frac{a}{F(Ci)}$$

Podemos expresar el valor de "a" en base a la pendiente:

$$a = m \times F(Ci) = F(Ci) \times Color(E(Ci)+1) - Color(E(Ci))$$

En la imagen 2-28 se puede apreciar que el color de Ci será el Color de E(Ci) más el desplazamiento "a":

$$Color(Ci) = Color(E(Ci)) + a$$
$$Color(Ci) =$$
$$Color(E(Ci)) + F(Ci) \times [Color(E(Ci)+1) - Color(E(Ci))]$$

El proceso llevado a cabo para redimensionar el largo de una imagen es idéntico, la imagen original será la imagen resultante de la primera etapa y las variables de interés serán ahora Hin y Hout.


Imagen 2-29 Ejemplo de redimensionamiento (20)

Rotación

A continuación se presenta uno de los procedimientos más sencillos para rotar imágenes. Denominamos x e y a las coordenadas de un píxel en un mapa de bits, para localizar su imagen (x', y') a través de la rotación del centro (xo, yo) y ángulo α usamos las siguientes ecuaciones:

$$x' = (x - x_o) * Cos(\alpha) - (y - y_o) * Sen(\alpha) + x_o$$
$$y' = (x - x_o) * Sen(\alpha) + (y - y_o) * Cos(\alpha) + y_o$$

Si se utilizan estas ecuaciones partiendo de cada píxel de la imagen original, se obtendrán muchos espacios en blancos en la imagen de salida. Estos agujeros se deben al hecho de que x e y son enteros. La solución a este inconveniente es partir de cada píxel de la imagen de salida y obtener el píxel de procedencia; pero sigue el problema de que los valores de x e y que se obtengan no siempre serán enteros, la solución es muy similar a la del redimensionamiento lineal: tomar el valor entero más cercano o sacar un valor promedio entre los dos píxeles más próximos a las coordenadas (20).

$$x = (x' - x_o) * Cos(-\alpha) - (y' - y_o) * Sen(-\alpha) + x_o$$

$$y = (x' - x_o) * Sen(-\alpha) + (y' - y_o) * Cos(-\alpha) + y_o$$

Imagen 2-30 Ejemplo de rotación (20)

Convolución

La convolución es una operación matemática ampliamente usada para determinar la respuesta de los sistemas lineales invariantes en el tiempo en base al conocimiento de la respuesta al impulso.

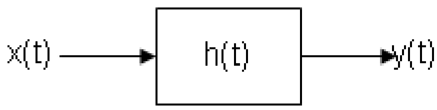


Imagen 2-31 Sistema lineal invariante en el tiempo (22)

Donde x(t) es la entrada al sistema, y(t) es la respuesta del sistema y h(t) es la respuesta al impulso.

$$y(t) = h(t) \times x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)\, x(t-\tau)\, d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\, h(t-\tau)\, d\tau$$

La contraparte digital de la convolución es la sumatoria de convolución, que se emplea para determinar la respuesta de los sistemas invariantes en el desplazamiento.

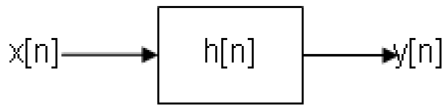


Imagen 2-32 Sistema lineal invariante en el desplazamiento (22)

De manera similar x[n]es la entrada al sistema, y[n] es la respuesta del sistema y h[n] es la respuesta al impulso.

$$y[n] = h[n] \times x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]\, x[n-k] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]\, h[n-k]$$

La suma de convolución de una dimensión se puede extender a dimensiones superiores. Considere la entrada x[r,c] y su respuesta al impulso h[r,c], por lo que la repuesta del sistema se puede expresar como:

$$y[r,c] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=\infty}^{\infty} x[k,l]h[r-k,c-l]$$

Las imágenes son arreglos de dos dimensiones en los que se puede aplicar la convolución para transformar la imagen. Considere que la respuesta al impulso h[r,c] es una matriz de MxM, esto transforma la ecuación anterior a:

$$y[r,c] = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} x[k,l]h[r-k,c-l]$$

Adicionalmente se debe recordar que un píxel puede tomar valores entre 0 y 255, por lo que es necesario añadir un factor que permita normalizar.

$$y[r,c] = \frac{1}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} h[i,j]} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} x[k,l]h[r-k,c-l]$$

A continuación se muestra un ejemplo, donde se tiene la respuesta al impulso h[r,c] y la matriz de entrada x[r, c]

$$h[r,c] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad x[r,c] = \begin{bmatrix} 137 & 198 & 174 & 178 & 164 \\ 185 & 179 & 168 & 201 & 188 \\ 179 & 176 & 181 & 197 & 164 \\ 133 & 185 & 190 & 150 & 161 \\ 167 & 198 & 184 & 137 & 195 \end{bmatrix}$$

y[1,1]=?

$$y[1,1] = \frac{1}{\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{M-1} h[i,j]} \sum_{k=0}^{M-1}\sum_{l=0}^{M-1} x[k,l]h[1-k,1-l]$$

$$\sum_{i=0}^{2}\sum_{j=0}^{2} h[i,j] = 1+1+1+1+4+1+1+1 = 12$$

$$y[1,1] = \frac{1}{12}[137+198+174+185+179*4+168+179+176+181]$$

$$y[1,1] = \frac{1}{12}[2114]$$

$$y[1,1] = 176.16$$

Como el valor de un píxel debe ser un número entero, el resultado se redondea.

$$y[1,1] = 176$$

La convolución demanda el uso de muchos recursos para el proceso de multiplicar y acumular valores durante el tratamiento de los datos. Mientras más grande sea la matriz de convolución, el tiempo de ejecución se hace mayor. Se recomienda no usar matrices demasiado grandes, por lo general se usan matrices de 3x3. Otra estrategia es dividir la matriz de convolución en dos vectores, y realizar la multiplicación vectorial.

Cuando la matriz de convolución no puede ser reducida, se recurre a la transformada rápida de Fourier FFT. Recuerde que la convolución en el dominio espacial es equivalente a multiplicar en el dominio de la frecuencia. La FFT se usa con más frecuencia para el diseño de los filtros, una vez obtenido el resultado requerido, se aplica la transformada inversa y se obtiene la matriz de convolución. La matriz de convolución es más fácil de implementar en firmware y/o hardware (15).

Matrices de convolución en Procesamiento Digital de Imágenes

Las matrices de convolución se usan para representar algoritmos que modifican el valor de un píxel basado en el valor del mismo píxel y el de sus vecinos. Las matrices pueden ser de distintos tamaños NxM, ya sean cuadradas o rectangulares; pero siempre los valores de N y M deben ser impares, con el propósito de que exista un coeficiente justo en el centro de la matriz que será ocupado por el píxel a ser modificado. En NI Vision se trabaja con matrices de 3x3, 5x5 y 7x7.

Las matrices de convolución se deslizan sobre la imagen, el centro del kernel de convolución se coloca sobre el píxel a ser analizado, se obtiene el resultado y se coloca el resultado en la matriz de la imagen de salida. Puede observarse un ejemplo del proceso de convolución en la Imagen 2-33.

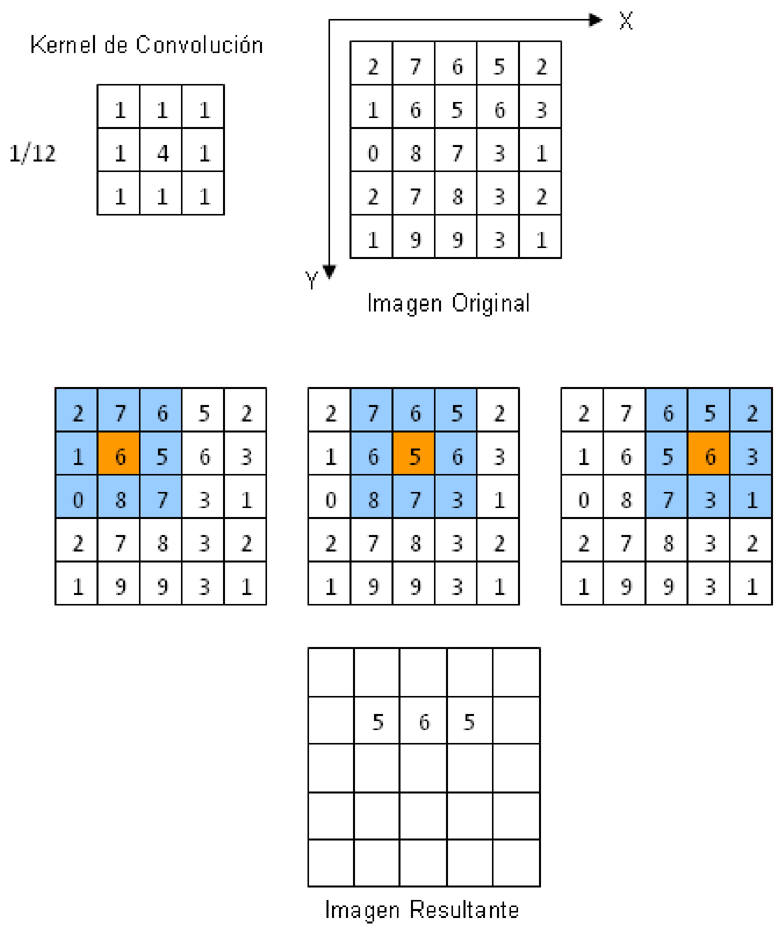


Imagen 2-33 Proceso de convolución (22)

Existe un inconveniente al momento de deslizar el kernel de convolución sobre la imagen, qué sucede con los valores que están en los filos de la matriz, los cuales ocasionan que parte del kernel quede fuera de la imagen.

Ante esta situación se han propuesto algunas soluciones:

Hacer que la máscara no llegue a los filos de la matriz de tal manera que el kernel no quede fuera de la imagen, esto generará una imagen de menor tamaño que la original.

Procesar todos los elementos de la matriz y usar solo los valores del kernel que estén sobre la imagen, esto generará una imagen del mismo tamaño que la original.

Añadir a la imagen filas y columnas las cuales no forman parte de la misma como se ve en la imagen 2-34, es decir no son guardadas ni mostradas, de tal manera que al desplazar el kernel por los filos de la imagen original la matriz de convolución no quedará fuera.

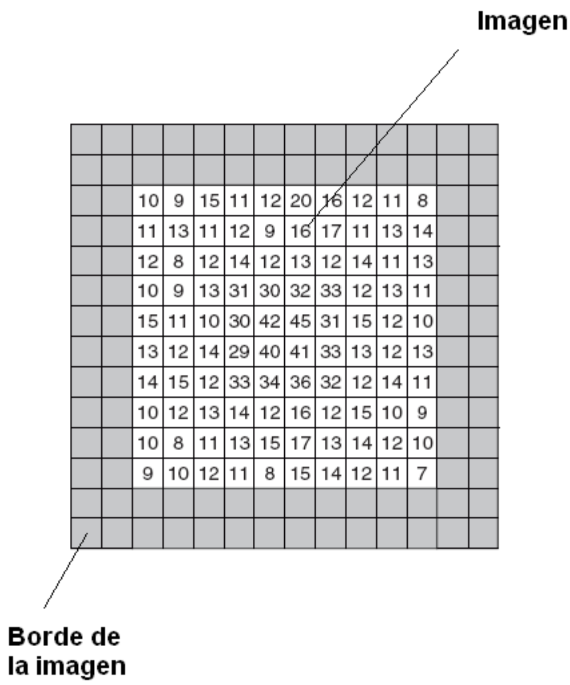


Imagen 2-34 Bordes de una imagen (22)

El detalle de añadir bordes a la imagen es qué valores colocar en cada uno de los píxeles de estas filas y columnas añadidas. NI Vision se encarga de inicializar estos valores de manera automática de tres maneras distintas:

- Colocando ceros como se puede ver en la imagen 2-35. Este método lo usa NI Vision cuando va a realizar procesos como la correlación, el removedor de partículas, rechazo de bordes (este método hace referencia a quitar los bordes de los objetos contenidos en la imagen, no al borde que se añade a la imagen para los procesos).

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	10	9	15	11	12	20	16	12	11	8	0	0
0	0	11	13	11	12	9	16	17	11	13	14	0	0
0	0	12	8	12	14	12	13	12	14	11	13	0	0
0	0	10	9	13	31	30	32	33	12	13	11	0	0
0	0	15	11	10	30	42	45	31	15	12	10	0	0
0	0	13	12	14	29	40	41	33	13	12	13	0	0
0	0	14	15	12	33	34	36	32	12	14	11	0	0
0	0	10	12	13	14	12	16	12	15	10	9	0	0
0	0	10	8	11	13	15	17	13	14	12	10	0	0
0	0	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Imagen 2-35 Matriz de píxeles con borde cero (22)

- Copiando el valor del píxel del filo de la imagen a lo largo de todo el borde como se ve en la imagen 2-36. NI Vision usa este método cuando realiza los siguientes procesos: morfología binaria, la morfología de escala de grises y la segmentación.

10	10	10	9	15	11	12	20	16	22	11	8	8	8
10	10	10	9	15	11	12	20	16	22	11	8	8	8
10	10	10	9	15	11	12	20	16	12	11	8	8	8
11	11	11	13	11	12	9	16	17	11	13	14	14	14
12	12	12	8	12	14	12	13	12	14	11	13	13	13
10	10	10	9	13	31	30	32	33	12	13	11	11	11
15	15	15	11	10	30	42	45	31	15	12	10	10	10
13	13	13	12	14	29	40	41	33	13	12	13	13	13
14	14	14	15	12	33	34	36	32	12	14	11	11	11
10	10	10	12	13	14	12	16	12	15	10	9	9	9
10	10	10	8	11	13	15	17	13	14	12	10	10	10
9	9	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	7	7
9	9	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	7	7
9	9	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	7	7

Imagen 2-36 Matriz de píxeles con borde fijo (22)

- Reflejando los valores de los pixeles de la imagen en el borde, como se puede observar en la imagen

2-37. Este método se utiliza en los siguientes procesos: filtros pasabajos, de orden N y de detección de bordes.

13	11	11	13	11	12	9	16	17	11	13	14	14	13
9	10	10	9	15	11	12	20	16	12	11	8	8	11
9	10	10	9	15	11	12	20	16	12	11	8	8	11
13	11	11	13	11	12	9	16	17	11	13	14	14	13
8	12	12	8	12	14	12	13	12	14	11	13	13	11
9	10	10	9	13	31	30	32	33	12	13	11	11	13
11	15	15	11	10	30	42	45	31	15	12	10	10	12
12	13	13	12	14	29	40	41	33	13	12	13	13	12
15	14	14	15	12	33	34	36	32	12	14	11	11	14
12	10	10	12	13	14	12	16	12	15	10	9	9	10
8	10	10	8	11	13	15	17	13	14	12	10	10	12
10	9	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	7	11
10	9	9	10	12	11	8	15	14	12	11	7	7	11
8	10	10	8	11	13	15	17	13	14	12	10	10	12

Imagen 2-37 Matriz de pixeles con borde reflejado (22)

Los filtros espaciales sirven a una variedad de propósitos, como detectar bordes en una región, resaltar el contorno de patrones, reducir el ruido, realzar detalles y suavizar. Una clasificación de los filtros puede ser observada en la imagen 2-38.

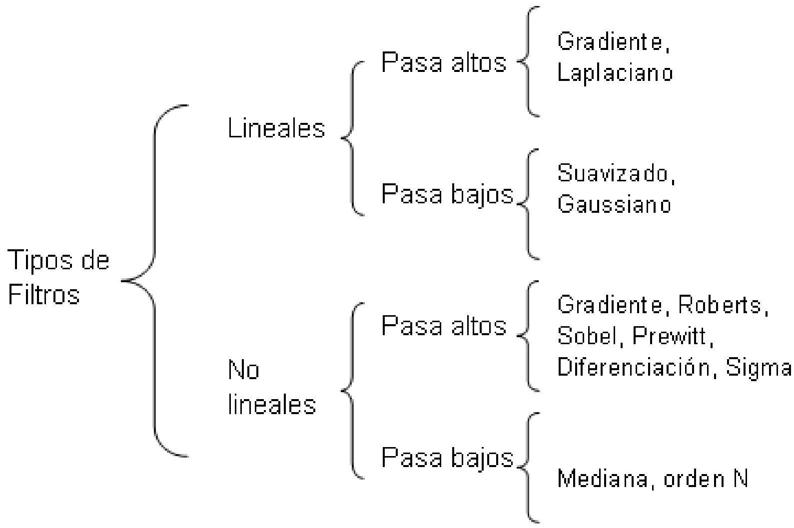


Imagen 2-38 Clasificación de los Filtros Espaciales (22)

De la clasificación de filtros presentada, los más comprensibles y factibles de usar son los lineales, tanto los pasa altos como pasa bajos; y estos se usan en la etapa de pre-procesamiento, con la finalidad de mejorar los detalles de la imagen a analizar (21).

Matrices de procesamiento básico

A continuación se presentarán las matrices de pre-procesamiento de uso común en el procesamiento digital de imágenes.

- **Filtro Gradiente .-** Los filtros de nitidez se caracterizan por resaltar los detalles delicados de una imagen o mejorar los aquellos que han sido atenuados por error o por los efectos de ruido en la adquisición.

El gradiente es un operador se lo define como:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

El gradiente apunta hacia la dirección de máxima variación de la intensidad.

Las imágenes son datos discretos, y la derivada es un operador para datos continuos, por lo que resulta más conveniente aplicar la diferencia finita:

$$\frac{\partial f}{\partial x}[x, y] \approx f(x+1, y) - f(x, y)$$

El filtro gradiente es un filtro de derivada de primer orden que destaca las variaciones de intensidad luminosa en una determinada dirección, cuyo kernel sigue el siguiente modelo:

$$\begin{bmatrix} a & -b & -c \\ b & x & -d \\ c & d & -a \end{bmatrix}$$

Donde los valores de a, b, c y d son enteros y x puede tomar el valor de 1 ó 0. El siguiente ejemplo de filtro gradiente tiene su borde de simetría a 135º (22).

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

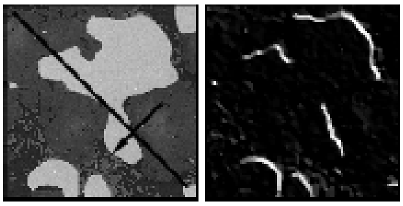


Imagen 2-39 Ejemplo de filtro gradiente (21)

- **Filtro Laplaciano.-** Un filtro laplaciano usa derivadas de segundo orden y también se usa para extraer el contorno de los objetos y destacar detalles. Se diferencia del filtro gradientes porque es omnidireccional. El kernel de este filtro tiene el siguiente modelo:

$$\begin{bmatrix} a & d & c \\ b & x & b \\ c & d & a \end{bmatrix}$$

Los valores de a, b, c y d son enteros. El filtro laplaciano tiene dos diferentes efectos, que dependen del valor del coeficiente central x es mayor o igual que la suma de los valores absolutos de los otros coeficientes.

Si $x = 2(|a|+|b|+|c|+|d|)$, el filtro laplaciano extrae los pixeles donde existen variaciones de intensidad significativos. La presencia de bordes, limites entre objetos, modificaciones en la textura del fondo, ruido u otros efectos pueden causar estas variaciones. La imagen resultante de este filtro contiene bordes blancos en un fondo negro. Un ejemplo de esta matriz es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Si $x > 2(|a|+|b|+|c|+|d|)$, el filtro laplaciano detecta las mismas variaciones que en el caso anterior; la diferencia es que la imagen resultante luce similar a la imagen original, tan solo que posee los bordes resaltados. Una matriz que cumple con esta característica es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Como se puede apreciar, esta matriz puede expresarse como la suma de otra matriz laplaciana (aquella que resaltará solo las variaciones de luz) más una matriz que nos proporciona la imagen original (23).

En la imagen 2-40 podemos ver el efecto de las dos matrices mostradas como ejemplo actuando sobre una misma imagen.

Imagen 2-40 Resultados de aplicar filtros Laplacianos (21)

- **Suavizado Lineal.-** Los filtros de suavizado son usados para obtener un efecto de borrado y reducir el ruido. El borrado es usado en los pasos de pre-procesamiento para remover pequeños detalles de la imagen previa a la extracción de objetos de la misma (22).

  El filtro de suavizado atenúa las variaciones de la intensidad luminosa en la vecindad de un píxel, por lo que el filtro de suavizado es tan solo el promedio de los píxeles contenidos en la vecindad de la máscara del filtro.

El modelo del kernel para este tipo de filtros es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} a & d & c \\ b & x & b \\ c & d & a \end{bmatrix}$$

Donde a, b, c y d son enteros positivos y x puede tomar el valor de 0 ó 1. Como todos los coeficientes en este kernel son positivos, cada píxel central se convierte en el promedio ponderado de sus vecinos. Ej.:

$$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

En la imagen 2-41 podemos ver el efecto de suavizado del kernel propuesto.

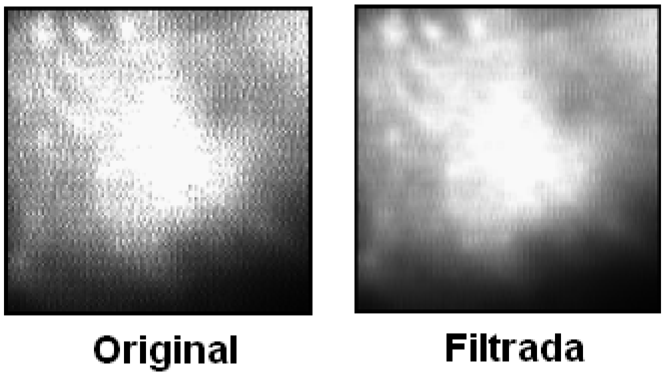


Imagen 2-41 Resultados de aplicar filtro de Suavizado (21)

- **Filtro Gaussiano .-** Un filtro Gaussiano atenúa las variaciones de la intensidad luminosa en la vecindad de un píxel. Se caracteriza por suavizar la forma de los objetos y atenuar los detalles. Es similar a un filtro de suavizado; pero su efecto de difuminado es más tenue, presenta una simetría circular, todas las líneas y bordes son tratados de la misma forma.

  El modelo del kernel para este tipo de filtros es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} a & d & c \\ b & x & b \\ c & d & a \end{bmatrix}$$

Donde a, b, c y d son enteros y x debe ser mayor a 1. En su conjunto los valores del kernel deben ser los más aproximados a los valores de la curva Gaussiana. Cómo construir un filtro que cumpla estas características, para eso se recurre al triángulo de Pascal, el cual puede ser observado en la imagen 2-42.

Index N	Coefficients	Sum of coefficients = 2^N
0	1	1
1	1 1	2
2	1 2 1	4
3	1 3 3 1	8
4	1 4 6 4 1	16
5	1 5 10 10 5 1	32
6	1 6 15 20 15 6 1	64
7	1 7 21 35 35 21 7 1	128
8	1 8 28 56 70 56 35 8 1	256
9	1 9 36 84 126 126 84 36 9 1	512
10	1 10 45 120 210 252 210 120 45 10 1	1024
11	1 11 55 165 330 462 462 330 165 55 11 1	2048

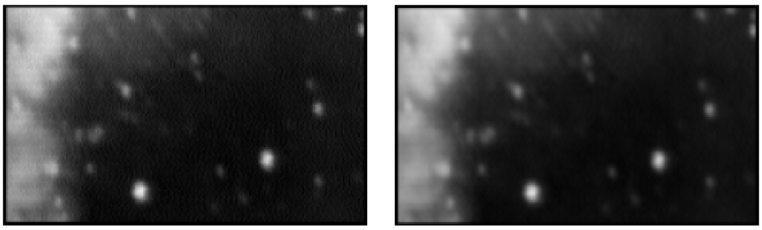
Imagen 2-42 Triángulo de Pascal (20)

Por ejemplo si se desea un filtro gaussiano 3x3 se hace la multiplicación de un vector 3x1 por otro vector 1x3. Se busca en el triangulo de Pascal la fila de coeficientes que tenga tres elementos y se procede a multiplicar.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

La descomposición de una matriz gaussiana como el producto de dos vectores, representa una gran ventaja al momento de optimizar el tiempo de ejecución de los algoritmos; es más rápido multiplicar matrices (imagen) por vectores (descomposición del filtro gaussiano) que matriz por otra matriz (imagen por el kernel del filtro gaussiano) (24).

La imagen 2-43 muestra el resultado de aplicar un filtro gaussiano.



Original **Filtrada**

Imagen 2-43 Resultado de filtro gaussiano (21)

2.3 Detección de Bordes

En el análisis de imágenes, la detección de bordes es una de las operaciones más usadas; y existe una amplia gama de algoritmos y técnicas cuyo propósito es el detectar y mejorar los bordes. Porqué es tan importante la detección de bordes, simplemente los bordes forman el esbozo de un objeto; y si los bordes pueden ser identificados de manera precisa, esto permitirá realizar operaciones más complejas como segmentación de la imagen, análisis de partículas, reconocimiento de patrones.

Para poder comprender mejor los diferentes algoritmos que se presentarán en esta sección, es prudente tener en claro ciertas definiciones y conceptos básicos (25).

Definición de Borde y Modelo Matemático

El borde se define como una frontera entre un objeto y el fondo, o el límite entre objetos que se traslapan. El borde es el cambio significativo de los valores de la escala de grises entre píxeles adyacentes. En la imagen 2-44 se puede entender de manera gráfica la definición propuesta, existen tres zonas cuya tonalidad difiere del fondo de la imagen, y dos de esas zonas se superponen (21).

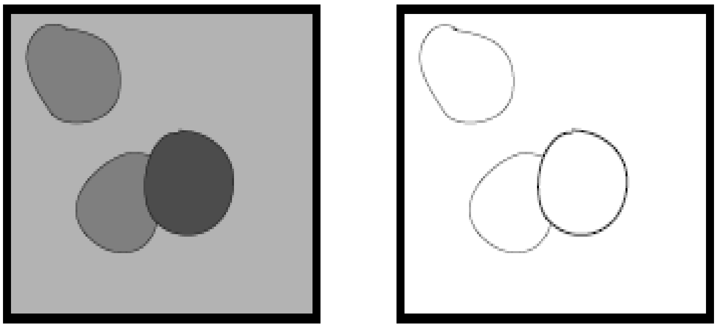


Imagen 2-44 Definición de borde de imagen (25)

Existen dos procesos que se encuentran claramente vinculados: el realce de bordes y la detección de bordes. El realce de bordes es la etapa del proceso que se encarga de incrementar el contraste en las zonas donde existen variaciones de intensidad, para ello se utilizan matrices de procesamiento como las propuestas en la sección 2.2.5.1 Mientras que la detección de bordes es el proceso de localizar los píxeles limitantes.

La representación ideal de un borde es similar a tener una función escalón en donde existen dos valores claramente definidos. El problema de este modelo es que no considera las variaciones paulatinas de la escala de grises, la tasa de muestreo, la calidad del sistema de adquisición de imágenes, mucho menos la presencia del ruido. En la imagen 2-45 podemos ver que este modelo asume que los valores de los píxeles cambian drásticamente del negro al blanco.

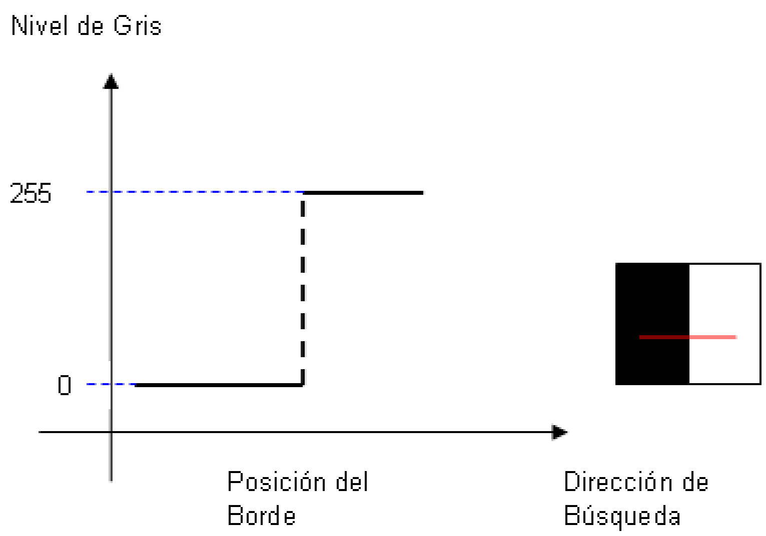


Imagen 2-45 Representación ideal del borde (25)

Existe otro modelo de representación matemática que se adapta mejor a la realidad de los análisis, este propone visualizar el cambio de intensidad en los pixeles como una función rampa. En la imagen 2-46 podemos visualizar el modelo propuesto, en donde la variación del blanco al negro se da a través de franjas de color gris.

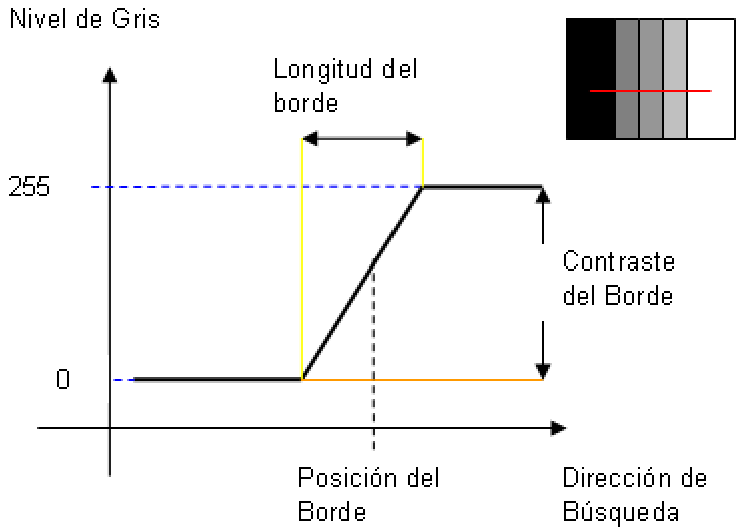


Imagen 2-46 Representación aproximada del borde (25)

Como se pude apreciar en el modelo propuesto, la pendiente de la rampa es inversamente proporcional al grado de atenuación del borde, lo cual guarda relación con el hecho de que los bordes atenuados son mas anchos mientras que los bordes remarcados son más finos (22).

Método de Detección de Bordes

La detección de bordes en una imagen se realiza a través del empleo de derivadas de primer y segundo orden. Observe la imagen 2-47 para que pueda tener una mejor idea del uso de las derivadas.

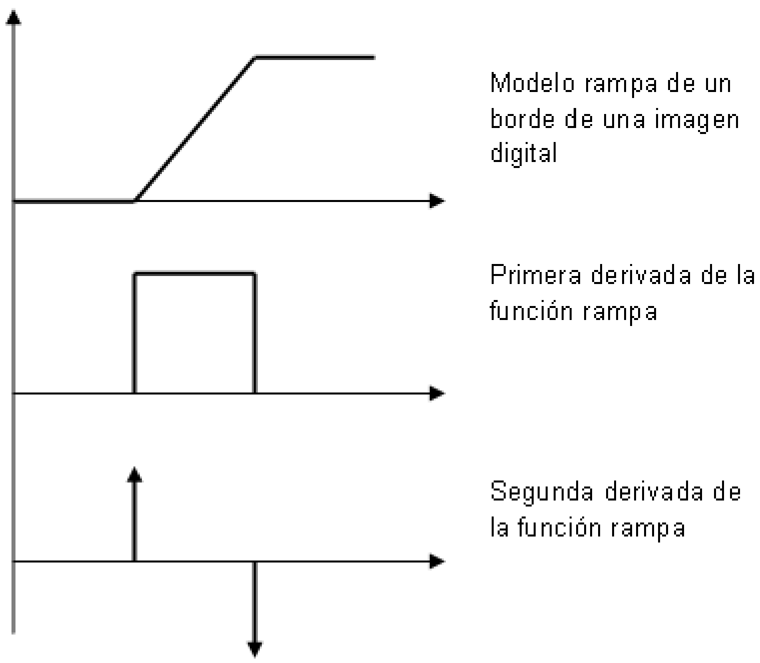


Imagen 2-47 Detección de bordes (25)

La magnitud de la primera derivada se usa para determinar la presencia de un borde en un punto de la imagen, es decir para determinar si el punto se encuentra en la rampa. De la misma manera la segunda derivada se usa para determinar si el píxel se encuentra en el lado oscuro o claro del borde. La segunda derivada trae consigo otras características como: produce dos valores por cada borde, una línea imaginaria que una el extremo positivo y negativo nos dará el punto medio del borde.

NI Vision proporciona dos métodos de detección de bordes, ambos métodos calculan la intensidad de los pixeles a lo largo de un línea, para determinar si la línea atraviesa o no un borde. Los métodos proporcionados por NI Vision son:

- Detección simple del borde.
- Detección avanzada del borde.

La detección simple consiste en tomar los valores de todos los pixeles que se encuentran en la línea, establecer un valor de umbral con una histéresis que nos permita identificar el valor de inicio y fin del borde.

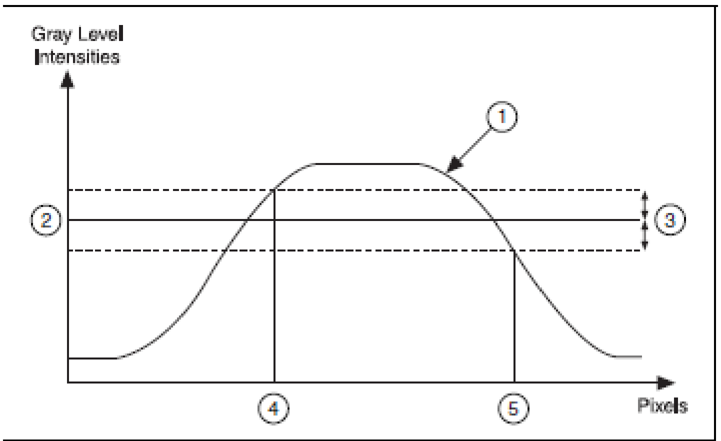


Imagen 2-48 Modelo de Detección Simple del Borde (21)

En la imagen 2-48 se puede observar la forma de determinación de los bordes: se recopila la información de los valores de los pixeles a lo largo del perfil que se encuentra analizando (1), se establece un valor de umbral (2), se establece un valor de histéresis para determinar el inicio y fin del borde (3) y finalmente se determina cuales son los píxeles de inicio y fin del borde (4 y 5).

Este método funciona muy bien cuando se encuentra poco ruido en la imagen y existe una clara demarcación entre el objeto y el fondo.

La detección avanzada del borde se basa en el uso de un kernel (matriz de convolución) para calcular la intensidad del borde. El realizar la convolución del kernel sobre los pixeles del perfil es una aproximación de la transformada de Fourier de la primera derivada (22).

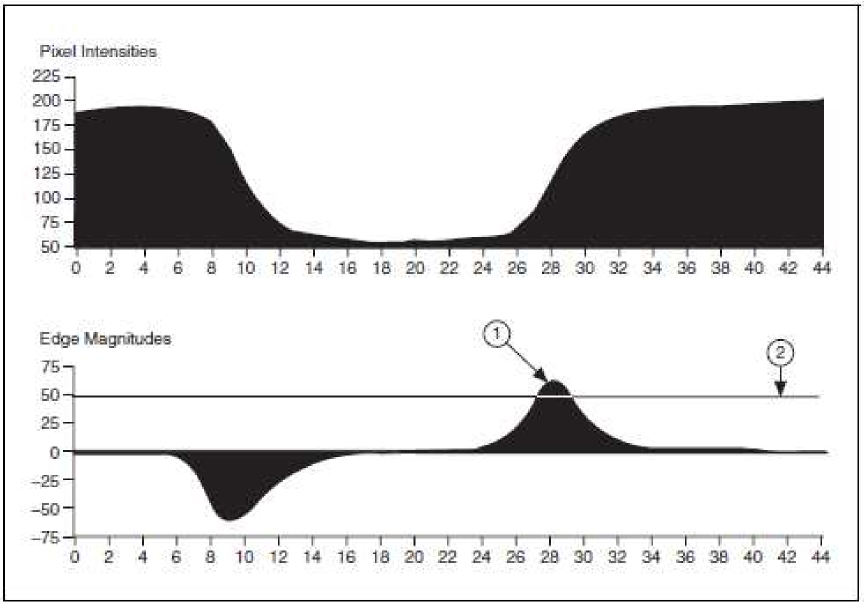


Imagen 2-49 Modelo de Detección Avanzada del Borde (21)

En la imagen 2-49 se ven dos gráficas: intensidad de pixeles vs. posición y magnitud de borde vs. posición. La primera gráfica se realizó leyendo los valores de la escala de grises de cada uno de los pixeles del perfil. Mientras que el segundo se obtuvo aplicando un kernel a los pixeles del perfil, aquí se establece un valor de umbral (2) y se determina la posición del borde (1).

2.4 Segmentación

La segmentación es el proceso de separar objetos del fondo, separarlos entre ellos de tal manera que cada objeto pueda ser identificado y caracterizado, es decir subdivide la imagen en sus regiones constituyentes. El nivel de la segmentación depende del problema a ser resuelto, la segmentación debe detenerse cuando la región de interés haya sido aislada, de la precisión de este proceso depende el éxito o fracaso de los procedimientos de análisis computarizados, como el análisis de partículas.

Los algoritmos de segmentación se basan en dos propiedades de los valores de intensidad de los píxeles: la discontinuidad y la similitud. En base a la discontinuidad se pueden detectar los bordes, tema que ha sido tratado en la sección 2.3. Con la propiedad de similitud se puede particionar la imagen en regiones similares en base a un criterio determinado. Ejemplos de procesos que se enmarcan en esta propiedad son: umbral, región de crecimiento, región de división y combinación.

En este capítulo se presentarán dos métodos bastante usados: segmentación por umbral y morfológica.

Segmentación por Umbral

Este proceso se encarga de segmentar una imagen en base al nivel de intensidad de los píxeles. Debido a su simplicidad es uno de los métodos de segmentación más usados en el procesamiento digital de imágenes. El resultado de este proceso es una imagen binaria, se asigna uno a los píxeles de interés y cero al fondo y/o demás regiones que no son de interés para el análisis.

La segmentación por umbral es uno de los primero pasos en una variedad de aplicaciones de visión artificial como análisis de partículas, plantillas de comparación, clasificación de partículas binarias. Cómo saber que nivel de intensidad se debe usar como umbral es el detalle más importante que se debe tomar en cuenta.

La principal herramienta que se usa para escoger el mejor umbral es un histograma de los niveles de intensidad de los píxeles, como se muestra en la imagen 2-50, allí se puede apreciar claramente que existen dos agrupaciones de tonalidades y que se podría tomar sin problema como un umbral la intensidad 166 (recordemos que estamos en escala de gris y las intensidades van de 0 a 255).

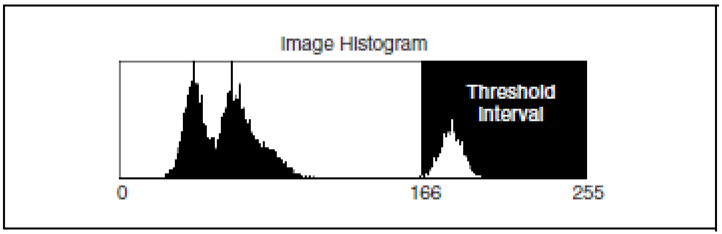


Imagen 2-50 Histograma de intensidad de píxeles (21)

En la imagen 2-51 podemos ver la imagen original y el resultado después de haber aplicado una segmentación por umbral, el intervalo de umbral marcado en la imagen 2-50 son los pixeles de intensidad 166 a 255, es decir las partes más brillantes de la imagen.

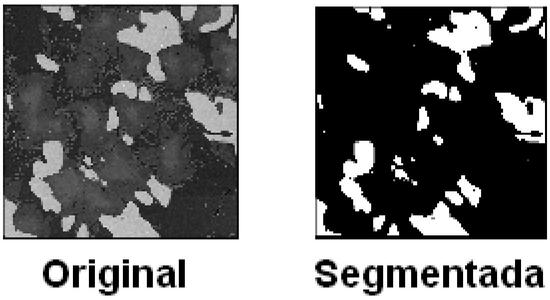


Imagen 2-51 Ejemplo de segmentación de imágenes (21)

El umbral de la segmentación puede establecerse de dos maneras: manual y automática; la segmentación manual no es conveniente en procesos automatizados, ya que la calidad de la imagen y el ruido tienen una gran influencia en la segmentación y establecer un valor fijo para todas las imágenes no es lo más conveniente.

NI Vision proporciona métodos estadísticos que determinan el mejor umbral en base al análisis del histograma de intensidades de la imagen. Estas técnicas son adecuadas para condiciones en las cuales la intensidad luminosa varía de imagen a imagen, estos son: entropía, intervarianza, métrica, momentos y agrupación.

Segmentación Morfológica

En muchas ocasiones la segmentación basada en umbrales o detección de bordes no es suficiente porque la calidad de la imagen no es la adecuada, o porque los objetos se superponen. La segmentación por umbral funciona adecuadamente cuando los píxeles de los objetos de interés tienen un valor de intensidad que difiere significativamente del fondo. Cuando los objetos se traslapan o tienen tonalidades que no permiten distinguirlos del fondo, se recurre a la segmentación morfológica.

La segmentación morfológica divide la imagen en base a su topografía, y este proceso contempla los siguientes pasos:

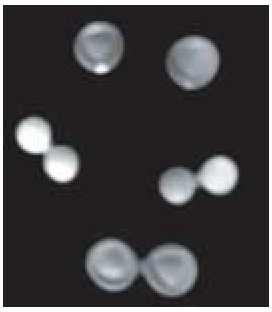


Imagen 2-52 Antes de la segmentación morfológica (21)

1. Usar una segmentación de umbral para crear una imagen binaria. La imagen 2-53 muestra que se han utilizado umbrales para resaltar las zonas de interés, donde no se aprecian límites entre los objetos.

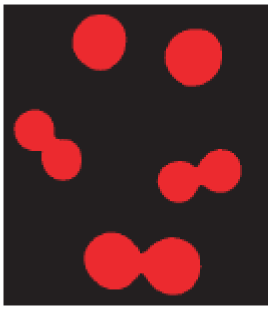


Imagen 2-53 Paso 1: segmentación por umbral (21)

2. Si es necesario usar operaciones binarias morfológicas para mejorar la calidad de la imagen.

3. Usar la función de Danielsson para transformar una imagen binaria en un mapa de distancias en escala de grises, el resultado se puede observar en la imagen 2-54.

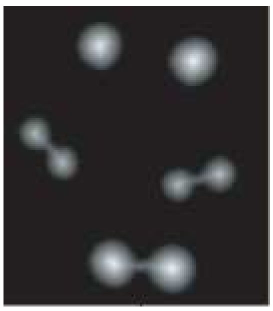


Imagen 2-54 Paso 3: mapa de distancias en escala de gris (21)

4. Realizar una transformación de líneas divisoras de agua en el mapa de distancias para encontrar las líneas de separación. El resultado final de este paso se observa en la imagen 2-55.

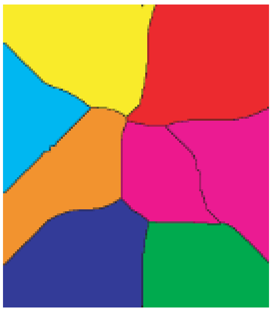


Imagen 2-55 Paso 4: transformación de líneas divisoras de agua (21)

5. Superponer la imagen con líneas divisoras a la imagen original. En la imagen 2-56 se tiene el resultado final, donde si se pueden distinguir los diferentes objetos de la imagen.

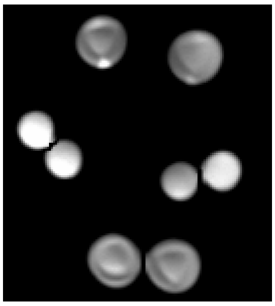


Imagen 2-56 Resultado de aplicar la segmentación morfológica (21)

Del proceso expuesto en las líneas anteriores, el paso que más llame la atención sin duda ha de ser el usar líneas divisoras de agua. El concepto de líneas divisoras de agua se basa en visualizar una imagen en tres dimensiones: dos coordenadas espaciales versus la escala de grises. La manera es que se determina la profundidad de cada uno de los cuerpos en la imagen es a través del valor de intensidad de los píxeles; mientras más elevado sea el valor, más profundo será el agujero que representará al objeto para el análisis de líneas divisoras de agua.

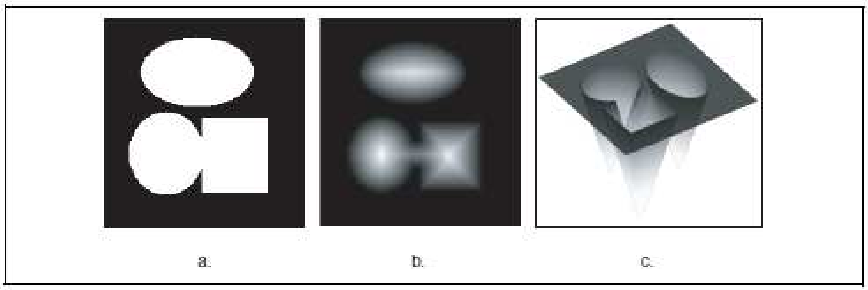
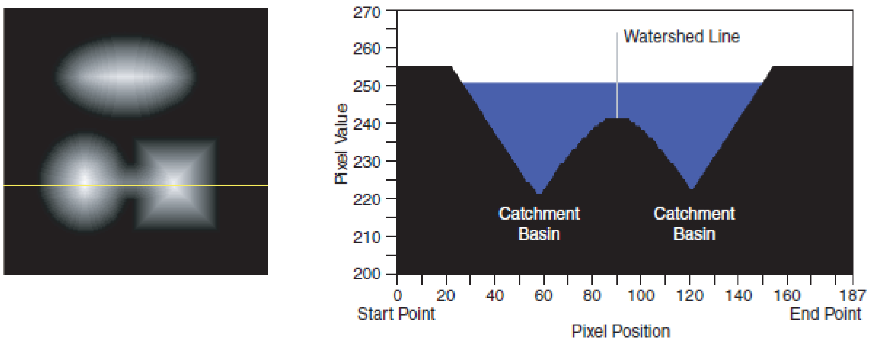


Imagen 2-57 Visualización de las líneas divisoras de agua (21)

En la imagen 2-57 parte (a) se observa la imagen binaria, en la parte (b) el resultado de aplicar la función de Danielsson y en la parte (c) se visualiza los objetos de la imagen como si fueran agujeros, semejantes a cuencas hidrográficas, tres cuencas en total, de las cuales dos se encuentran contiguas.

Imagine que las cuencas se encuentran secas, no tienen agua, y comienzan a llenarse, todas se llenan a la misma velocidad formando lagos. Al principio serán tres lagos, pero conforme sube el nivel del agua, se llegará a un punto en donde el agua empezará a rebosarse, para evitar esto se debe construir diques (líneas divisoras de agua).



a. b.

Imagen 2-58 Construcción de la línea divisora de agua (21)

En la imagen 2-58 parte (a) podemos observar nuevamente el mapa de distancias obtenido a través de la función de Danielsson, se puede observar una línea amarilla que nos indica el corte seccional donde nos enfocaremos. En la parte (b) se aprecian las cuencas, las cuales al inicio forman dos lagos pero llega un nivel en el que ambas se convierten en una sola, para evitar esto se construye una línea divisora de agua.

Los procedimientos y métodos hasta aquí discutidos sólo han ayudado a mejorar la calidad de la imagen y resaltar los objetos de interés. De aquí el análisis puede tomar dos caminos: analizar la distribución de sus píxeles o buscar un patrón.

2.5 Extracción de Características

La segmentación era el proceso que se encargaba de resaltar los objetos de interés del fondo de la imagen, y nos daba como resultado una imagen binaria. De esta imagen binaria se puede obtener varías características de los objetos, tales como perímetro, área, agujeros en las partículas, longitudes, etc.

Previo a la medición de las partículas, existe una etapa de mejoramiento de los píxeles conocida como operaciones binarias morfológicas. Debido a que la segmentación por umbral es un proceso subjetivo, la imagen resultante binaria puede contener información innecesaria, como partículas producto del ruido, partículas que topan los bordes de la imagen, partículas en contacto con otras partículas, y partículas con fronteras desiguales.

Operaciones Binarias Morfológicas

Los operadores morfológicos cambian la forma de las partículas que procesan en base al número de sus vecinos y sus valores. Se define al vecino como un píxel cuyo valor afecta los valores de los píxeles cercanos durante ciertas funciones de procesamientos de imágenes.

Después de identificar un conjunto de píxeles que pertenecían a un mismo rango de intensidades en la segmentación, el siguiente paso es agrupar los píxeles en partículas. El proceso de agrupación de píxeles introduce el término conectividad. NI Vision trabaja con conectividad-4 y conectividad-8, en la imagen 2-59 se observan dichas matrices.

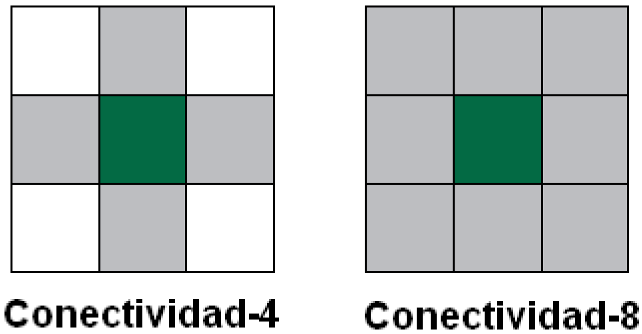


Imagen 2-59 Matrices de conectividad (21)

Conectividad-4 considera que dos píxeles son parte de la misma partícula si son verticalmente u horizontalmente adyacentes. En cambio, con conectividad-8 se considera que dos píxeles son parte de la misma partícula si son verticalmente, horizontalmente o diagonalmente adyacentes. En la imagen 2-60 la conectividad-4 detectó 4 partículas; en cambio en la imagen 2-61 sobre la misma imagen se detectó una sola partícula.

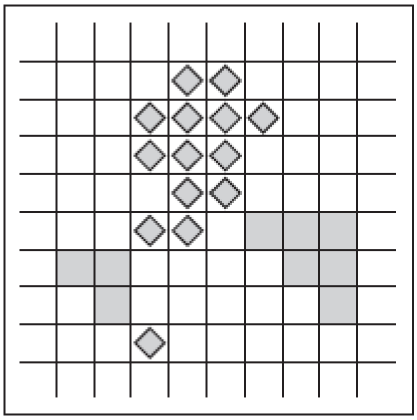


Imagen 2-60 Partículas con conectividad-4 (21)

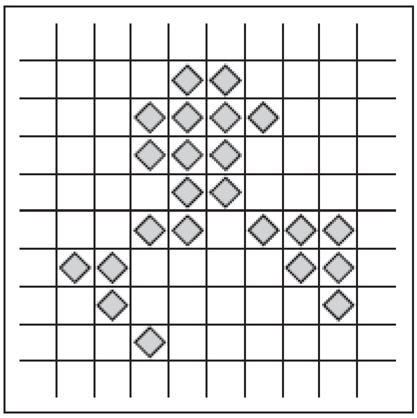


Imagen 2-61 Partícula con conectividad-8 (21)

NI Vision presenta varias operaciones morfológicas y las dividen en dos grupos: simples y avanzadas.

Las operaciones morfológicas simples que presenta NI Vision son: erosión, dilatación, apertura, cierre, gradiente interno, gradiente externo, adelgazamiento, engrosamiento. Se recomienda su uso para expandir o reducir partículas, atenuar los bordes de los objetos, hallar los bordes internos y externos de partículas, localizar configuraciones particulares de los píxeles o preparar las partículas para análisis cuantitativos.

Las operaciones avanzadas que proporciona NI Vision son: eliminación de bordes, relleno de agujeros, filtro pasa bajos, filtro pasa altos, separación, segmentación. Se usan estas operaciones para rellenar agujeros en las partículas, remover partículas que topan el borde de la imagen, remover partículas innecesarias grandes o pequeñas.

Medición de Partículas

Se define a una partícula como un conjunto de píxeles contiguos diferente de cero en una imagen binaria. Las partículas pueden ser caracterizadas por medio de mediciones relacionadas con sus atributos, tales como la ubicación, área y forma.

Además de hacer las mediciones convencionales de los píxeles, las funciones de mediciones de partículas de NI Vision son capaces de usar información de calibración para dar las medidas aproximadas a valores del mundo real. Se considera que un píxel tiene un área de una unidad cuadrada y el píxel se encuentra en el centro, con las esquinas ubicadas a más/menos la mitad de una unidad desde el centro del píxel.

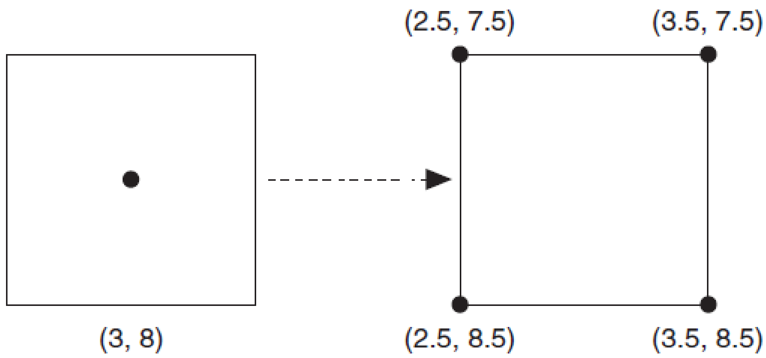


Imagen 2-62 El píxel y su área (21)

En la siguiente tabla I enlista y describe algunas de las mediciones de partículas que se puede realizar con NI Vision.

Tabla I: NI Vision: mediciones de partículas

Concepto	Definición
Rectángulo envolvente	Es el rectángulo de menor tamaño de lados paralelos a los ejes x e y, que encierran a una partícula.
Perímetro	Es la longitud de la frontera de una región.
Agujero de la partícula	Región de píxeles de valor igual a cero, rodeados completamente por pixeles diferentes de cero.
Ángulo	Grados de rotación medida en sentido antihorario desde el eje X, el valor está entre 0º y 180º.

Rectángulo equivalente	Rectángulo con el mismo perímetro y área que la partícula analizada.
Elipse equivalente	Elipse con el mismo perímetro y área que la partícula analizada.
Máxima longitud Feret	Segmento de línea que une los dos puntos más apartados del perímetro
Momento de Inercia	Provee una representación de la distribución de las partículas respecto al centro de masa. Los momentos de inercia son invariantes en el desplazamiento.

En la imagen 2-63 se muestra el concepto de rectángulo envolvente mientras que en la imagen 2-64 se aprecia la distancia máxima Feret.

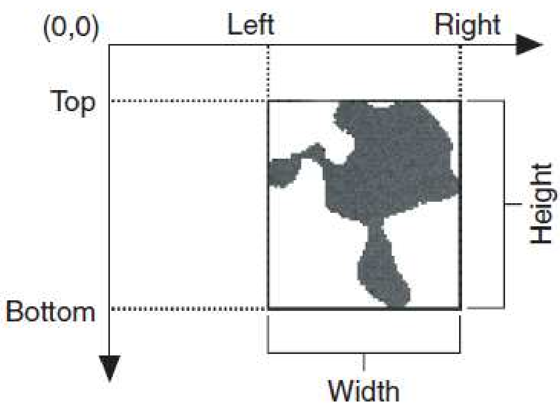


Imagen 2-63 Rectángulo envolvente (21)

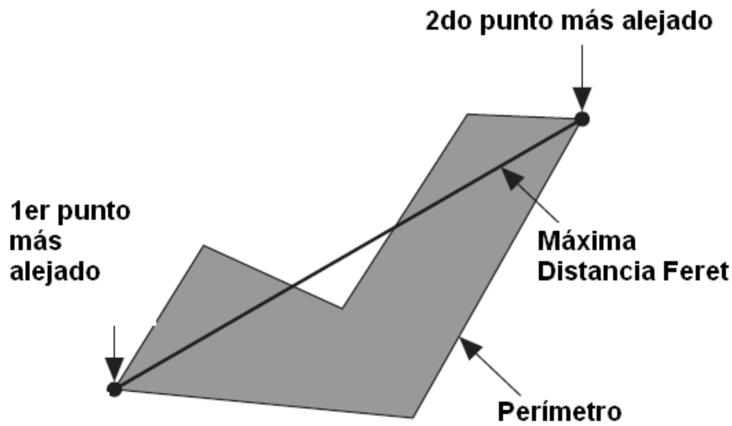


Imagen 2-64 Máxima distancia Feret (21)

2.6 Reconocimiento y Localización

Como parte final de este capítulo introductorio al procesamiento de imágenes, se presentan las técnicas relacionadas con el reconocimiento de objetos o búsqueda de patrones (Pattern Matching en Inglés). La búsqueda de patrones localiza regiones en una imagen que concuerdan con un modelo de referencia conocido, patrón, plantilla o simplemente modelo, el cual puede ser llevado a cabo en imágenes a color o en escala de grises.

Aplicaciones de la Búsqueda de patrones

Los algoritmos de búsqueda de patrones son algunas de las funciones más importantes de la visión artificial por la variedad de aplicaciones en los que pueden ser usados. Entre las aplicaciones donde la búsqueda de patrones desempeña un papel fundamental se tiene:

- **Alineación**.- Se determina la posición y orientación de un objeto conocido en base a la localización de puntos de referencias del objeto.

- **Calibración**.- En muchas aplicaciones es necesario medir longitud, diámetros, ángulos y otras dimensiones críticas; si las mediciones caen fuera de los niveles de tolerancia preestablecidos, el objeto es rechazado. Para poder medir el objeto es necesario localizarlo en la imagen, de ahí la importancia del proceso de búsqueda de patrones.

- **Inspección**.- Detectar fallas simples, como piezas faltantes o impresiones ilegibles.

Características de un algoritmo de búsqueda de patrones.

El cambio de ciertos factores como la orientación del objeto, el cambio de escala, o las variaciones de la intensidad luminosa no deben afectar el proceso de búsqueda de patrones, por lo cual el algoritmo de búsqueda debe funcionar correctamente en las siguientes situaciones:

- Variaciones en la orientación o escala del objeto respecto de la plantilla. En la imagen 2-65 en la parte (a) se tiene la plantilla, en la imagen (b) se localizó los objetos, en (c) también a pesar de tener una orientación diferente y finalmente en la parte (d) se encontró el modelo a pesar de ser de mayor tamaño que en las capturas (b) y (c).

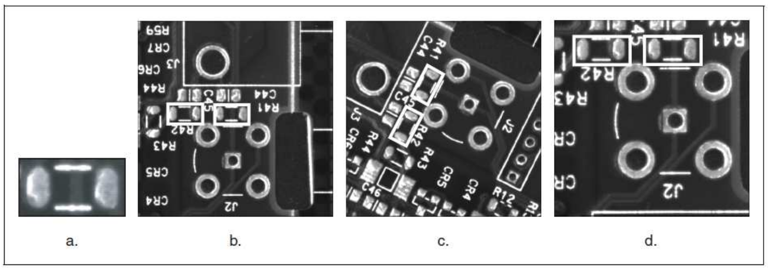
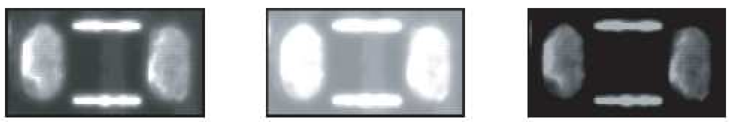


Imagen 2-65 Variación en la orientación (21)

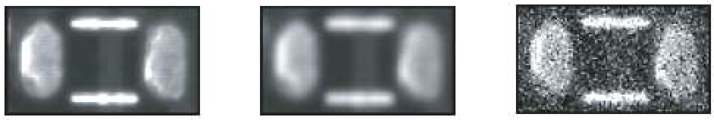
- Variaciones uniformes en la iluminación del objeto. En la imagen 2-66 se observa el mismo objeto bajo diferentes condiciones luminosas.



a. b. c.

Imagen 2-66 Variación en la iluminación (21)

- Presencia de ruido y/o atenuación de la imagen. En la imagen 2-67 se observa el objeto bajo la influencia de la atenuación y el ruido.



a. b. c.

Imagen 2-67 Presencia de ruido y/o atenuación (21)

Técnicas de Búsqueda de Patrones

Entre las técnicas utilizadas por la búsqueda de patrones del paquete de NI Vision de LabVIEW™ tenemos:

- **Correlación cruzada normalizada**.- Es el método más común para hallar patrones en una imagen, debido a que requiere una gran número de multiplicaciones posee un elevado tiempo de ejecución.

- **Búsqueda piramidal**.- Este método tanto la imagen como la plantilla son muestreadas a una menor resolución, se realiza la búsqueda y sólo las áreas de mayor coincidencia son consideradas como áreas coincidentes.

- **Búsqueda invariante en la escala y rotación**.- La correlación cruzada es capaz de detectar objetos del mismo tamaño del patrón con 5º a 10º de rotación. Este proceso es mucho más complejo y se realiza usando FFT y multiplicaciones en el dominio de la frecuencia.

- **Entendimiento de la imagen**.- Debido a que la mayoría de las imágenes contienen información redundante, utilizar toda la información de la imagen para que coincida con el patrón es insensible en el tiempo e impreciso. Surge como una solución realizar un muestreo inteligente de la imagen, en donde se reduce la información redundante y se enfatiza en la característica para permitir eficiencia y robustez en la aplicación de la correlación cruzada (22).

CAPITULO 3

3. LABVIEW Y DSPIC'S

Las técnicas para el procesamiento digital de imágenes, cuentan en la actualidad con una amplia gama de aplicaciones en diversos campos científicos, comerciales y en el esfuerzo técnico. En el desarrollo se presentará una breve introducción a la utilización del software, con la finalidad de realizar el análisis, inspección y procesamiento digital de imágenes; se intentará demostrar lo poderosa y útil de esta herramienta, para la creación de algoritmos orientados al procesamiento de las imágenes digitales. Además, se tomarán consideraciones respecto al manejo y utilización de los dsPics en especial los relacionados con la familia 30F4011.

3.1 Introducción al Software de captura de imágenes

National Instruments (NI) ha sido el líder en visión artificial y procesamiento de imágenes por cerca de una década. El software de visión de NI se encuentra disponible en dos paquetes: el módulo de desarrollo de visión (NI Vision Development Module) y el constructor de visión para inspección automatizada (NI Vision Builder for Automated Inspection) (26).

El presente proyecto trabajó usando el modulo de desarrollo de Visión debido a que posee cientos de funciones de visión que se puede usar con LabVIEW, NI LabWindows/CVI, C/C++ o Visual Basic, lo cual permite desarrollar poderosas aplicaciones de inspección, alineación, identificación y mediciones.

A continuación se mencionan varias de las razones para seleccionar el software de NI como el más adecuado, debido a que se pueden escoger herramientas basadas en OpenCV que suelen resultar atractivas por el hecho de ser programas de código abierto.

- Elección de Cámara: el software y hardware de NI es compatible con cientos de cámaras abarcando desde cámaras analógicas de bajo costo hasta las de escaneo de líneas de alta velocidad.

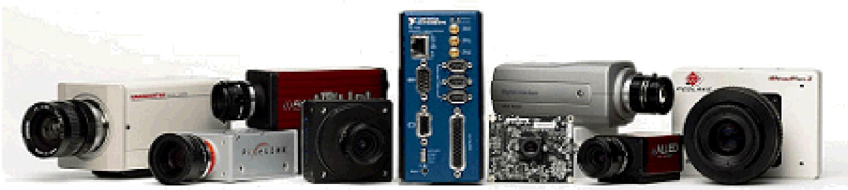


Imagen 3-1 Cámaras de video (27)

- Escalabilidad del hardware: Así como escoger la cámara correcta es crucial para cualquier aplicación, la escalabilidad es otra consideración importante. Debido a que la tecnología en el desarrollo de cámaras avanza rápidamente, algún día se deseará cambiar la cámara por una de mejores características. NI proporciona varios paquetes (NI-IMAQ drivers) para cambiar la cámara sin necesidad de cambiar el software.

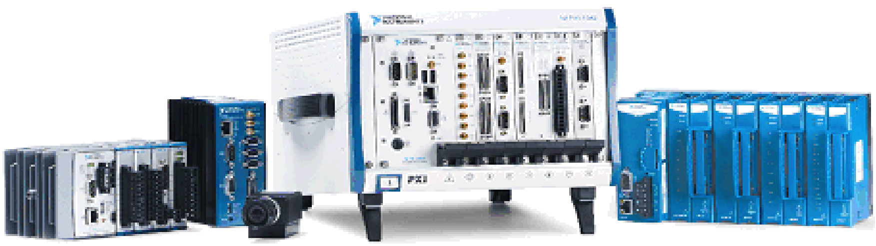


Imagen 3-2 Tarjetas de adquisición de datos de NI (27)

- Software de uso fácil: programar una aplicación de visión suele resultar algo complejo, pero NI proporciona una herramienta conocida como el Asistente de Visión (Vision Assistant); el cual proporciona un ambiente para hacer prueba de diferentes funciones de visión para observar cómo trabaja la aplicación y la eficiencia del programa.

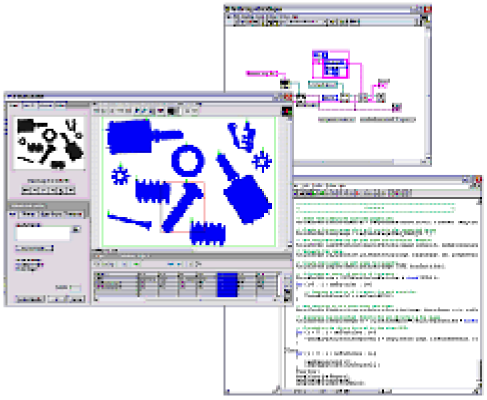


Imagen 3-3 Asistente de Visión de NI (27)

- Algoritmos de amplitud y precisión: Todas las funciones proporcionadas por el módulo de Desarrollo de Visión presentan la ventaja de utilizar precisión de subpíxeles para realizar interpolaciones, medir distancias y demás medidas que van desde el décimo de píxel.

- Desempeño del algoritmo: NI Vision Software está altamente optimizado para maximizar el rendimiento de cada posible fuente, resultando ser un software que rivaliza con otros paquetes de alta velocidad a nivel mundial. En la tabla II se muestran algunas comparaciones de velocidad.

Tabla II: Comparación de NI Vision con otros programas

	Velocidad del Software de Visión de NI (ms.)	Velocidad del Software de Visión de otras compañías (ms.)	Aumento de la Velocidad de NI
Histograma	0.91	2.03	2.2X
Transformaciones Geométricas	3.1	10.3	3.3X
Morfología	1.8	5.9	3.3X
OCR	3.3	5.9	1.8X
Búsqueda Geométrica	93.0	149.8	1.6X
Clasificación de Objetos	7.5	-	-

Estas son las características que se han considerado importantes de destacar al momento de escoger el software para desarrollar la solución de nuestro proyecto. En las siguientes secciones se muestran ejemplos del uso de la herramienta de programación.

3.2 Adquisición y procesamiento de imágenes a través del paquete IMAQ

En esta sección se procederá a realizar una aclaración respecto al nombre IMAQ (Image Acquisition). Durante las versiones 6 y 7.1 de

LabVIEW se llamaba IMAQ Vision a la librería que poseía las funciones de procesamiento digital de imágenes y que permitían implementar las funcionalidades de una visión artificial; a partir de la versión 7.1.1 se procedió a llamar a esta librería NI Vision. Actualmente existe un paquete que se llama NI-IMAQ que contiene las librerías que controlan la adquisición de imágenes y los instaladores que permiten utilizar dispositivos de adquisición de imágenes de National Instruments o de estándares reconocidos como las cámaras IEEE (28).

En este proyecto de investigación se hace referencia a IMAQ Vision como si se tratase de NI Vision, que originalmente son lo mismo.

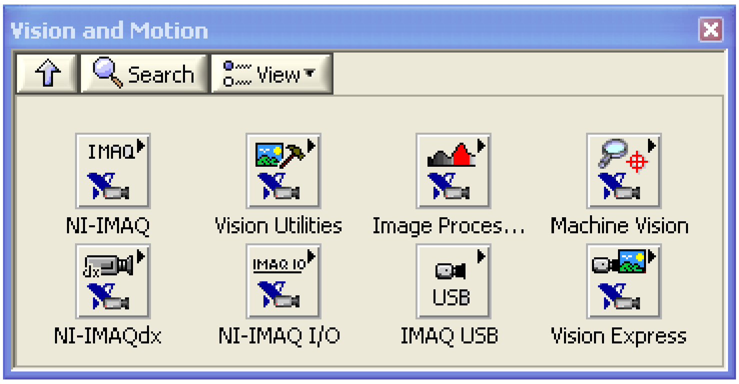


Imagen 3-4 Menú de Instrumentos Virtuales de Vision And Motion

El conjunto de librerías que nos facilita IMAQ Vision para el diagrama de bloques son las siguientes:

- **Ni-IMAQ.-** Posee los instrumentos virtuales (Virtual Instruments, VI) que establecen el sistema de adquisición y captura las imágenes (29).

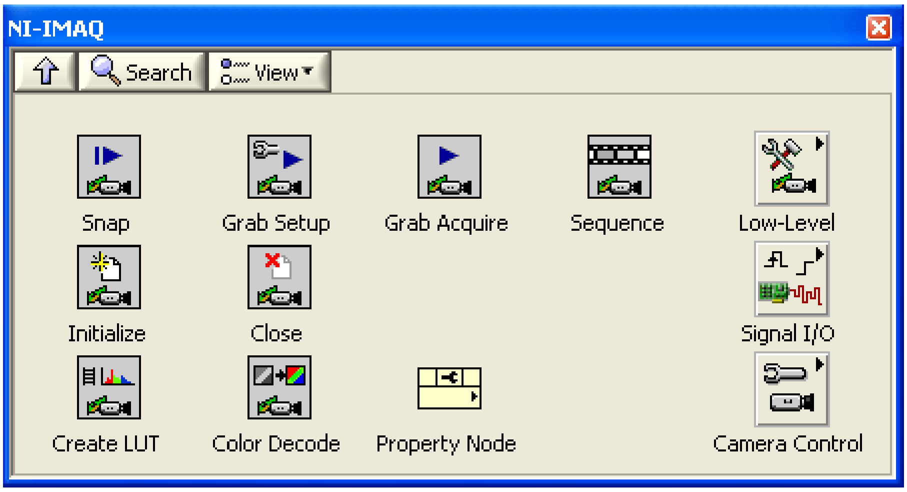


Imagen 3-5 Menú de NI-IMAQ

- **Vision Utilities.-** Proporciona los instrumentos virtuales que permiten crear y manipular imágenes en NI Vision, leer y escribir imágenes en diferentes formatos, establecer regiones de interés, manipular los píxeles, sobreponer líneas o rectángulos, calibrar para realizar conversiones de medidas de píxeles a medidas del mundo real (30).

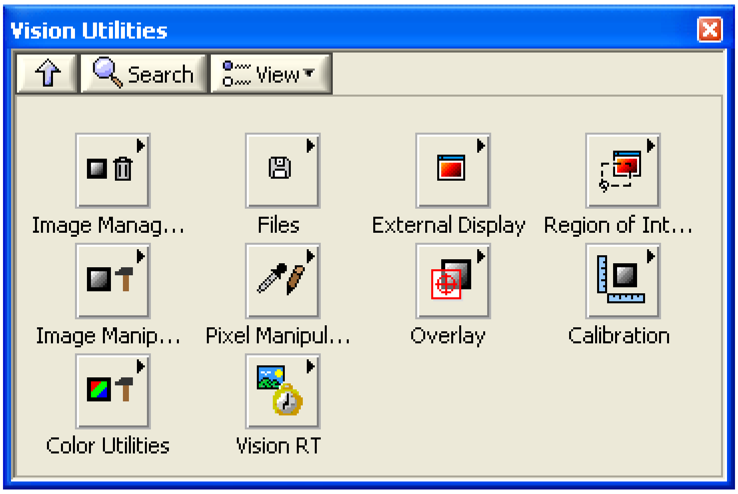


Imagen 3-6 Menú de Vision Utilities

- **Image Processing.-** Presenta un conjunto de instrumentos virtuales que se utilizan para analizar, filtrar y procesar imágenes de NI Vision (31).

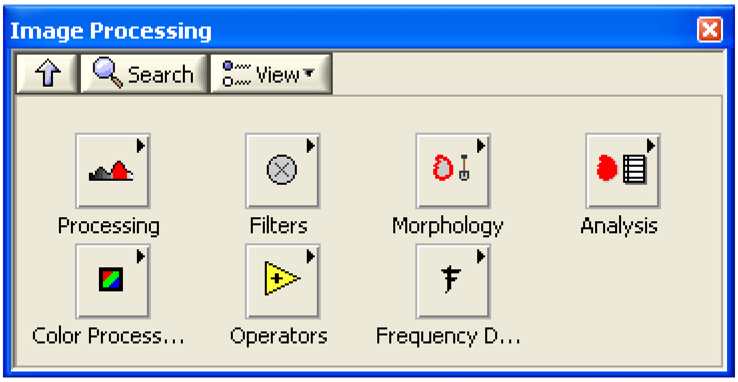


Imagen 3-7 Menú de Image Processing

- **Machine Vision.-** posee instrumentos virtuales que se utilizan en la visión artificial para realizar inspecciones de objetos, búsqueda de patrones, localización de bordes, análisis de partículas, selección dinámica de regiones de interés, etc.

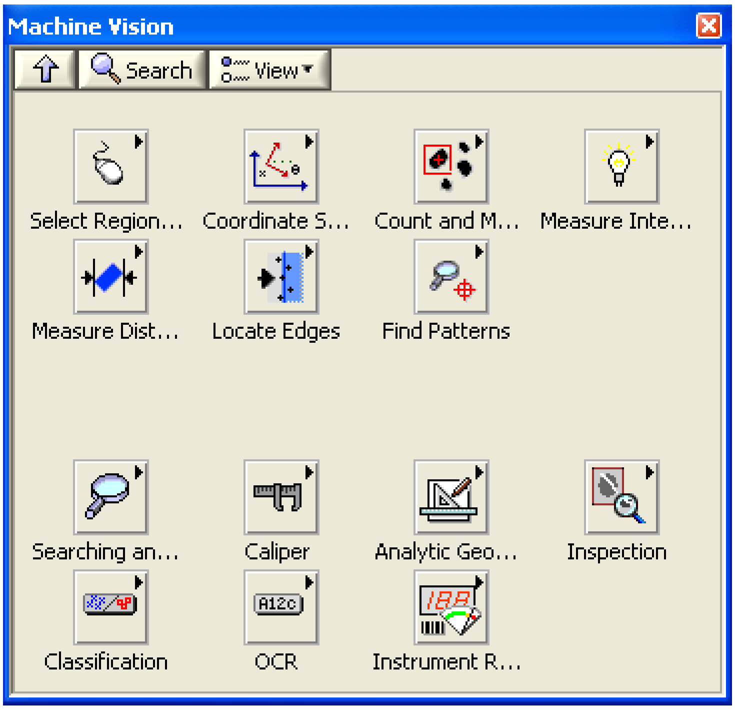


Imagen 3-8 Menú de Machine Vision

- **IMAQ USB**.- proporciona los instrumentos virtuales necesarios para establecer el funcionamiento y adquisición de imágenes a través de cámaras USB de bajo costo (32).

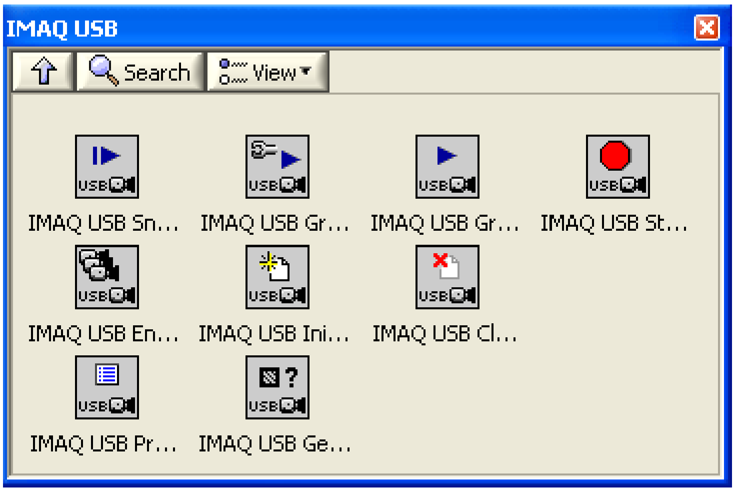


Imagen 3-9 Menú de IMAQ USB

En el panel frontal el conjunto de instrumentos virtuales que proporciona NI Vision se pueden observar en la imagen 3-10.

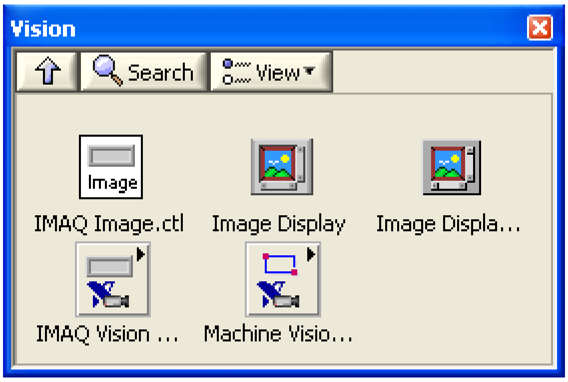


Imagen 3-10 Menú del Panel Frontal de Vision

Adquisición de Imágenes a través del paquete IMAQ

A continuación se presentan sencillos ejemplos sobre el manejo de IMAQ Vision para al adquisición y manejo de imágenes.

Administración de espacios de memoria

Los siguientes instrumentos virtuales se localizan en la librería Vision Utilities, en la sección Image Management.

Para que LabVIEW pueda manejar archivos gráficos o capturas debe reservar un espacio de memoria para su almacenamiento temporal; en este caso se usa IMAQ Create.

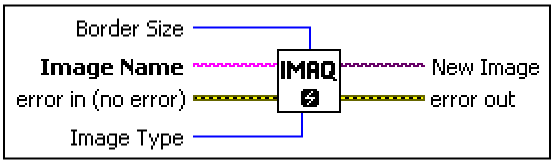


Imagen 3-11 IMAQ Create

Image Name, es la entrada más importante de este VI; en ella se proporciona el nombre asociado a la imagen, debe ser único. La entrada Border Size sirve para especificar el tamaño del borde, el cual se usa al momento de trabajar con matrices de convolución, por defecto el tamaño del Border Size es 3. El tipo de imagen (Image Type) se puede seleccionar entre escala de grises, color o compleja. La salida New Image, nos proporciona la referencia a la imagen, el cual se proporciona como entrada a las muchas funciones usadas por NI Vision (25).

En la imagen 3-12 se muestra el ejemplo para crear un espacio de memoria para trabajar con imágenes en formato RGB de 32 bits.

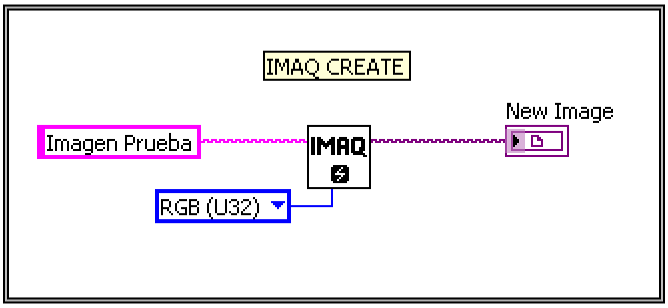


Imagen 3-12 Ejemplo de IMAQ Create

Así como es importante reservar localidades de memoria, también lo es liberar el espacio de memoria cuando ya no se utilizará más, para esto se usa el instrumento virtual IMAQ Dispose.

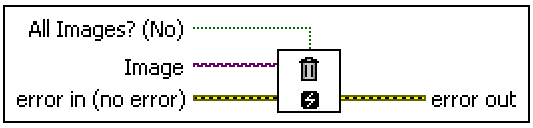


Imagen 3-13 IMAQ Dispose

Este VI puede destruir una imagen y liberar su espacio de memoria o el de todas las imágenes creadas. Para escoger destruir una imagen o todas las creadas previamente, se usa la entrada lógica binaria All Images, si la entrada es falsa solo se destruirá la imagen que se indica en la entrada Image, de lo contrario se destruirán todas.

En la imagen 3-14 se observa el uso de IMAQ Dispose para destruir una sola imagen.

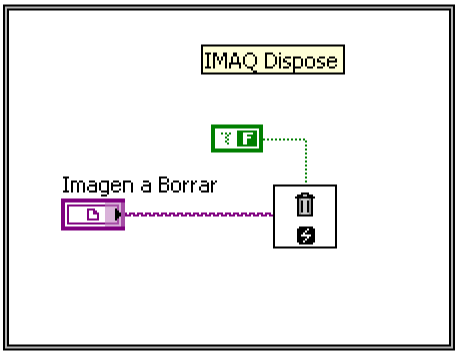


Imagen 3-14 Ejemplo de IMAQ Dispose

Otra función importante es IMAQ Copy, la cual nos permite sacar una copia de la información de una imagen en otra del mismo tipo. Uno de los propósitos de este VI es almacenar un copia original de la imagen antes de cualquier procesamiento y así poder comparar al final del proceso.

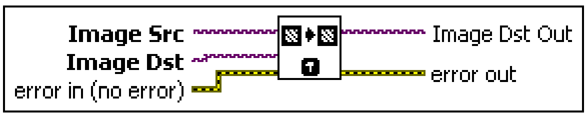


Imagen 3-15 IMAQ Copy

La entrada Image Src es la referencia a la imagen fuente a ser copiada, mientras que Image Dst es la referencia de la imagen donde se va a copiar. La salida Image Dst Out es la referencia de la imagen copiada de salida, la cual debe ser la misma que Image Dst.

En la imagen 3-16 se muestra un ejemplo del uso de este VI.

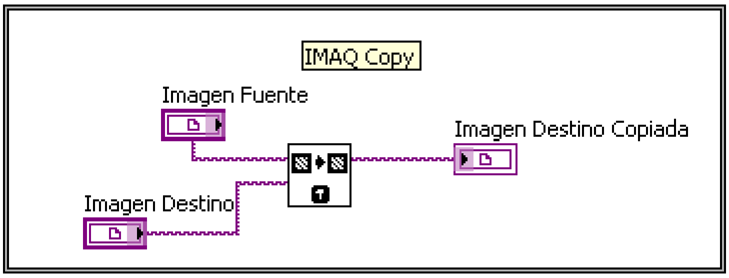


Imagen 3-16 Ejemplo de IMAQ Copy

Establecimiento y Configuración de la Cámara

A continuación mostraremos los instrumentos virtuales que permiten inicializar y detener la cámara, configurar las propiedades y conocer el nombre de la cámara conectada. Estos VIs se encuentran en la librería IMAQ USB (25).

- **IMAQ USB Enumerate Cameras.-** Crea un listado de todas las cámaras USB disponibles encontradas en el sistema que pueden ser inicializadas.

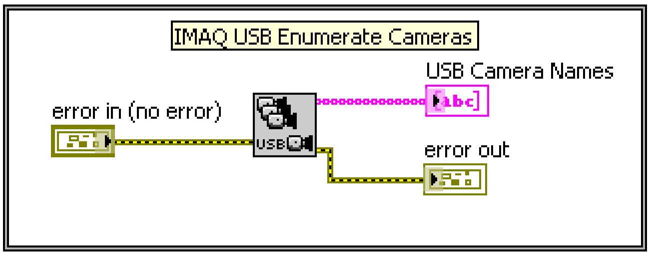


Imagen 3-17 IMAQ USB Enumerate Cameras

Una vez conectada la cámara USB a utilizar, y corriendo la configuración ubicada en la imagen 3-17. Se puede obtener los nombres de todas las cámaras conectadas en el computador y reconocidas por LabVIEW. El resultado se puede visualizar en el panel frontal, será algo parecido al de la imagen 3-18.

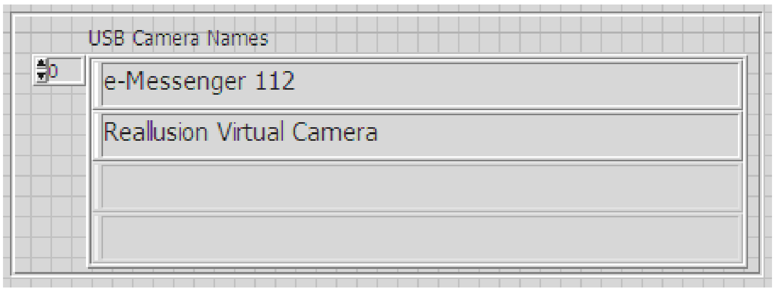


Imagen 3-18 Panel Frontal de IMAQ USB Enumerate Cameras

- **IMAQ USB Init.-** Realiza la creación de una sesión IMAQ USB, una vez que se le ha proporcionado el nombre de la cámara USB. Esta permite escoger el modo de adquisición de la cámara por medio del parámetro modo de video.

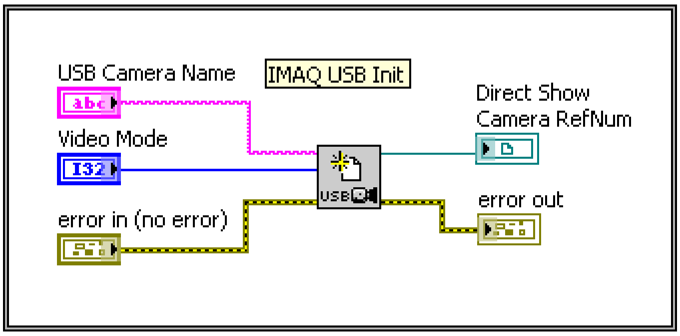


Imagen 3-19 IMAQ USB Init

- **IMAQ USB PropertyPage.-** Realiza la apertura del cuadro de diálogo de configuración de la cámara, el mismo que es proporcionado por el fabricante de la cámara.

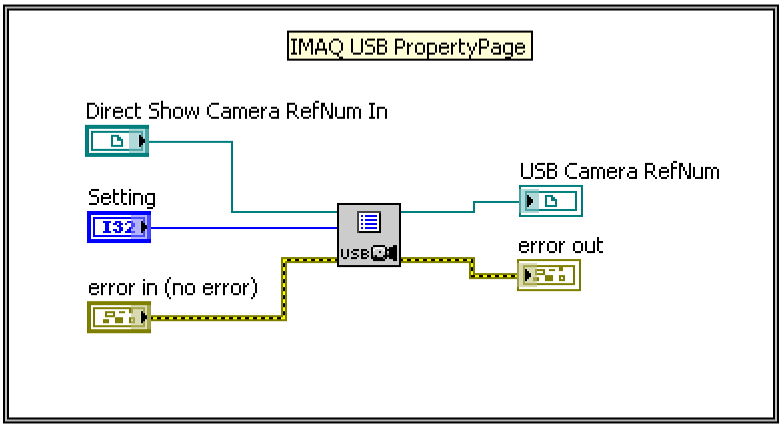


Imagen 3-20 IMAQ USB PropertyPage

- **IMAQ USB Stop.-** Permite cancelar y detener una adquisición continua de imágenes. Para volver a capturar imágenes se debe volver a usar IMAQ USB Snap.

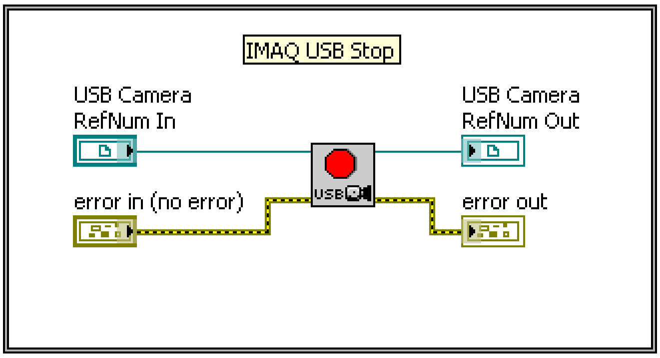


Imagen 3-21 IMAQ USB Stop

- **IMAQ USB Close.-** Este VI permite cerrar la sesión de la cámara USB, para ejecutar esta acción se le debe proporcionar la referencia de la cámara creada por IMAQ USB Init.

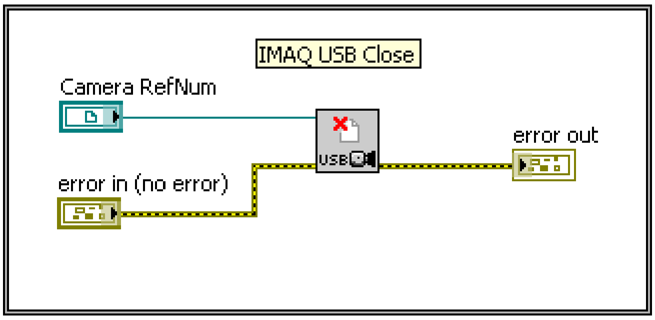


Imagen 3-22 IMAQ USB Close

Modos de Captura

LabVIEW brinda la posibilidad de poder escoger varios modos de adquisición de imágenes a través de una cámara, dependiendo del tipo de aplicación que se requiera realizar. Entre los 3 modos de captura disponibles en LabVIEW se tienen los siguientes: snap, grab y sequence. Se procederá a explicar tan solo el modo snap y grab que son los únicos disponibles en la librería IMAQ USB, el modo sequence se encuentra en la librería NI-IMAQ.

- **Modo Snap.-** Es un tipo de captura en la cual se realiza una sola toma de imagen y esta es almacenada en el búfer de memoria. Este modo de adquisición debe ser utilizado cuando se desee adquirir una sola imagen, y demás aplicaciones que se ejecuten a una baja velocidad.

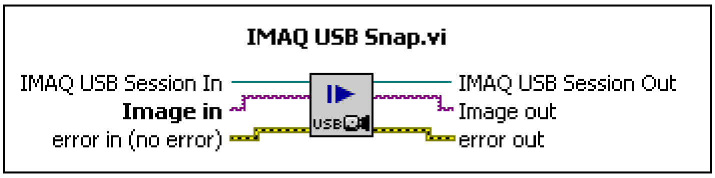


Imagen 3-23 IMAQ USB Snap

En la imagen 3-24 se presenta un ejemplo de adquisición de imagen en modo Snap, en el se puede observar que se han utilizado los instrumentos virtuales descritos en la secciones anteriores.

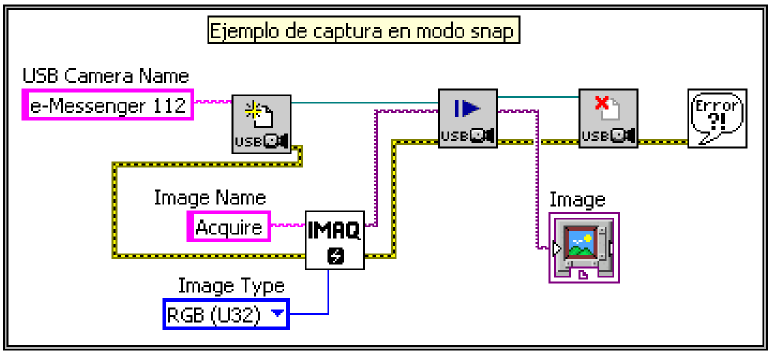


Imagen 3-24 Diagrama de bloques con uso de IMAQ USB Snap

Sin embargo el resultado no es el esperado, en el panel frontal se obtendrá una imagen oscura como la que se muestra en la imagen 3-25.

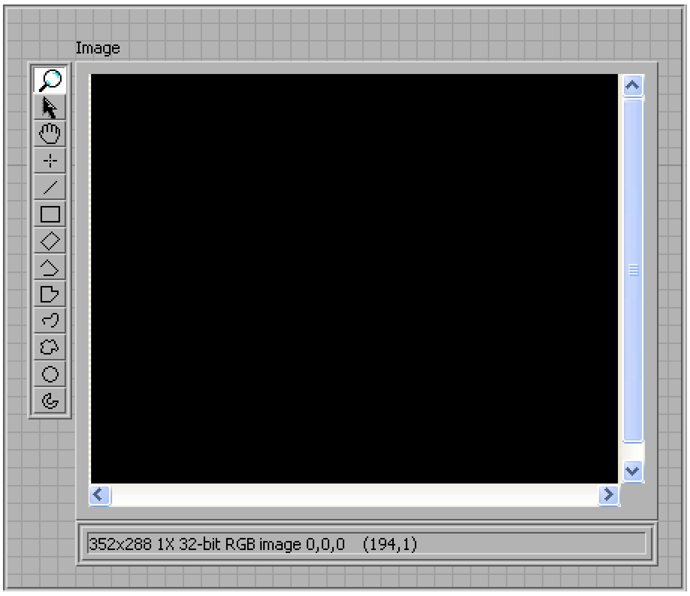


Imagen 3-25 Panel Frontal de la captura incorrecta en modo snap

Se puede observar que el tiempo necesario para el refrescamiento de la imagen es vital, para poder realizar las capturas. Para mejorar esta pequeña falla provocada por el tipo de captura y tiempo de refrescamiento, se debe realizar múltiples capturas de manera que se pueda escoger la toma final, con una mejor resolución. Esta corrección se visualiza en la imagen 3-26.

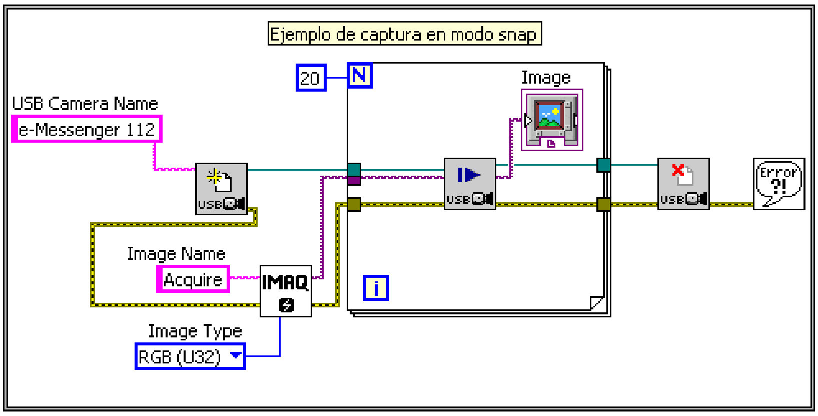


Imagen 3-26 Diagrama de bloques con uso de IMAQ USB Snap y lazo de repetición

El resultado se lo puede observar en la imagen 3-27.

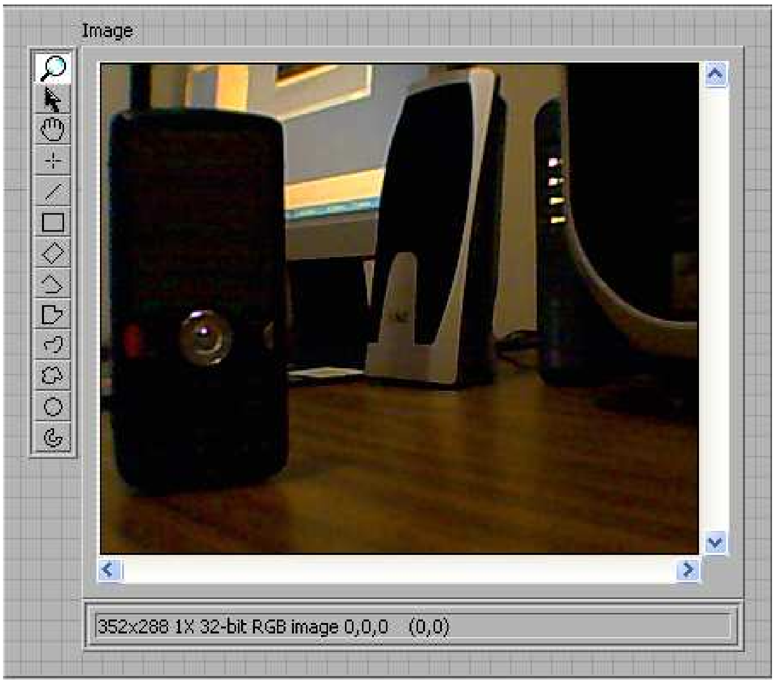


Imagen 3-27 Panel Frontal de la captura correcta en modo snap

- **Modo Grab.-** Es aquel en el cual se ejecuta en modo continuo, a una alta velocidad de adquisición de datos los cuales son enviados a un único búfer ubicado en la memoria del computador.

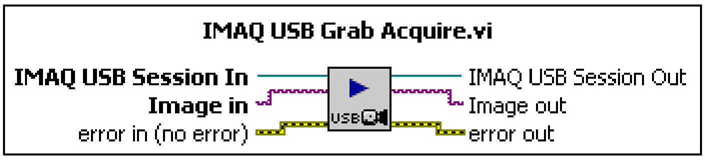


Imagen 3-28 IMAQ USB Grab Acquire

En la imagen 3-29 se puede visualizar el diagrama de bloques un ejemplo de captura usando el modo Grab. Se capturará de manera indefinida dentro del lazo while, hasta que el usuario detenga el proceso presionando el botón de Stop.

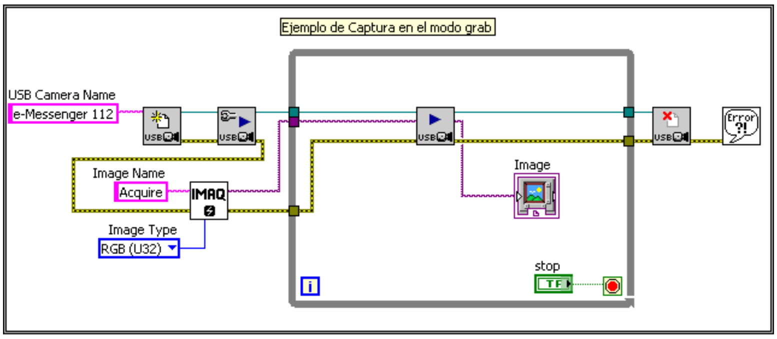


Imagen 3-29 Diagrama de bloques con uso de IMAQ USB Grab

En la imagen 3-30 tenemos el panel frontal del ejemplo de captura del modo grab.

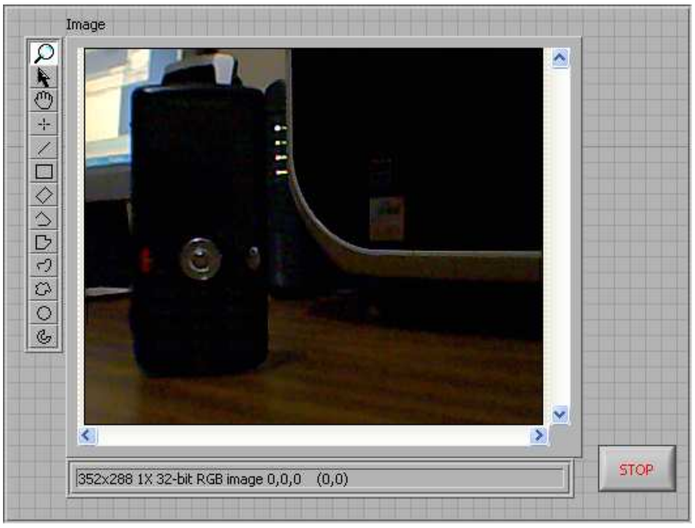


Imagen 3-30 Panel Frontal de la captura en modo grab

Visualización de Imágenes en el panel frontal

En la sección 3.2.1.3 se utilizó el instrumento virtual Image Display en el panel frontal para poder visualizar las capturas realizadas por la cámara en cualquiera de los dos modos.

Image Display contiene un área de visualización de la imagen, en la parte lateral izquierda presenta un conjunto de herramientas que permiten hacer ampliaciones o reducciones de la imagen, mientras que en la parte lateral derecha e inferior presenta barras de desplazamiento.

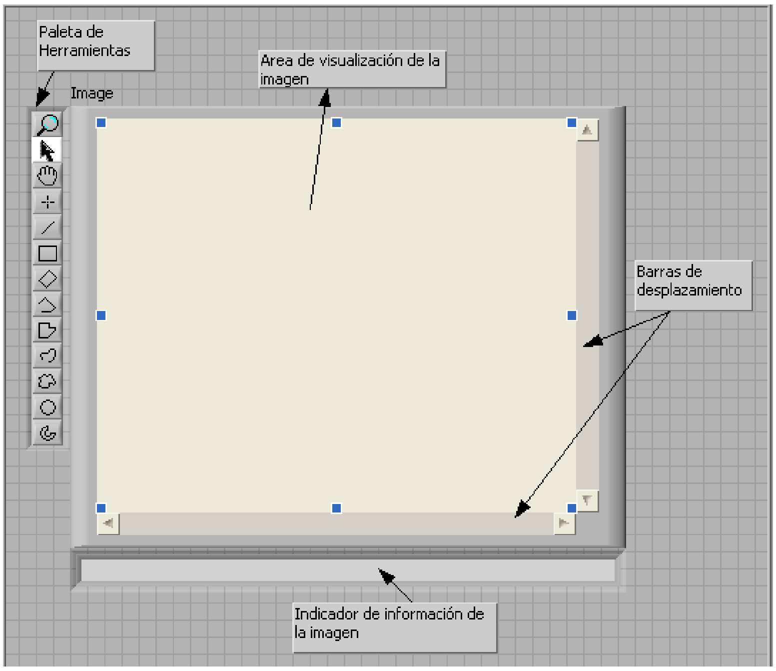


Imagen 3-31 Panel Frontal de Image Display

En algunas ocasiones es necesario especificarle al Image Display el tipo de imagen que se está visualizando, en el presente proyecto se trabajó con imágenes binarias y en escala de grises. Para indicarle al Image Display el tipo de imagen se da clic derecho sobre el VI y se escoge la opción Pallete y se le indica el tipo de imagen tal como se muestra en la imagen 3-32.

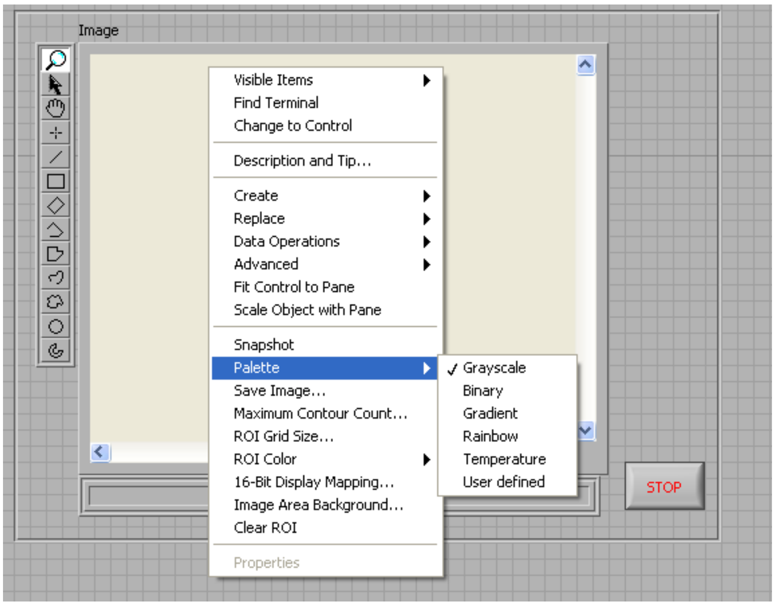


Imagen 3-32 Elección del tipo de imagen en el Image Display

Lectura y escritura de Imágenes

Para poder leer archivos de imágenes en LabVIEW se usa el instrumento virtual IMAQ Read File, que se muestra a continuación en la imagen 3-33.

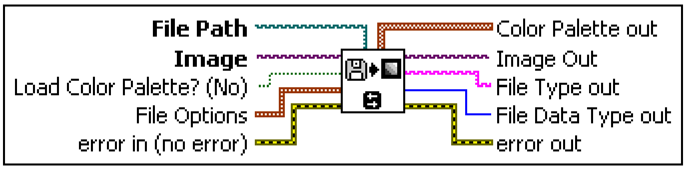


Imagen 3-33 IMAQ Read File

Este icono de LabVIEW permite realizar la lectura de un archivo de imagen. El tipo de formato leído puede ser formato estándares como JPEG, BMP, TIFF, PNG entre otros, además pueden ser leídos otros tipos de formatos no estándares conocidos por el usuario.

En la imagen 3-34 se muestra un ejemplo para leer una imagen y mostrarla en LabVIEW con el Image Display, para esto se usa el VI IMAQ Load Image Dialog, que nos permite explorar el directorio en busca del archivo.

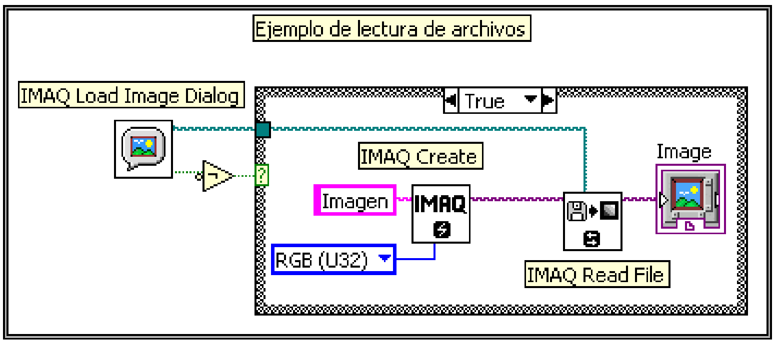


Imagen 3-34 Ejemplo de IMAQ Read File

Así como se puede cargar una imagen en LabVIEW, también se puede guardar imágenes en varios formatos disponibles tales como BMP, JPEG, JPEG2000, TIFF, PNG.

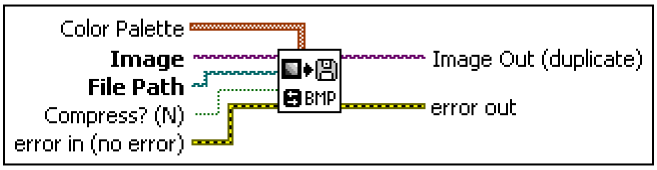


Imagen 3-35 IMAQ Write File

Las entradas más importantes son la referencia a la imagen y la dirección en la que se almacenará el archivo. Para indicarle al VI que se almacenará en la misma carpeta donde se encuentra guardado el programa se usaron VIs propios de LabVIEW que nos permite manejar Paths.

En el ejemplo a continuación se ha modificado la captura en modo snap para guardar la última captura en un archivo bmp en la misma carpeta donde se encuentra guardado el programa.

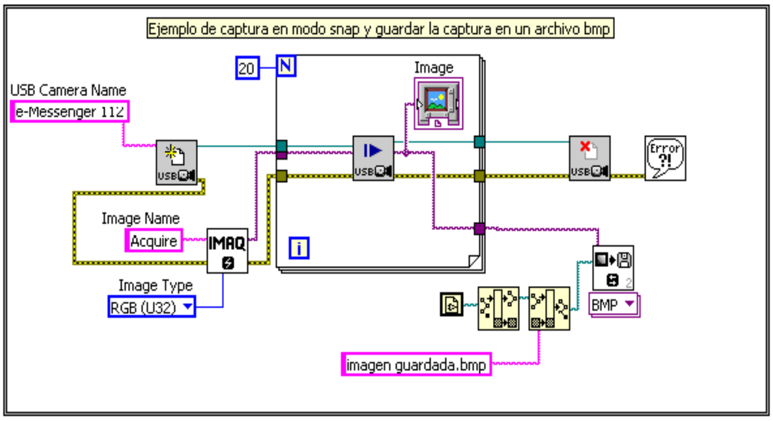


Imagen 3-36 Ejemplo de IMAQ Write File

Lectura y escritura de Plantillas

Las plantillas o patrones son importantes para la visión artificial, en los algoritmos de búsqueda de patrones. NI Vision agrega información a la imagen, la cual es utilizada al momento de realizar la búsqueda. En esta sección se enseñará que información se debe agregar y cómo hacerlo.

Los instrumentos virtuales relacionados al manejo de información relativa a la búsqueda de patrones se encuentran en la librería Machine Vision, sección Searching and Matching. Por lo general trabajan en pares, un VI para establecer que parámetros se deben guardar y otro que se encarga de añadir la información a la imagen y finalmente se usa el VI IMAQ Write

Image And Vision Info para guardar el archivo y el IMAQ GetPallete para indicar el tipo de imagen.

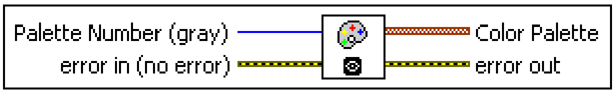


Imagen 3-37 IMAQ GetPalette

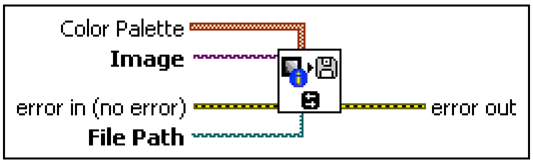


Imagen 3-38 IMAQ Write Image and Vision Info

NI Vision permite crear plantillas para búsquedas de patrones en escala de grises, a color, geométricas. Tan solo se procederá la explicación de creación de plantillas en escala de grises y a color.

Para guardar una plantilla en escala de grises se usan los VIs: IMAQ Setup Learn Pattern 2 (imagen 3-39) e IMAQ Learn Pattern 2 (imagen 3-40).

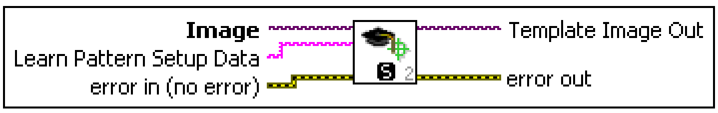


Imagen 3-39 IMAQ Setup Learn Pattern 2

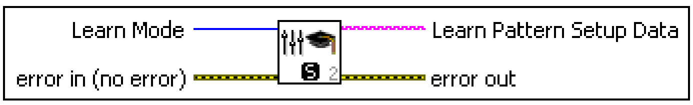


Imagen 3-40 IMAQ Learn Pattern 2

Mientras que para crear una plantilla a colores se usan: IMAQ Setup Learn Color Pattern (imagen 3-41) e IMAQ Learn Color Pattern (imagen 3-42).

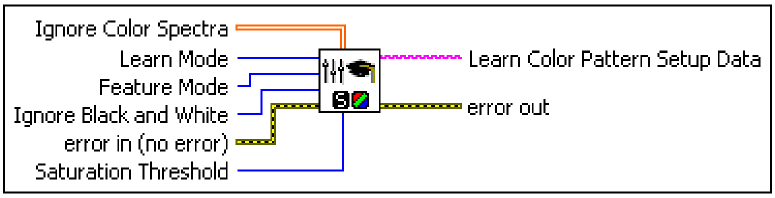


Imagen 3-41 IMAQ Setup Learn Color Pattern

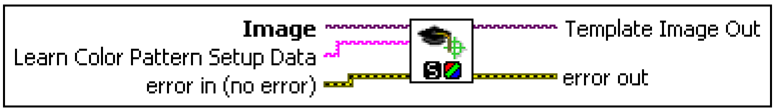


Imagen 3-42 IMAQ Learn Color Pattern

A continuación se muestran la imagen 3-43 con un ejemplo para guardar un plantilla en escala de grises y la imagen 3-44 para guardarla a colores.

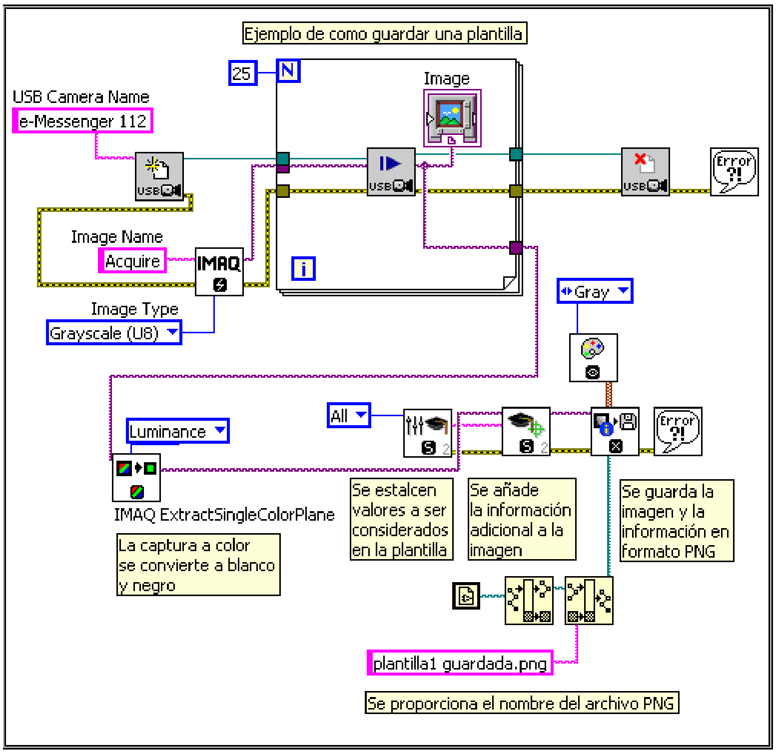


Imagen 3-43 Ejemplo de escritura de una plantilla en escala de grises

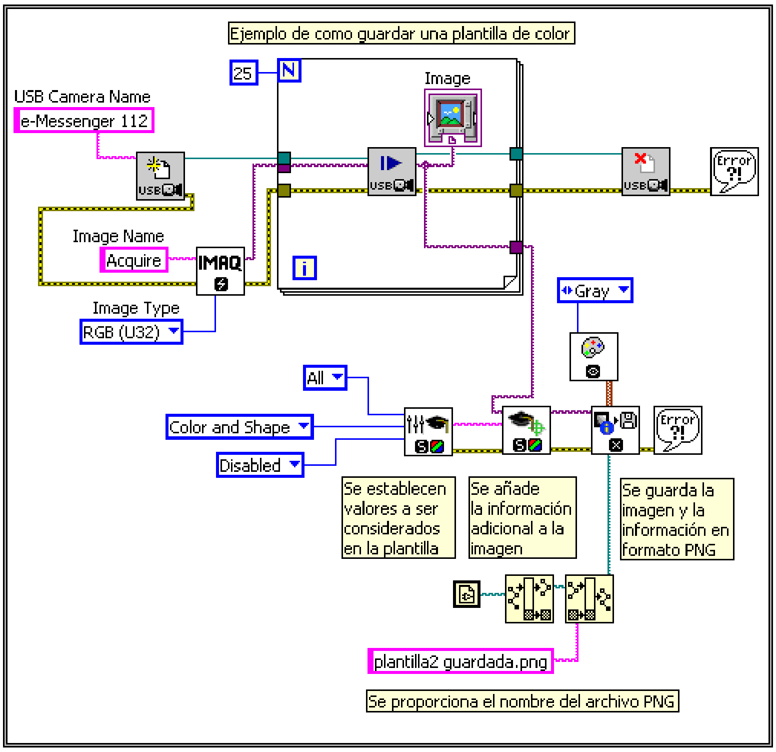


Imagen 3-44 Ejemplo de escritura de una plantilla a color

El proceso de lectura de plantillas es muy parecido al de leer una imagen común en LabVIEW, un problema que se suele presentar es crear el espacio de memoria adecuado para la definición de imagen que posee la plantilla. Si se creo una plantilla en escala de grises de 8 bits sin signo, debe crearse un espacio de memoria con tales características, así mismo si la imagen es de 32 bits se debe reservar el correspondiente espacio de memoria; de lo contrario aparecerá un error debido a incompatibilidad del tipo de imagen.

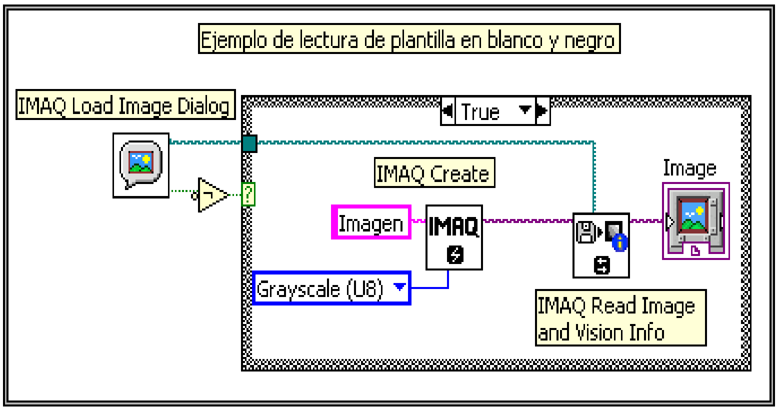


Imagen 3-45 Ejemplo de lectura de plantilla a escala de grises

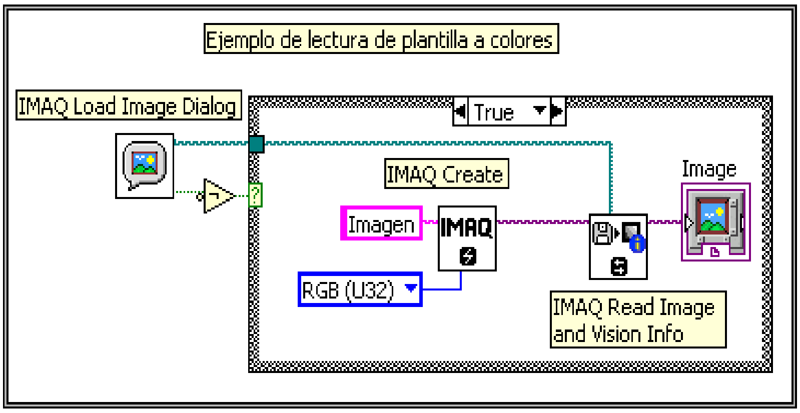


Imagen 3-46 Ejemplo de lectura de plantilla a color

Procesamiento de Imágenes con IMAQ

A continuación se presentarán ejemplos sencillos del uso de varios instrumentos virtuales para comprender su manejo, de tal manera que los instrumentos virtuales que se describirán en el capítulo 4 sean de fácil comprensión. No se hace una descripción exhaustiva de cada instrumento virtual, tan solo se menciona las entradas más importantes y su relación con los fundamentos básicos expuestos en el capítulo 2. En todo caso si se desea tener información más específica del tipo de dato de cada entrada y su función se puede revisar la ayuda del LabVIEW.

Filtros de convolución

En el capítulo 2 se menciono que los filtros de convolución tienen una gran utilidad en el mejoramiento de los detalles de las imágenes a ser analizadas. Se puede resaltar detalles, atenuar, mejorar los bordes para detectarlos. IMAQ presenta un VI que nos permite trabajar con filtros de convolución, éste es IMAQ Convolute.

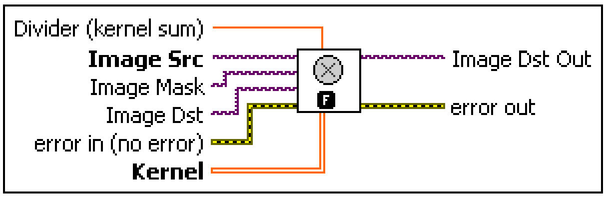


Imagen 3-47 IMAQ Convolute

IMAQ Convolute trabaja con imágenes en escala de grises de 8 bits. Las entradas mas importantes de este VI son la imagen fuente y el kernel de convolución, recuerde que el kernel definirá si el filtro es de nitidez o suavizado.

En la imagen 3-48 se muestra el diagrama de bloques para aplicar un filtro de suavizado y en la imagen 3-49 se ven la imagen original y la atenuada.

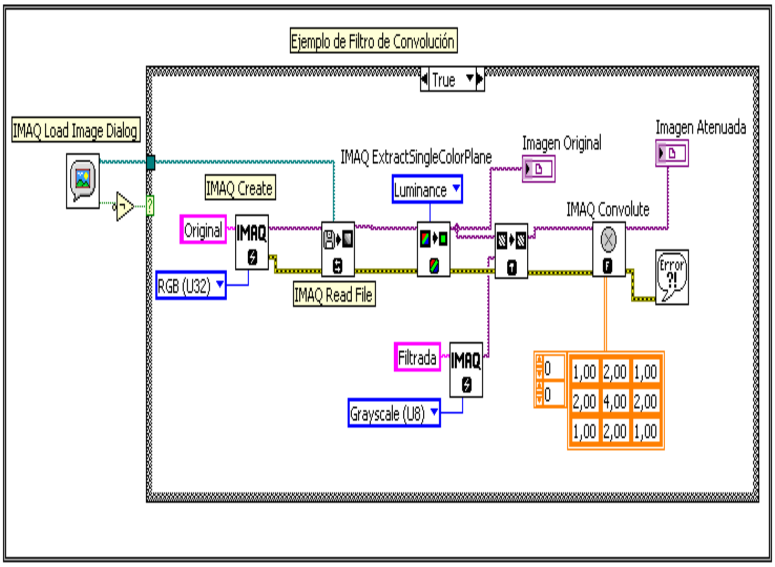


Imagen 3-48 Filtro de suavizado usando IMAQ Convolute

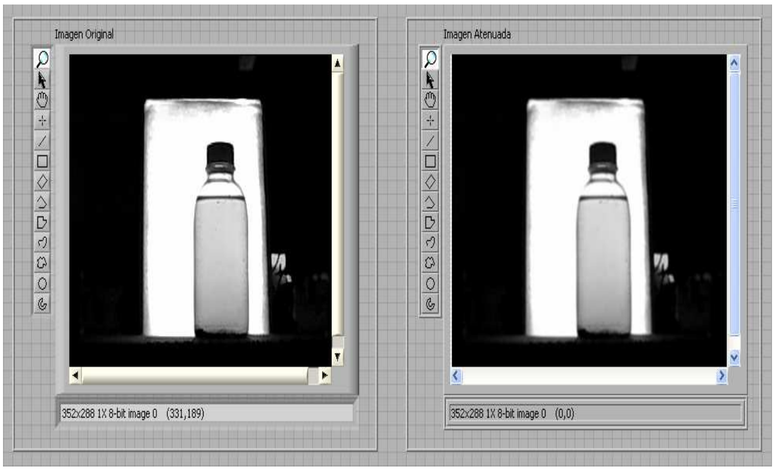


Imagen 3-49 Resultado del filtro de suavizado

En la imagen 3-50 en cambio se presenta el diagrama de bloques para un filtro de nitidez. Se verá que el diagrama de bloque es idéntico, la diferencia radica en el kernel de convolución.

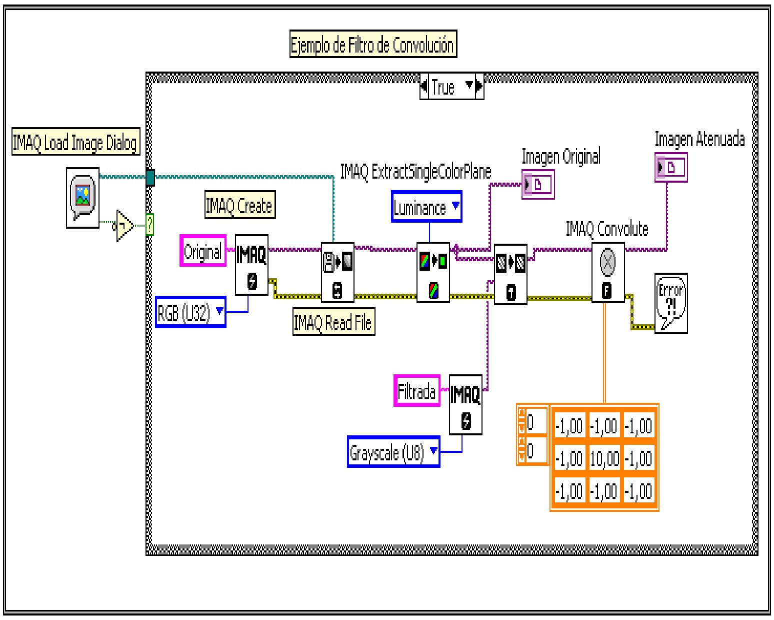


Imagen 3-50 Filtro de nitidez usando IMAQ Convolute

Imagen 3-51 Resultado del filtro de nitidez

Existen también técnicas usando filtros de convolución para la detección de bordes, tales como Roberts, Sobel, Prewitt. Estos pueden ser aplicados usando el instrumento virtual IMAQ EdgeDetection.

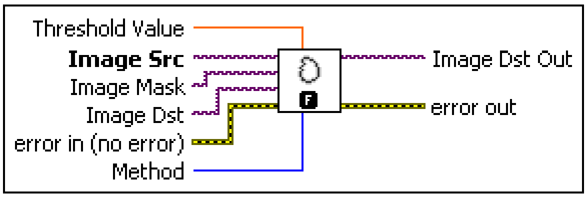


Imagen 3-52 IMAQ EdgeDetection

Como es de esperar, la imagen de entrada es importante. NI Vision facilita el uso de estas técnicas a través de la entrada Method, la cual nos permite escoger el tipo de técnica de manera sencilla sin complicaciones en la implementación.

En la imagen 3-53 se presenta un pequeño ejemplo de aplicar filtros que ayudan a la detección de bordes.

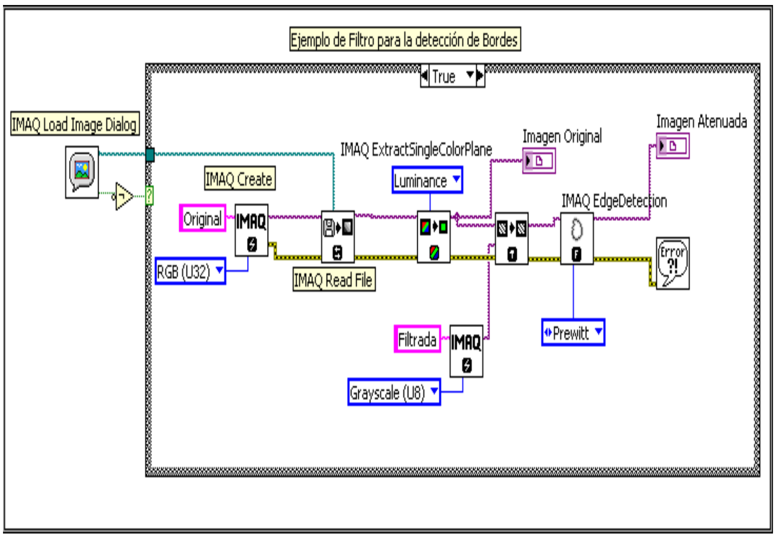


Imagen 3-53 Filtro de detección de bordes de Prewitt

El resultado de aplicar la técnica de Prewitt se lo puede observar en la imagen 3-54.

Imagen 3-54 Resultado del filtro de detección de bordes de Prewitt

Detección de bordes

NI Vision presenta varios instrumentos virtuales para la detección de bordes, en esta sección solo se hablará de IMAQ Simple Edge e IMAQ Edge Tool 2. En estas dos herramientas es necesario definirle una línea que me indica dónde se realizará la búsqueda del borde.

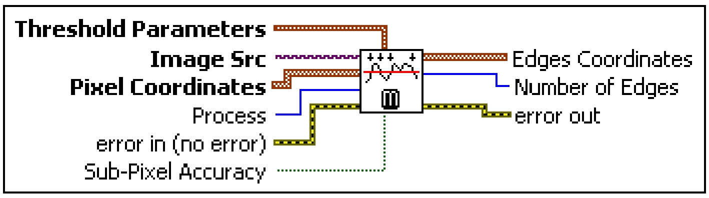


Imagen 3-55 IMAQ Simple Edge

IMAQ Simple Edge detecta borde en base a umbrales. La entradas principales son las resaltadas en negrita en la imagen 3-55. Threshold Parameters contiene la información correspondiente al umbral que se considera para detectar un cambio en la escala de grises como un borde. Mientras que Pixel Coordinates contiene la información de qué píxeles se inspeccionarán, para esto se vale de otro instrumento virtual el IMAQ ROI Profile. Process es otra entrada de gran utilidad que nos permite detectar solo el primer borde, el primer y último borde o todos los bordes que se encuentran sobre la línea de búsqueda.

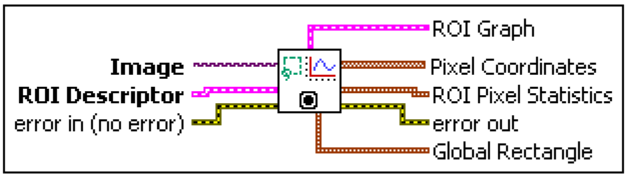


Imagen 3-56 IMAQ ROI Profile

La salida que se utiliza de IMAQ ROI Profile es Pixel Coordinates, mientras que la entrada ROI Descriptor define la región de interés a ser analizada.

En la imagen 3-57 se muestra un ejemplo usando IMAQ Edge Simple e IMAQ ROI Profile.

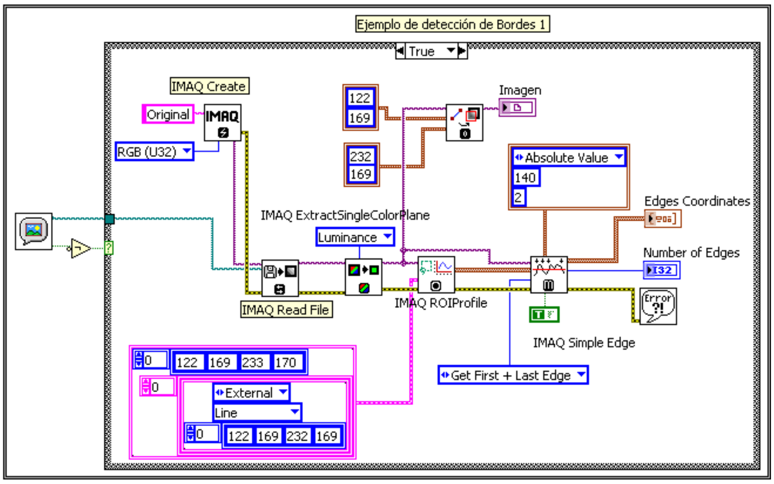


Imagen 3-57 Diagrama de bloques para detectar bordes con IMAQ Edge Simple

Se podría pensar en la complejidad de crear los clústeres que entregan información en cada VI, una manera sencilla de crearlos es haciendo clic derecho sobre la entrada y escoger la opción crear constante. Esto hará aparecer un clúster con los valores por defecto, y se modifican los parámetros requeridos.

Para saber qué parámetros cambiar se recomienda leer la ayuda detallada del VI que proporciona LabVIEW, así sabrá que representa cada elemento del clúster, por ejemplo donde indicar el punto inicial y final de la línea de la detección de bordes.

En la imagen 3-58 se muestra el resultado de aplicar la detección de borde con IMAQ Simple Edge. En la parte derecha se observan dos resultados: el número de bordes detectados y las coordenadas de los bordes, este instrumento virtual ha sido configurado para entregar las coordenadas del primer y último borde hallado.

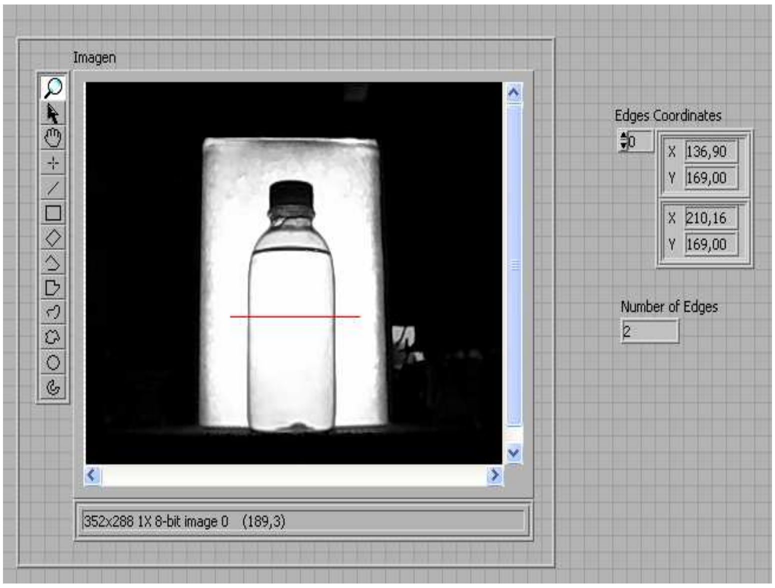


Imagen 3-58 Panel frontal de la detección de bordes con IMAQ Edge Simple

La línea roja que se observa representa en qué dirección y espacio de la imagen se procederá a buscar los bordes en la imagen. Para poder dibujarla se usa el instrumento virtual IMAQ Overlay Line, de lo contrario no se la podrá observar.

La otra herramienta para detección de bordes que se presenta es IMAQ Edge Tool 2, la cual se basa en aplicar el gradiente para la detección de los bordes.

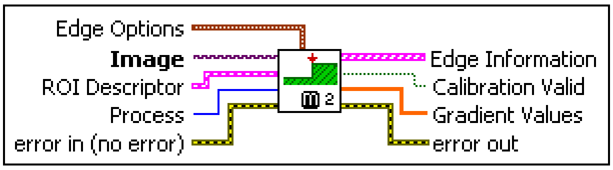


Imagen 3-59 IMAQ Edge Tool 2

Al igual que IMAQ Simple Edge, IMAQ Edge Tool nos permite manejar la entrada Process para indicarle que bordes queremos detectar y no es necesario el uso de IMAQ ROI Profile.

En la imagen 3-60 vemos un ejemplo usando este instrumento virtual.

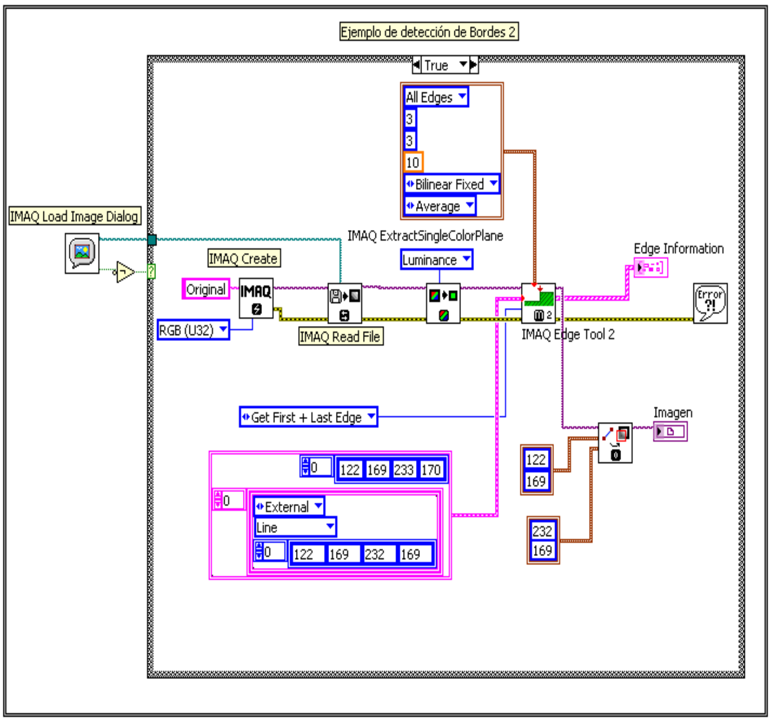


Imagen 3-60 Diagrama de bloques de detección de bordes usando IMAQ Edge Tool 2

El resultado lo observamos en la imagen 3-61.

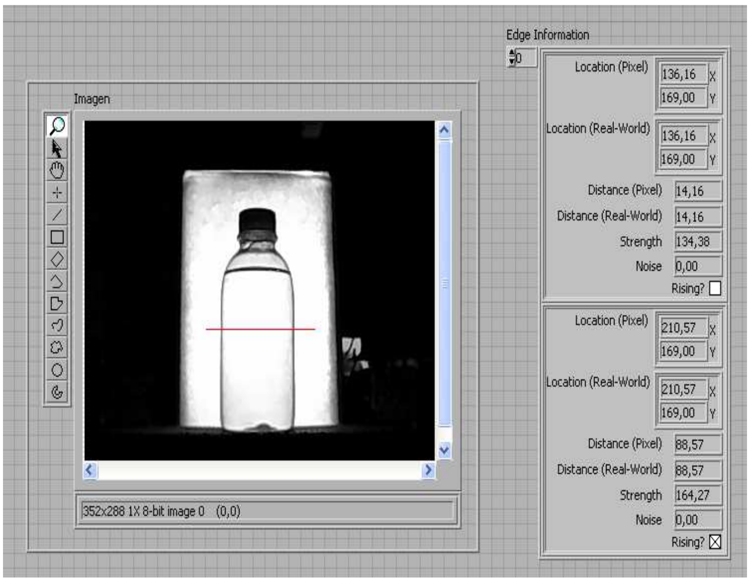


Imagen 3-61 Panel Frontal de la detección de bordes con IMAQ Edge Tool 2

Los dos ejemplos de detección de bordes han sido aplicados sobre la misma imagen, y si se observa con mayor detenimiento se podrán percatar que los resultados son muy aproximados, la variación es del rango de décimas de pixeles.

Segmentación por umbral

NI Vision nos ofrece variados instrumentos virtuales (en total 5) que se encuentran dentro de la librería Image Processing, sección Processing. A continuación se tomarán en cuenta solo dos de ellos: IMAQ Threshold e IMAQ AutoB Threshold 2.

En la imagen 3-62 se presenta el VI IMAQ Threshold, al cual se le debe proporcionar el rango de valores para la segmentación: el más bajo (que lo define el programador de la aplicación) y el más alto (que por defecto es 255). Se sugiere utilizar previamente la un histograma de la imagen para colocar el rango adecuado.

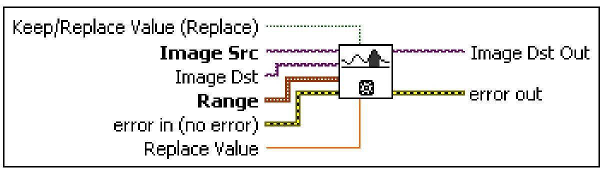


Imagen 3-62 IMAQ Threshold

En la imagen 3-63 se muestra un sencillo ejemplo del uso de IMAQ Threshold. Se ha utilizado un nodo de propiedad del Display Image para modificar la paleta e indicar que se mostrará una imagen binaria.

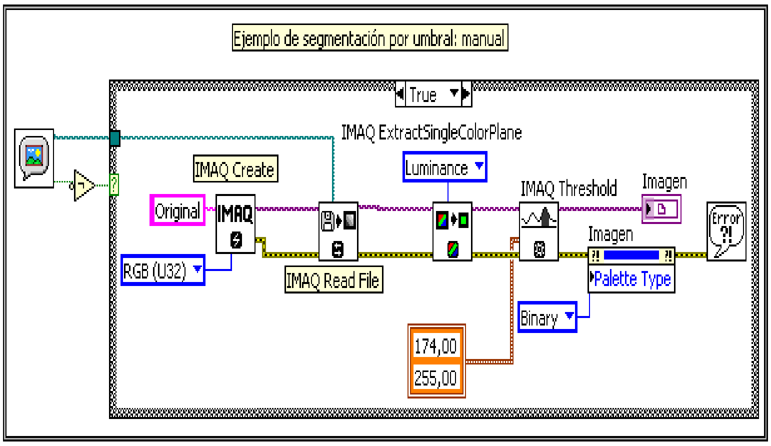


Imagen 3-63 Diagrama de bloques de detección de umbral con IMAQ Threshold

En la imagen 3-64 se muestra el resultado de segmentación de una imagen.

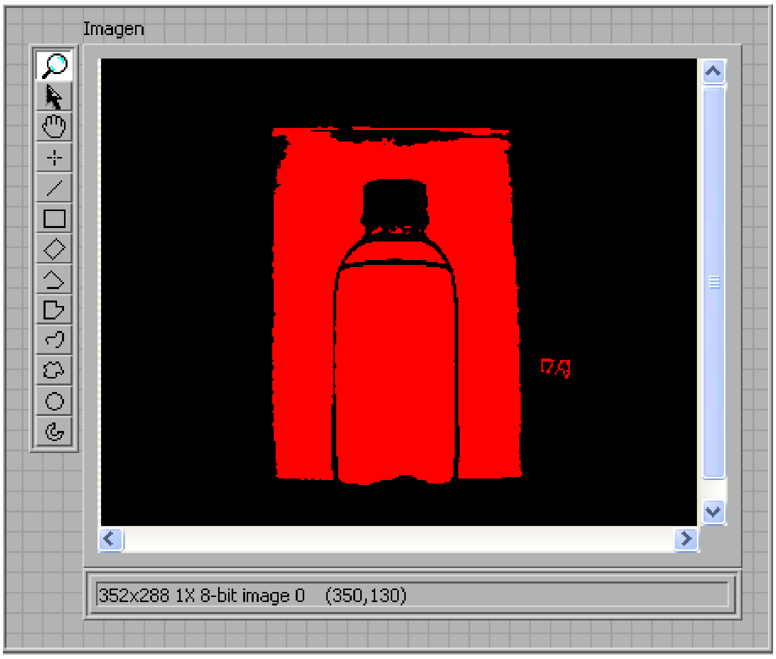


Imagen 3-64 Panel frontal de la segmentación usando IMAQ Threshold

Usar una segmentación manual presenta inconvenientes cuando se la aplica en procesos que deben ser automatizados. En ese caso NI Vision proporciona otra herramienta: IMAQ AutoB Threshold.

En la imagen 3-65 se muestra este instrumento virtual con sus respectivas entradas. La entrada Method nos permite elegir diferentes modelos estadísticos para la segmentación de manera sencilla sin que el programador deba hacer grandes cambios cuando desee reemplazar el método estadístico elegido.

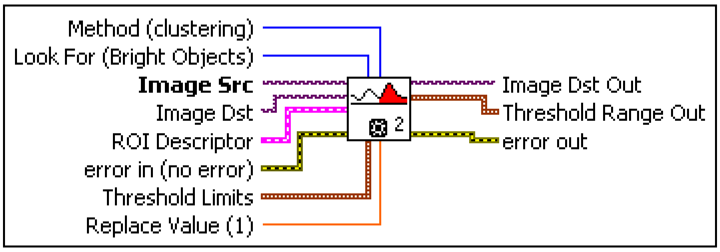


Imagen 3-65 IMAQ AutoB Threshold

La entrada Method sirve para indicarle como calcular el umbral; pero no le indica si el la información de interés está sobre o por debajo del umbral. Para poder indicarle esto se usa la entrada Look For, ésta entrada maneja dos opciones: objetos brillantes u objetos oscuros. Al decir que se selecciona objetos brillantes lo que se le indica al VI es que busque los píxeles de valor superior al umbral; lo contrario sucede al escoger la opción objetos oscuros.

En la imagen 3-66 se muestra un pequeño ejemplo de la segmentación por umbral automática, se ha elegido resaltar los objetos brillantes y se determina el umbral en base a la entropía.

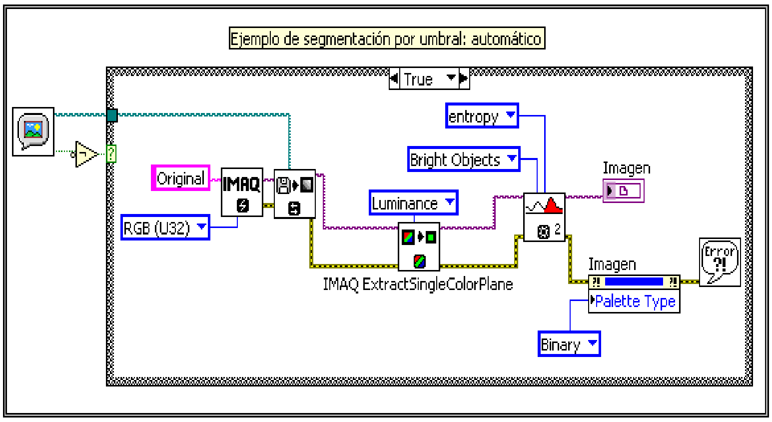


Imagen 3-66 Diagrama de bloques de detección de umbral usando IMAQ AutoB Threshold

En la imagen 3-67 se muestra el resultado de esta segmentación. La imagen que se proporcionó fue la misma que para el ejemplo manual, se pueden apreciar a simple vista la diferencia con la imagen 3-64.

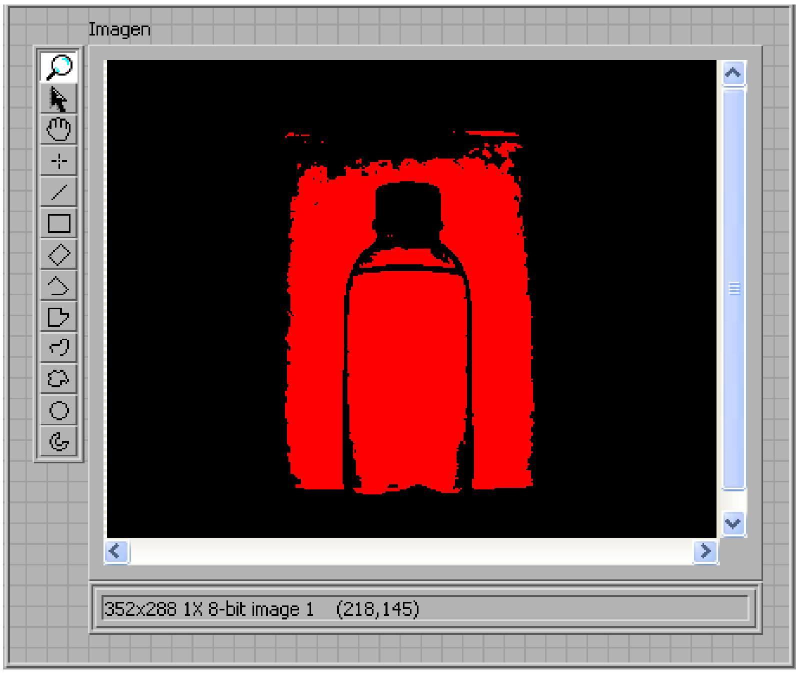


Imagen 3-67 Panel frontal de la segmentación usando IMAQ AutoB Threshold

Operaciones binarias

En la sección 2.5.1 se hizo mención de las operaciones binarias morfológicas, las cuales se dividieron en básicas y avanzadas.

Para poder aplicar operaciones binarias básicas se hace uso del instrumento virtual: IMAQ Morphology.

En la imagen 3-68 se muestra el VI, la entrada Opertation nos permite elegir una de las siguientes operaciones: erosión, dilatación, apertura, cierre, gradiente interno, gradiente externo, adelgazamiento, engrosamiento.

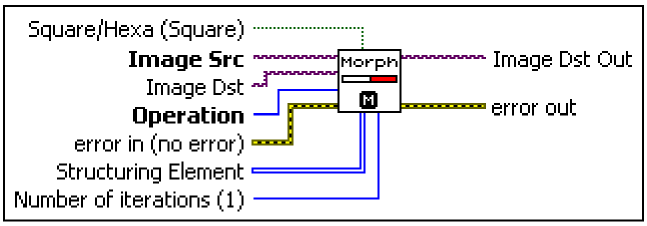


Imagen 3-68 IMAQ Morphology

Estructuring Element es una matriz que se utiliza para indicarle al VI que píxeles deben de tomarse en cuenta para hacer la correspondiente operación, en el centro de la matriz se debe visualizar el píxel de interés y los restantes son los vecinos.

En la imagen 3-69 se muestra un sencillo ejemplo del uso de este instrumento virtual para dilatar una imagen binaria.

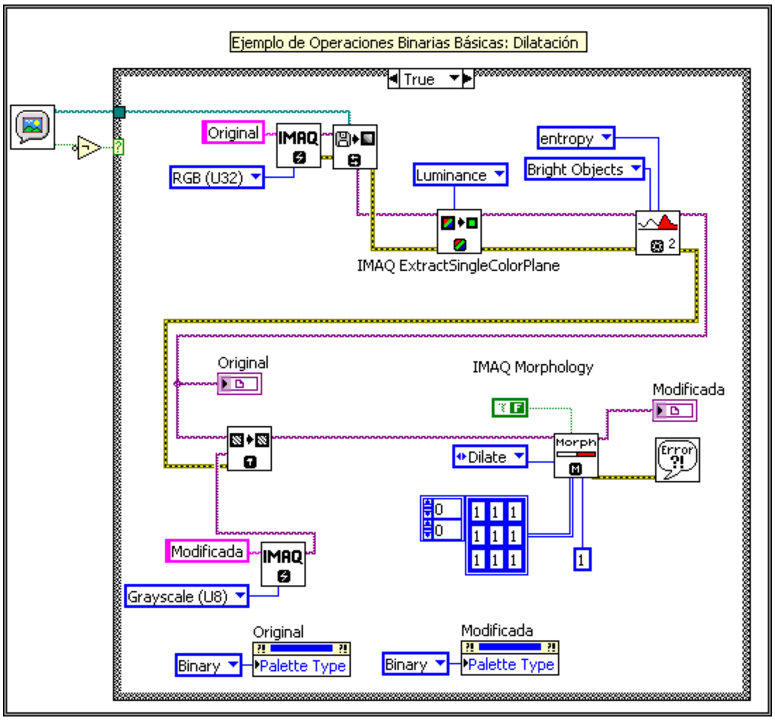


Imagen 3-69 Diagrama de bloques usando IMAQ Morphology para la dilatación binaria

En la imagen 3-70 se puede apreciar la imagen original y la imagen modificada por aplicar la dilatación binaria.

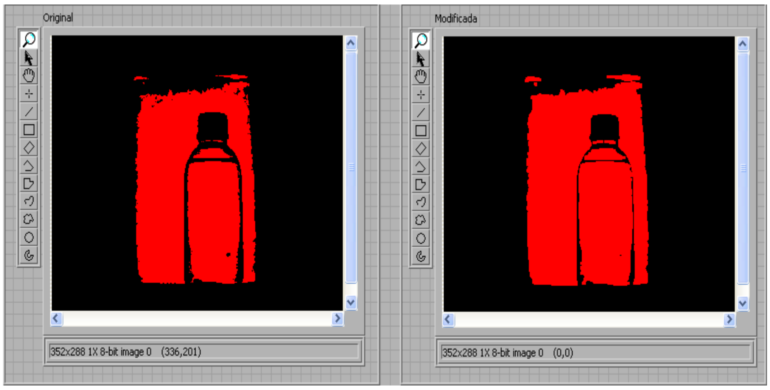


Imagen 3-70 Panel frontal con la imagen original y el resultado de aplicar la dilatación binaria

Para elegir otra operación solo se necesita cambiar la opción de Operation sin mayores modificaciones en el VI. En la imagen 3-71 se muestra el cambio de operación de dilatación a gradiente interno.

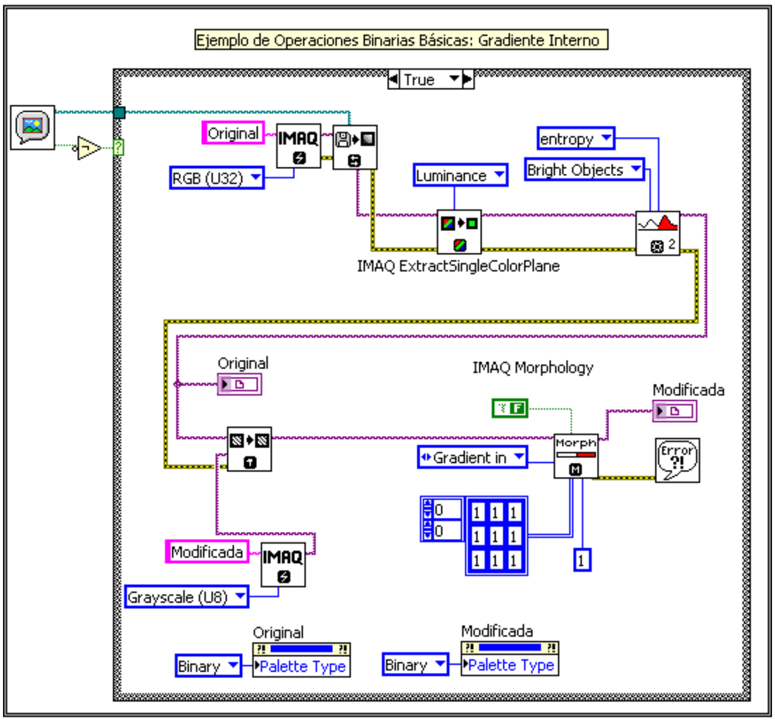


Imagen 3-71 Diagrama de bloques usando IMAQ Morphology para el gradiente interno

En la siguiente imagen 3-72 se muestra el original y el resultado de la operación gradiente interno.

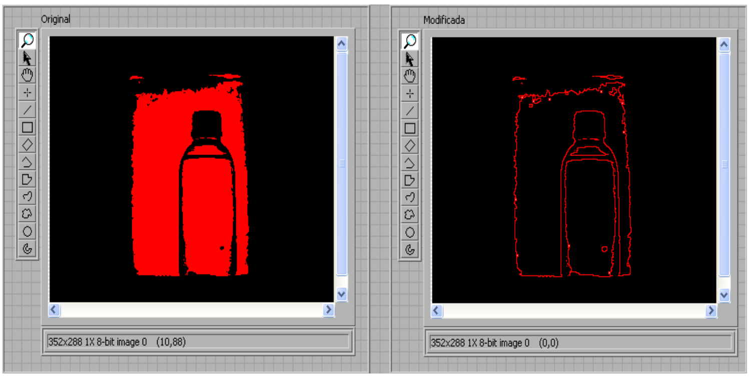


Imagen 3-72 Panel frontal con la imagen original y el resultado de aplicar la operación binaria gradiente interno

Como se aprecia el poder cambiar de tipo de operación básica no es complicada para el programador; sin embargo en las operaciones morfológicas avanzadas no se encuentran en un solo VI, sino que tienen uno para cada tipo de operación.

A continuación se mostrará el uso de IMAQ Remove Particle (imagen 3-73) como una herramienta para remover píxeles.

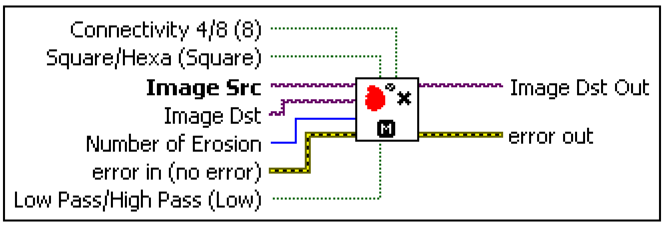


Imagen 3-73 IMAQ Remove Particle

En la imagen 3-74 se puede observar la implementación de este VI.

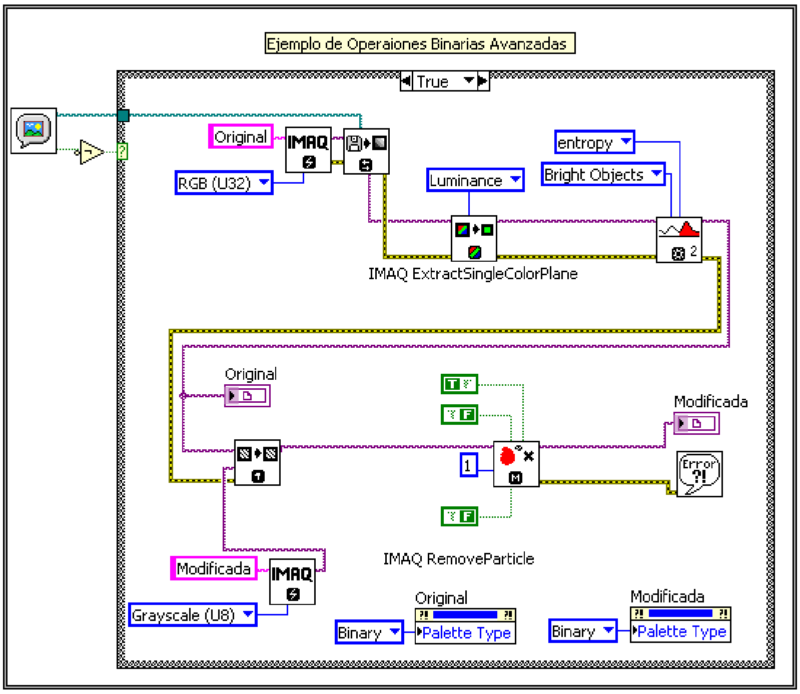


Imagen 3-74 Diagrama de bloques con el uso de IMAQ Remove Particle

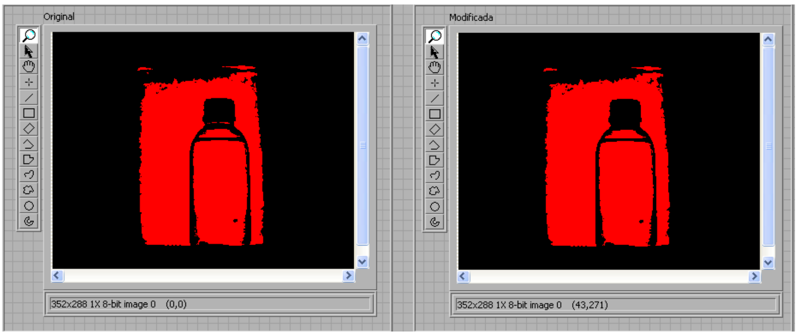


Imagen 3-75 Panel frontal con la imagen original y el resultado de aplicar la remoción de partículas

Filtro de partículas

IMAQ Particle Filter 2 es un instrumento que facilita filtrar información en base a mediciones de la imagen como perímetro, área, centro de masa, momento de inercia.

En la imagen 3-76 se presenta una imagen con la descripción de las entradas de IMAQ Particle Filter 2.

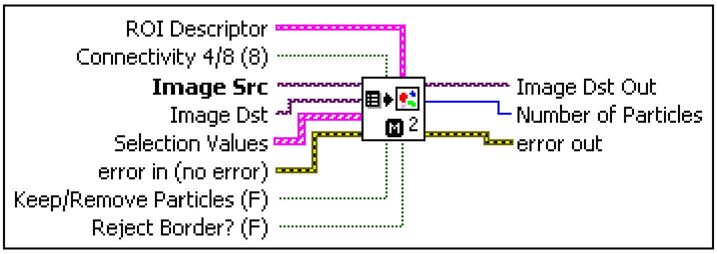


Imagen 3-76 IMAQ Particle Filter 2

Se le recuerda que para información más detallada de cada entrada la puede encontrar en la ayuda de LabVIEW. La entrada más importante después de la imagen fuente es Selection Values, el cual es un arreglo de clústeres que proporciona la información de los parámetros de los diferentes criterios del filtro.

En la imagen 3-77 se puede observar el uso de este VI para eliminar partículas que tengan agujeros que se estén entre 1 a 50 pixeles de área.

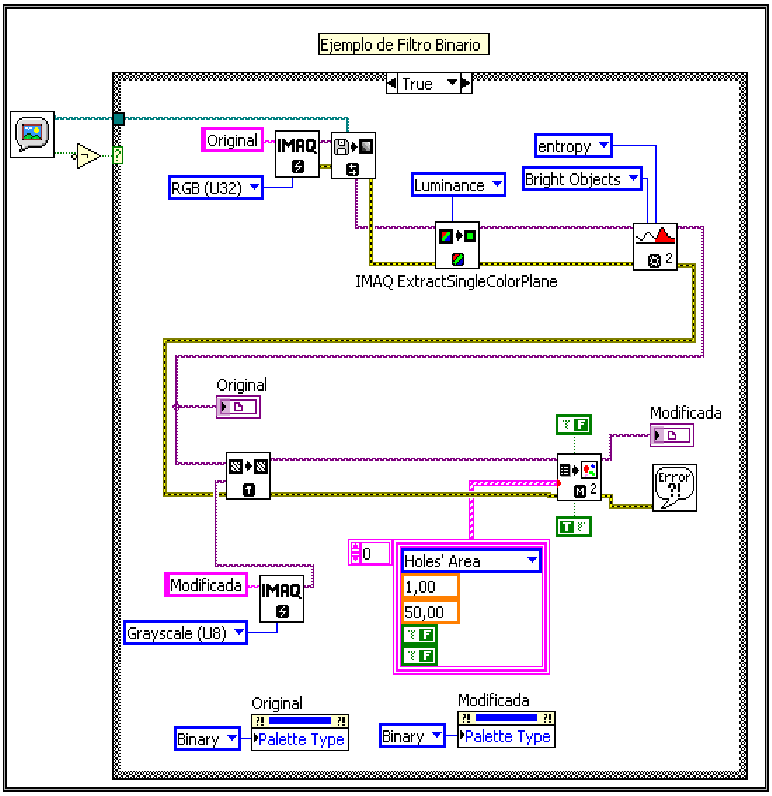


Imagen 3-77 Diagrama de bloques usando IMAQ Particle Filter 2

En la imagen 3-78 se puede observar el resultado de aplicar el filtro de partículas.

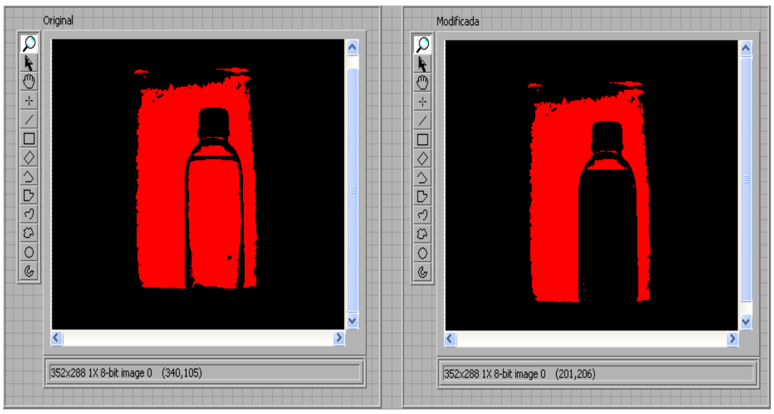


Imagen 3-78 Panel frontal con la imagen original y el resultado de usar el filtro de partículas

Análisis de partículas

NI Vision presenta dos instrumentos virtuales que nos permiten obtener información de las partículas de una imagen binaria. Estos son IMAQ Particle Analysis e IMAQ Particle Analysis Report.

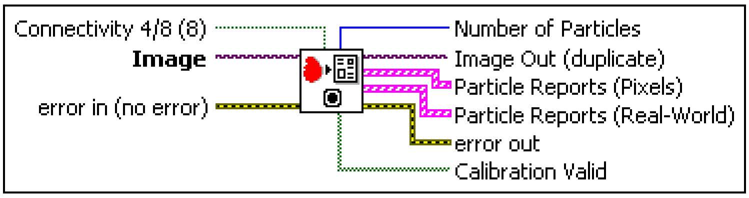


Imagen 3-79 IMAQ Particle Analysis Report

En la imagen 3-79 se muestra IMAQ Particle Analysis Report, se puede observar que las únicas entradas son la imagen fuente y una entrada lógica binaria para indicar el tipo de conectividad. La salida de mayor interés es Particle Reports, la cual es un arreglo de clústeres que entrega información básica como: área, número de agujeros, rectángulo envolvente, centro de masa, orientación y dimensiones.

En la imagen 3-80 se muestra el código en lenguaje G de este ejemplo, mientras en la imagen 3-81 se muestra el resultado.

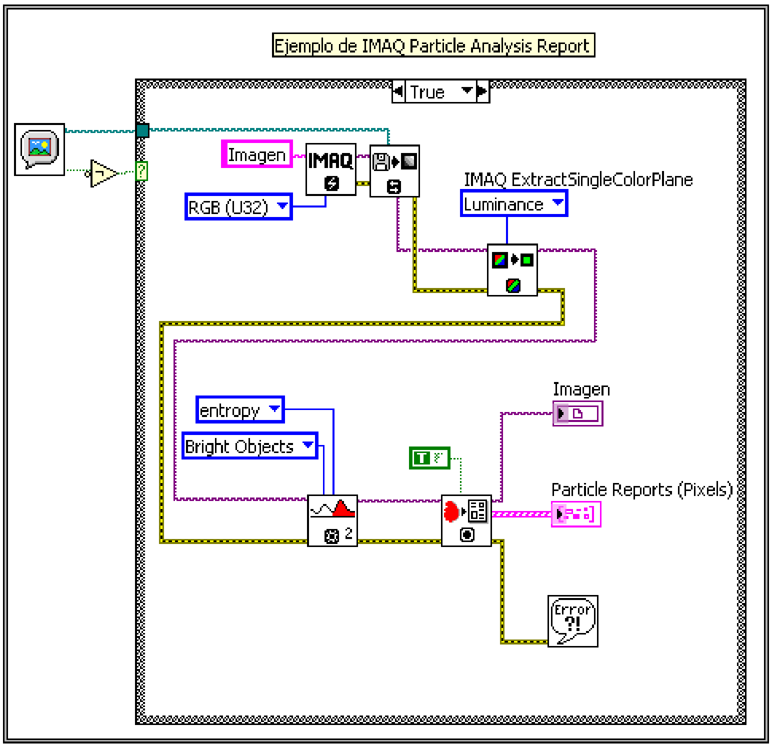


Imagen 3-80 Diagrama de bloques con el uso de IMAQ Particle Analysis Report

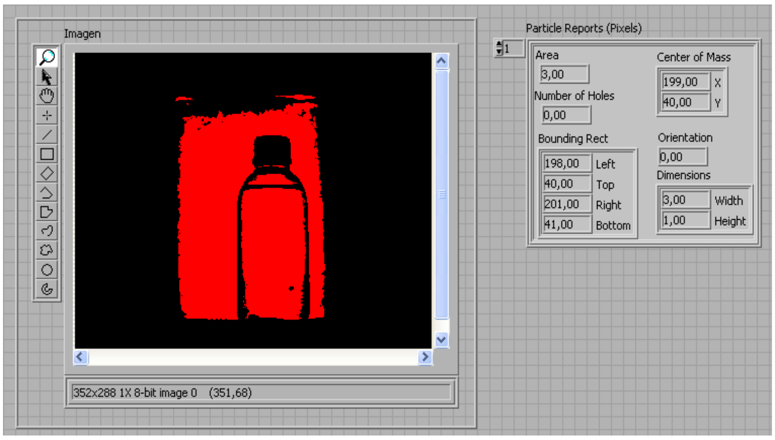


Imagen 3-81 Panel frontal con los resultados de IMAQ Particle Analysis Report

Para poder visualizar otra partícula, se debe cambiar el índice del arreglo Particle Reports.

IMAQ Particle Analysis (imagen 3-82) nos permite obtener otro tipo de información como momentos de inercia, máxima longitud feret, rectángulo equivalente, elipse equivalente, entre otros.

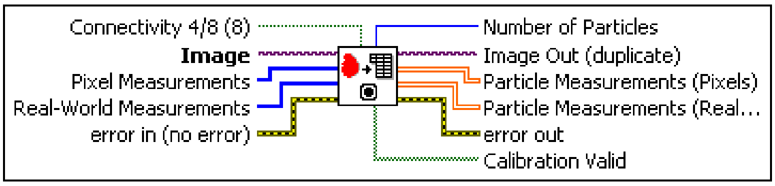


Imagen 3-82 IMAQ Particle Analysis

A través de la entrada Pixel Measurements se le indica a NI Vision que parámetro medir de las partículas. En la imagen 3-83 se puede apreciar el uso de este VI donde se ha seleccionado los parámetros a ser medidos son el área de las partículas y el área de los agujeros que posee. El orden en que son seleccionados los parámetros nos indica el orden en que saldrán en el arreglo Partilce Measurements.

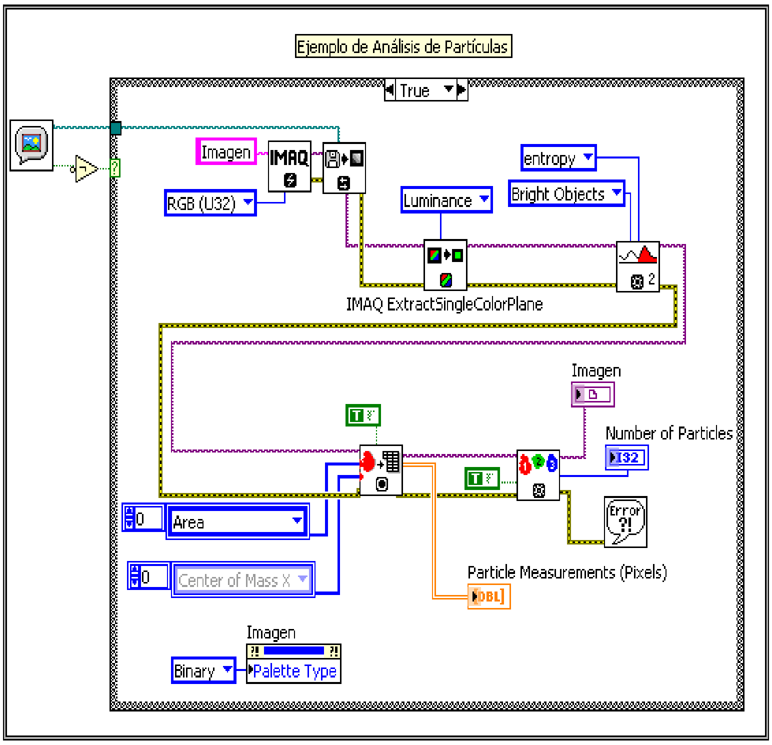


Imagen 3-83 Diagrama de bloques usando IMAQ Particle Analysis

En la imagen 3-84 se visualiza el resultado de aplicar este instrumento virtual.

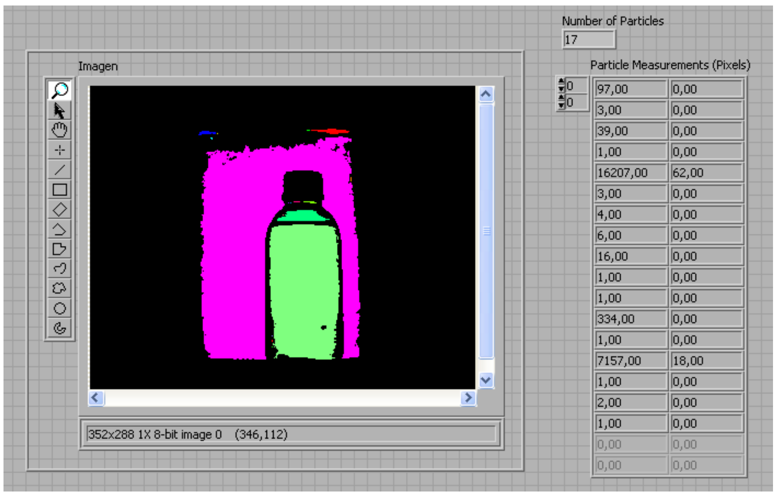


Imagen 3-84 Panel frontal con el resultado de usar IMAQ Particle Analysis

Búsqueda de patrones

En esta sección se presenta los instrumentos virtuales que nos permiten encontrar un patrón en una imagen, estos son: IMAQ Match Pattern 2 e IMAQ Find Pattern.

En la imagen 3-85 se presenta IMAQ Match Pattern 2, la cual debe trabajar conjuntamente con IMAQ Setup Match Pattern 2 (imagen 3-86).

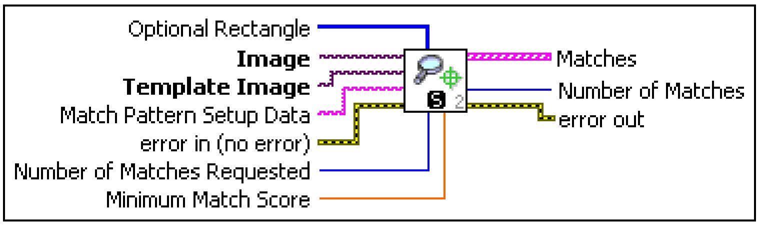


Imagen 3-85 IMAQ Match Pattern 2

Además de proporcionarle la imagen en donde se realizará la búsqueda y la plantilla a ser buscada, existen otros parámetros necesarios a ser definidos como: Match Pattern Setup Data el cual se proporciona a través de IMAQ Setup Match Pattern 2 (imagen 3-86), el número de coincidencias requeridas (Number of Matches Requested) y el mínimo porcentaje de coincidencia que va de 0 -1000 (Minimum Match Score), Optional Rectangle se usa para indicar el área de búsqueda, si no se conecta por defecto se busca en toda la imagen.

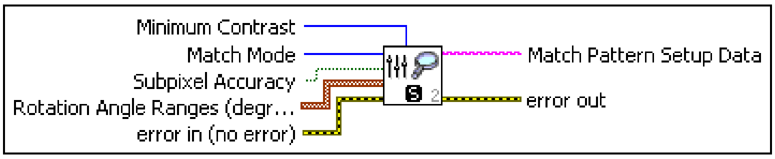


Imagen 3-86 IMAQ Setup Match Pattern 2

IMAQ Setup Match Pattern 2 proporciona una cadena de caracteres con información relevante al tipo de búsqueda que se realizará: modo de búsqueda (Match Mode) que puede ser invariante en el desplazamiento o en la rotación, precisión de subpíxeles (Subpixel Accurcy) y el rango de rotación permitido de la plantilla (Rotation Angle Ranges).

En la imagen 3-88 se proporciona un ejemplo donde se usan estos dos instrumentos virtuales para realizar la búsqueda de un patrón y en la imagen 3-89 se muestran los resultados. El patrón a ser buscado es la tapa de la botella (imagen 3-87).

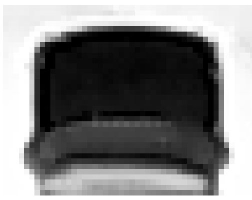


Imagen 3-87 Plantilla de la tapa de la botella

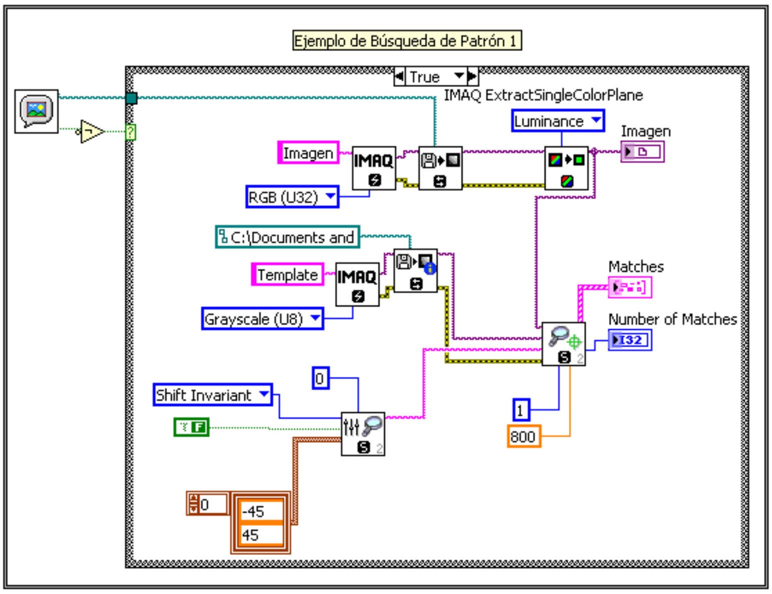


Imagen 3-88 Diagrama de bloques de búsqueda de patrones usando IMAQ Match Pattern 2

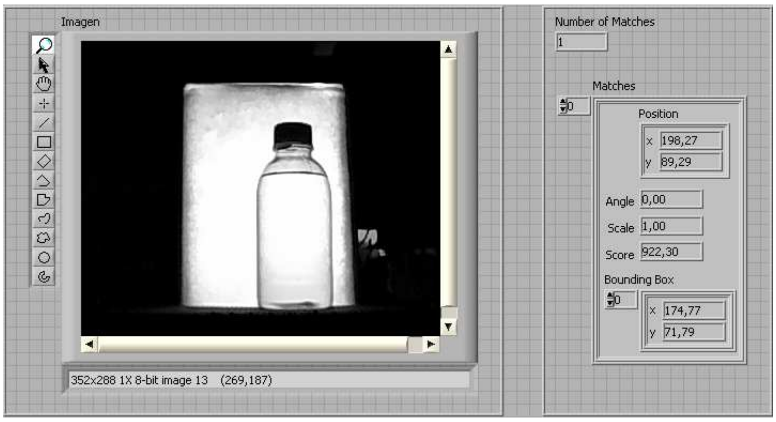


Imagen 3-89 Panel frontal con el resultado de buscar patrones usando IMAQ Match Pattern 2

IMAQ Find Pattern (imagen 3-90) tiene la ventaja de no necesitar otro VI que le ayude a configurar los parámetros de la búsqueda, además que permite sobreponer un rectángulo en la imagen para indicar donde se ha producido la coincidencia.

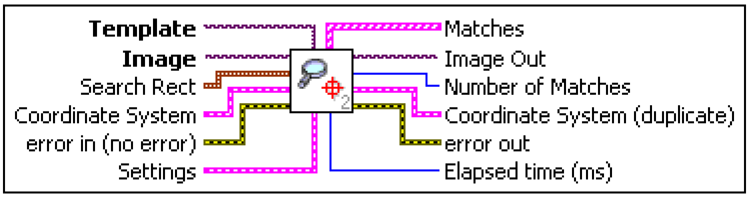


Imagen 3-90 IMAQ Find Pattern

A IMAQ Find Pattern se le debe proporcionar el rectángulo de búsqueda con una rotación respecto a su centro. Todos los parámetros de búsqueda se definen a través de la entrada Settings, en ella se definen el modo de búsqueda, el número de coincidencias a encontrar, el mínimo porcentaje de coincidencia, rango de tolerancia de rotación, precisión de subpíxeles, mostrar el área de búsqueda y el resultado.

En la imagen 3-91 se presenta un sencillo ejemplo del uso de este VI.

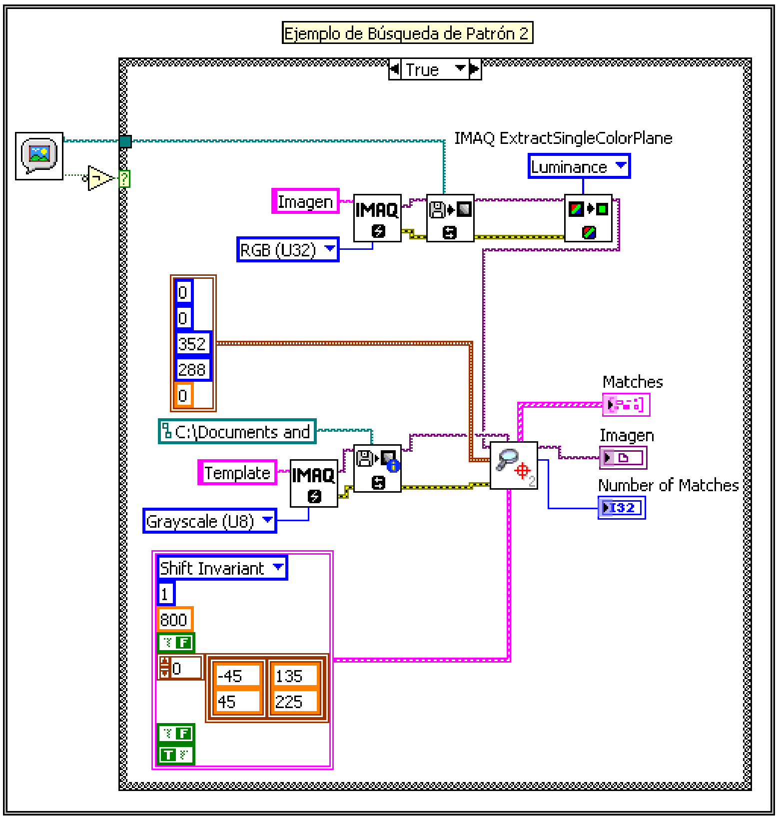


Imagen 3-91 Diagrama de bloques de búsqueda de patrones usando IMAQ Find Pattern

En la imagen 3-92 se muestra la salida Matches que proporciona información como coordenadas de la coincidencia, observe que la tapa del frasco se encuentra remarcada dentro de un rectángulo en el Image Display del panel frontal.

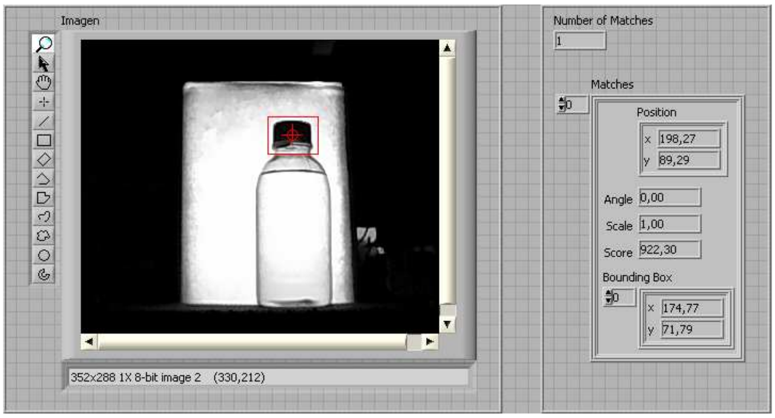


Imagen 3-92 Panel frontal con el resultado de buscar patrones usando IMAQ Find Pattern

Búsqueda de patrones de color

Para poder efectuar una búsqueda de patrones a color NI Vision proporciona IMAQ Match Color Pattern e IMAQ Setup Match Color Pattern.

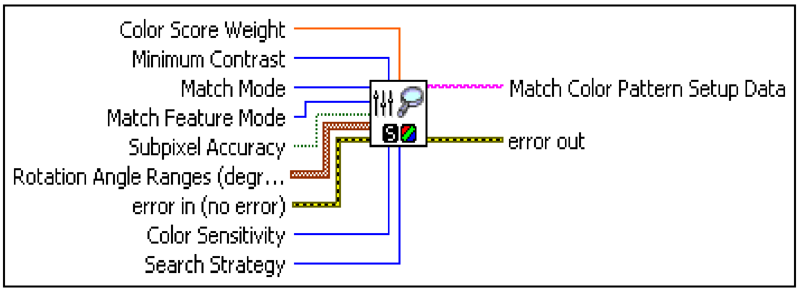


Imagen 3-93 IMAQ Setup Match Color Pattern

IMAQ Setup Color Pattern Match se utiliza para establecer los parámetros de la búsqueda, para mayor detalle se recomienda leer la ayuda proporcionada por el LabVIEW.

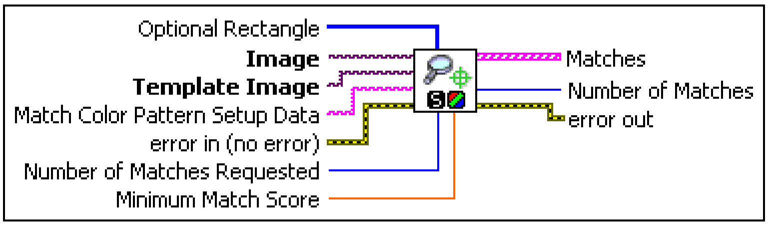


Imagen 3-94 IMAQ Color Pattern Matching

IMAQ Color Pattern Matching efectúa el algoritmo de búsqueda basado en los parámetros proporcionados por IMAQ Setup Pattern Matchig, al igual que IMAQ Pattern Matchig 2 se le debe proporcionar un número de coincidencias a buscar y el mínimo porcentaje de coincidencia.

En imagen 3-96 se proporciona un ejemplo del uso de este par de instrumentos virtuales, donde se busca la parte verde de la cápsulas, esa será la plantilla de búsqueda (imagen 3-95). Se ha establecido que muestre 6 resultados de las 12 posibles respuestas, por lo que el VI nos dará las de mayor porcentaje de coincidencia.

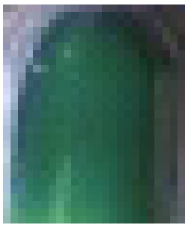


Imagen 3-95 Plantilla para la búsqueda a color

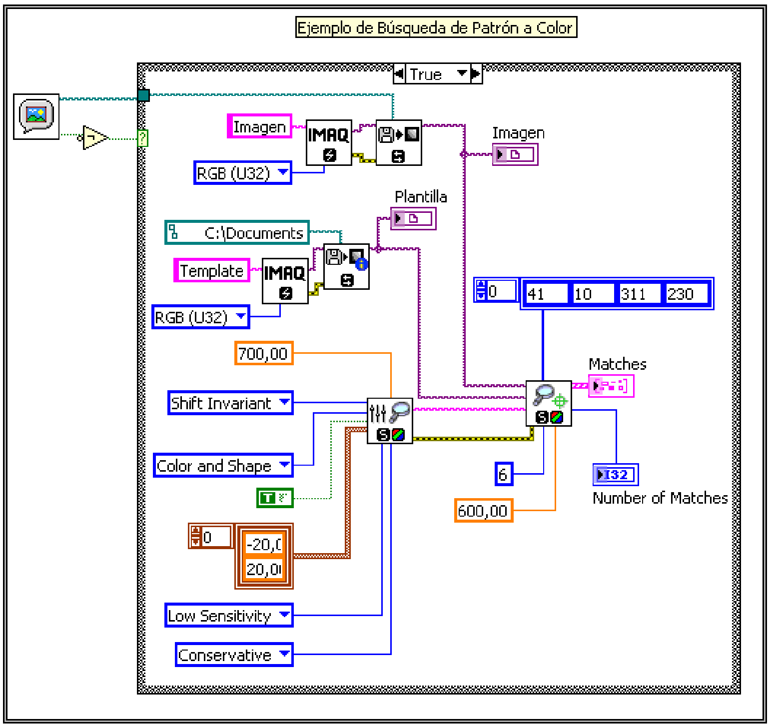


Imagen 3-96 Diagrama de bloques de búsqueda de patrón a color

La imagen 3-97 nos muestra el panel frontal con los resultados encontrados, las salida Number of Matches nos indica que hay 6 coincidencias, y en el arreglo Matches se puede observar la primera, para ver las demás solo es necesario cambiar el índice del arreglo.

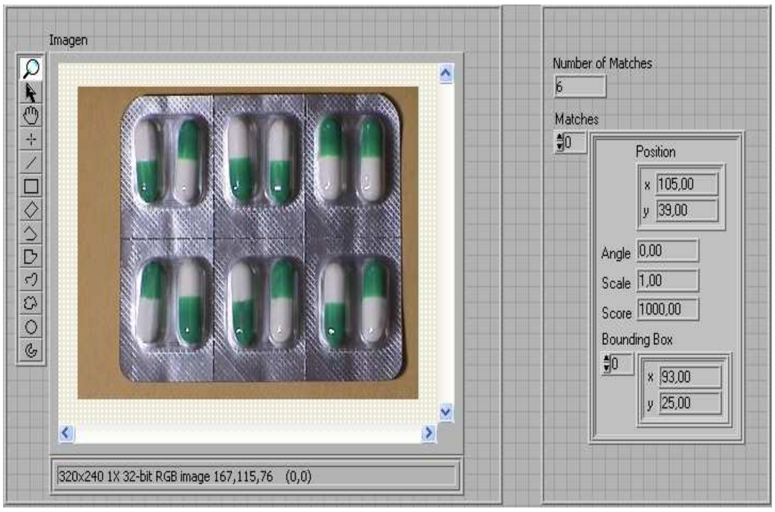


Imagen 3-97 Panel Frontal del resultado de la búsqueda del patrón a color

3.3 El por qué de utilizar dsPics

Las consideraciones principales para la utilización de los dsPics en el desarrollo de la tesis, se justifica en su uso en la banda transportadora y el manejo de los brazos robóticos, tanto el empuja frascos como el brazo robótico en sí, razones que se presentan a su consideración en las siguientes líneas:

Una característica que los vuelve potentes es el manejo de los motores a través de señales PWM, donde los dsPics utilizados brindan la facilidad de poseer hasta 5 señales PWM para motores controlados por HARDWARE, y adicionalmente se puede contar con un motor PWM creado mediante interrupciones por medio del uso de un contador, esto quiere decir que se cuenta con una señal PWM controlada por SOFTWARE.

Entre otras características que impulsan su uso, se puede encontrar que permiten el manejo de operaciones DSP, tales como acumuladores de 40 bits y la facilidad de realizar multiplicaciones de 17x17 bits; permitiendo la implementación de procesos digitales como filtros, convoluciones, etc.

También se conoce que son ejecutadas en un solo ciclo del dsPic un gran número de sus operaciones, entre ellas multiplicaciones, sumas, restas entre otras, una de estas excepciones se encuentra en el proceso de división que tarda cerca de 17 ciclos de instrucción en ejecutar esta operación.

Adicionalmente, se debe tener muy en cuenta las altas velocidades a las cuales pueden llegar a trabajar con un dsPic, los procesos pueden llegar a ser de 120 Mhz, esto quiere decir que llega a cumplir un ciclo de trabajo en más o menos 8,33 ns.

3.4 Desempeño de los dsPics

El dsPIC es un Controlador Digital de Señales (DSC) basado en características más potentes que los microcontroladores de 16 bits (MCU) al que se les han incorporado las principales prestaciones de los DSP para resolver óptimamente algoritmos para el tratamiento de imágenes y el sonido, ecuaciones matemáticas, etc. Permitiendo su aplicación en el campo del procesamiento de las señales analógicas y digitales

Los dsPics están disponibles con una amplia gama de periféricos para adaptarse a diversas aplicaciones. Las características que determinaron su uso son las siguientes:

- 6 módulos de control PWM, con salidas independientes o complementarias.
- 3 generadores de ciclo de trabajo.
- 3 Temporizadores dedicados para la generación PWM.
- Polaridad de la salida programable.
- 5 Módulos de Temporizadores con escala programable.
- 4 Temporizadores pueden ser utilizados en pares de 32 bits.
- 9 canales de convertidores analógicos a digital con una resolución de 10 bits y velocidad de 1 MSPS (millones de muestras por segundo).

3.5 Arquitectura básica para el control de motores

Los dispositivos dsPics son ideales para el control de motores que requieren más de un básico controlador de 8-bits.

El módulo de Control PWM (MCPWM) permite simplificar la tarea de generación múltiple, salidas moduladas de pulsos de ancho sincronizado. Particularmente, soporta el control de aplicaciones de movimiento y poder entre las que se encuentran: Motores de inducción trifásicos AC, Motores de Reluctancia Intercambiable (SR), Motores de paso, y fuentes de poder sin interrupciones (UPS).

Entre las aplicaciones que pueden ser ejecutadas están: manejo de torque, velocidad variable, control de servo o también denominado de posición, así también, reducción de ruido y eficiencia de energía.

El módulo PWM posee las siguientes características:

- Dos salidas por cada generador PWM.
- Operaciones complementarias o independientes para cada par de pines de salida.
- Modos múltiples de salida.
- Cada pin de salida asociado con el PWM puede ser habilitado individualmente.
- Anulación Manual.
- Actualizaciones de los ciclos de trabajos son configurables para ser inmediatas o sincronizadas al PWM.

La base de tiempo para el PWM es proveído por un temporizador de 15-bits con un pre-escalador y un post-escalador. Los 15 bits de la base de tiempo son accesibles por medio del registro PTMR.

La base de tiempo para el PWM puede ser configurado para operar en 4 diferentes modos:

- Modo de Corrida Libre.
- Modo de Un solo Evento.
- Modo de Conteo Continuo hacia Arriba/Abajo
- Modo de Conteo Continuo hacia Arriba/Abajo con interrupciones para actualizaciones dobles.

El periférico utiliza un temporizador dedicado para la generación de la frecuencia PWM. Esta máxima frecuencia de entrada es la frecuencia del ciclo de instrucción, pero la resolución extrema del ciclo de trabajo puede ser realzado utilizando la mitad de un ciclo de instrucción para mejorar su desempeño.

3.6 Opciones de Comunicación Disponible

Los tipos de comunicaciones disponibles tanto en los Pics como en los dsPics, permiten interconectar diferentes periféricos, estos pueden ser memorias seriales, convertidores analógicos – digitales, controladores digitales, registros de desplazamiento, computadoras personales, etc.

Entre estos tipos de comunicación se tienen:

- Circuito Inter-Integrado (I2C)
- Transmisor Receptor Universal Asincrónico (UART)
- Control de Redes de Área (Can)
- Interfaz Serial Periférica (SPI)

Interfaz Serial Periférica

El módulo de Interfaz Serial Periférica es una interfaz serial sincrónica muy utilizada para realizar comunicaciones con otros periféricos o microcontroladores.

Este módulo presenta modos flexibles de operación entre los cuales se encuentran:

- 8-bit y 16-bit Datos de Transmisión / Recepción

- Modos de Maestro y Esclavo

Circuito Inter-Integrado

El módulo de Circuito Inter-Integrado es una interfaz serial para comunicar con otros dispositivos y periféricos. Los dispositivos periféricos deben ser memorias EEPROM seriales, convertidores analógicos – digitales, etc.

Los módulos I2C pueden operar en cualquiera de los siguientes sistemas I2C:

- Donde los dsPic 30F actúan como un dispositivo Esclavo.
- Donde los dsPic 30F actúan como un dispositivo Maestro en un sistema de único maestro.
- Donde los dsPic 30F actúan como dispositivos Maestro / Esclavo en un sistema de Múltiples Maestros. El programa es simplemente dividido en un controlador maestro y un controlador esclavo.

Transmisor Receptor Universal Asincrónico

El módulo Transmisor Receptor Universal Asincrónico es uno de los módulos seriales de entrada / salida. El UART es un sistema de doble vía asincrónico que permite comunicar con dispositivos periféricos, como computadoras personales, interfaz RS- 232 y RS- 485.

Las características resaltables del módulo UART son:

- Posee un Generador de tasa de baudios completamente integrada con un pre-escalador de 16-bits.
- El rango de la tasa de baudios va desde los 29 bps hasta 1.875 Mbps, cuando el ciclo de trabajo es de 30 MHz.
- Modo de lazo cerrado para soporte de diagnóstico.
- Interrupciones de transmisión y recepción.
- Posee soporte para modo de 9-bits con detección de direcciones.

Control de Redes de Área

El módulo de Control de Redes de Área es una interfaz serial muy utilizada en las comunicaciones entre dispositivos periféricos.

La interfaz o protocolo fue diseñada con la finalidad de permitir comunicaciones en ambientes con altos niveles de ruido, siendo su característica principal que lo diferencia de los otros módulos de comunicación.

CAPITULO 4

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBIEDADES

4.1 Características de la Plataforma para dsPic 30F4011

La plataforma para dsPic 30F4011 permite el manejo de las cuatro bandas transportadoras, permitiendo establecer y controlar sus velocidades, sentido del desplazamiento y la verificación de su funcionamiento. También es capaz de poder comunicarse con el computador a fin de poder recibir parámetros de configuración de instrumentos virtuales creados en LabVIEW.

A continuación se hace una breve descripción de las señales que es capaz de manejar la plataforma de control.

- 4 señales de salida PWM para manejar la velocidad de cada banda.

- 8 señales de salida para indicar el sentido de movimiento de cada banda. Cada banda recibe una señal de izquierda y de derecha.

- Una señal bidireccional para comunicación serial con el computador a través del circuito integrado MAX232

- 4 señales de entradas provenientes de los sensores ópticos reflex, que nos permiten determinar si existe algún problema físico en alguna de las bandas que puede ocasionar su detención.

- Una señal de entrada proveniente de un sensor reflex que se utiliza para detectar el frasco y poder manejar la detención del sistema de bandas.

- Una señal de entrada proveniente de un decodificador de pasos que se utiliza para el lazo de control de velocidad del sistema de bandas.

- Una interfaz de programación serial en circuito (ICSP)

Esta plataforma ha sido desarrollada en otro trabajo de investigación, para más detalles se puede revisar la Tesis de Grado “Diseño de dos bandas transportadoras de 100x10cm y dos de 30x10cm con motores controlados con dsPICs". En ella se puede leer que la tarjeta maneja un panel de control que permite el uso de la banda sin la intermediación de un computador; permitiendo establecer velocidad, dirección, arranque y parada de emergencia. También existe una interfaz para reprogramación.

Los instrumentos virtuales proporcionados por el trabajo de Tesis de Grado arriba mencionado se describen a continuación.

Instrumentos virtuales de establecimiento de la comunicación

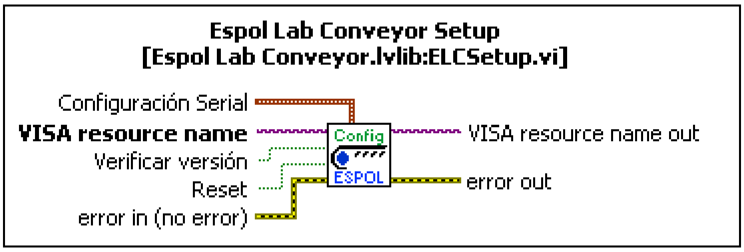


Imagen 4-1 Espol Lab Conveyor Setup

El VI de la imagen 4-1 nos permite establecer la comunicación con la plataforma controladora de la banda y el puerto serial del computador. A continuación una breve descripción de las entradas y salidas más relevantes:

- **VISA resource name:** en esta entrada se específica el puerto de comunicación del computador que usará

LabVIEW, podría ser por ejemplo: un puerto serial, USB o TCP/IP.

- **Configuración serial:** en este clúster de datos se proveen la tasa de baudios, la cantidad de bits de datos, bit de parada, control de flujo y control de paridad.

- **VISA resource name out:** es una copia de la referencia del instrumento seleccionado en la entrada VISA resource name. Esta salida se conecta a la entrada de los demás instrumentos virtuales

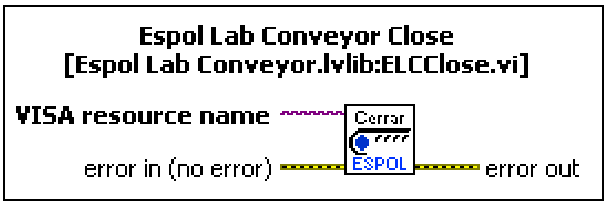


Imagen 4-2 Espol Lab Conveyor Close

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Close (imagen 4-2) nos permite cerrar la sesión de comunicación entre el computador y la plataforma controladora de la banda. Como se aprecia en la imagen 4-2 recibe como entrada la referencia del puerto de comunicación.

Instrumentos virtuales de configuración

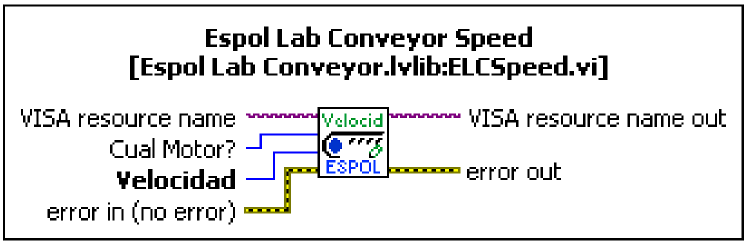


Imagen 4-3 Espol Lab Conveyor Speed

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Speed (imagen 4-3) nos permite establecer las velocidades para cualquiera de las cuatro bandas transportadoras del sistema de bandas. A continuación una breve descripción de sus entradas y salidas más importantes:

- **VISA resource name:** es la referencia al puerto de comunicación.
- **Cual Motor?:** esta entrada de tipo MENU RING, permite seleccionar el motor sobre el cual se procederá a establecer la velocidad. Entre las opciones se tiene: motor 1 al motor 4, además de una quinta opción que permite seleccionar todos los motores.
- **Velocidad:** mediante esta entrada se especifica la velocidad de los motores, la cual se debe proporcionar en milímetros por segundo.

- **Visa resource name out:** es una copia de la referencia del puerto de comunicación en uso

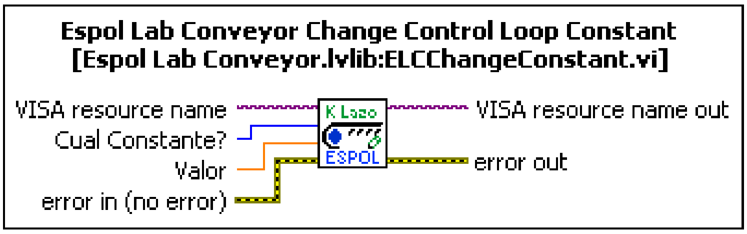


Imagen 4-4 Espol Lab Conveyor Change Control Loop Constant

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Control Loop Constant (imagen 4-4) nos permite cambiar el valor de los parámetros del lazo de control de velocidad del sistema de bandas. Entre sus entradas y salidas se tienen:

- **VISA resource name:** es la referencia al puerto de comunicación.

- **Cual Constante?:** esta entrada de tipo MENU RING, permite seleccionar la constante del lazo del control de velocidad a la cual se le va a establecer un valor. Se puede seleccionar entre kp (constante de proporcionalidad) y ki (constante de integración).

- **Valor:** mediante esta entrada se específica el valor de la constante que se está configurando.

- **Visa resource name out:** es una copia de la referencia del puerto de comunicación en uso.

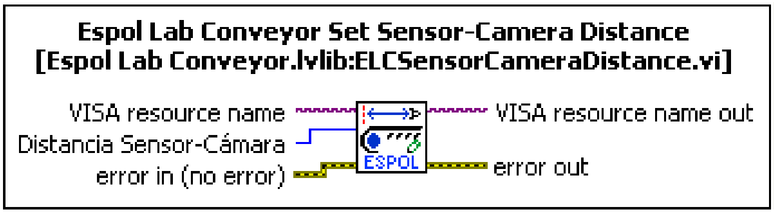


Imagen 4-5 Espol Lab Conveyor Set Sensor-Camera Distance

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Set Sensor-Camera Distance (imagen 4-5) permite establecer la distancia entre el sensor óptico y el punto donde se detendrá el frasco, a través de la entrada Distancia Sensor-Cámara que debe ser en milímetros.

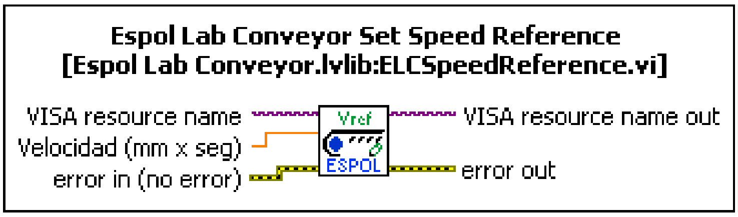


Imagen 4-6 Espol Lab Conveyor Set Speed Reference

Este instrumento virtual se utiliza para establecer la velocidad de referencia para el lazo de control de velocidad.

Instrumentos virtuales de movimiento

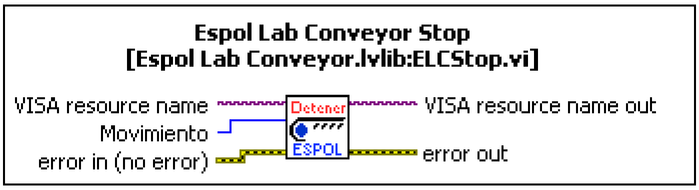


Imagen 4-7 Espol Lab Conveyor Stop

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Stop (imagen 4-7) permite la detención del sistema de bandas transportadoras.

- **VISA resource name**: es la referencia al puerto de comunicación.

- **Movimiento**: esta entrada de tipo MENU RING, permite seleccionar el tipo de detención: normal (detiene la banda dejando de proporcionar energía a los motores), suave (detiene la banda disminuyendo la velocidad) y fuerte (detiene la banda conectado los devanados de los motores a tierra, ocasionando una detención brusca de la banda).

- **Visa resource name out**: es una copia de la referencia del puerto de comunicación en uso.

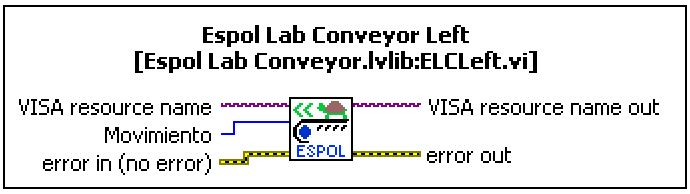


Imagen 4-8 Espol Lab Conveyor Left

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Left (imagen 4-8) permite establecer el sentido de movimiento de las bandas hacia la izquierda.

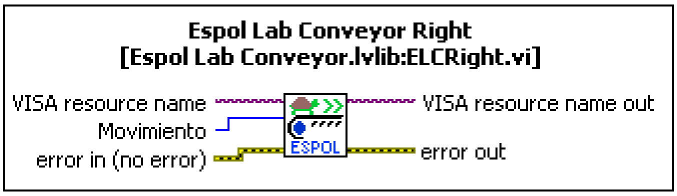


Imagen 4-9 Espol Lab Conveyor Right

El instrumento virtual Espol Lab Conveyor Right (imagen 4-9) permite establecer el sentido de movimiento de las bandas hacia la derecha.

Espol Lab Conveyor Left y Espol Lab Conveyor Right tienen una entrada de tipo MENU RING llamada Movimiento. Esta entrada permite seleccionar tres tipos de cambios de velocidad: normal (hace girar la banda en la dirección deseada aplicando energía en los devanados de los motores), suave (hace girar la banda en la dirección deseada incrementando la velocidad paulatinamente) y fuerte (hace girar la banda en la dirección deseada preestableciendo la máxima velocidad para que la banda arranque inmediatamente).

4.2 Especificaciones para el diseño del sistema de control

Para el correcto funcionamiento del sistema de control se hace necesario definir las limitantes involucradas en el planteamiento del problema.

Un punto primordial se basa en la definición de las características de la palabra turbiedad, la cual es usada para describir un líquido que posee una variación en la tonalidad de su color natural, ya que es la característica que el sistema debe de controlar. Además del control de tonalidad de los frascos y su contenido, se realizará la búsqueda de objetos o sustancias extrañas en los mismos.

Entre otras consideraciones se tiene características principales referentes al tipo de frasco utilizado con sus medidas específicas, tipo de contenido y nivel del líquido. A continuación se muestra una información mas detalla sobre cada una.

Características del Frasco

El tipo de frasco a utilizarse es elaborado de plástico. Entre las características más importantes que presenta, se encuentran:

- Cristalinidad.
- Alta resistencia al desgaste.

- Buena resistencia química.
- Buenas propiedades térmicas
- Totalmente reciclable
- Ligero
- Alto grado de transparencia.

La forma del frasco a utilizar es cilíndrica, con una altura de 10.7 cm y un ancho en su base de 4.3 cm; y posee una tapa de color blanco, tal como se muestra en la imagen 4-10.

Imagen 4-10 Dimensiones del frasco

Características del Líquido

El liquido contenido en el frasco debe ser de constitución uniforme, homogéneo y translúcido, para el presente proyecto se utilizó agua potable. Además se debe tener en cuenta el nivel del líquido envasado, fijado a una altura aproximada de 7.6cm correspondiendo aproximadamente al 74% de la altura total. La imagen 4-10 nos muestra el nivel aconsejable de líquido para un correcto funcionamiento del algoritmo.

Características del Entorno

El entorno de trabajo debe ser un ambiente cerrado, de manera que se limiten las interferencias luminosas dentro del sistema. Para lo cual se utiliza una caja de material resistente, tal como se muestra en la imagen 4-11, además de un sistema de iluminación interna de manera que se posea una iluminación controlada, constituido por una caja de iluminación de fondo, que contiene un fondo blanco y un foco de luz fluorescente con una potencia de 20W, correspondiente a la imagen 4-12. La pantalla del sistema de iluminación está conformada por dos hojas de papel plano y dos hojas de papel bond de 75 gramos, este detalle es de vital importancia ya que proporciona la iluminación adecuada para la cual se encuentran configurados los algoritmos de detección de turbiedades.

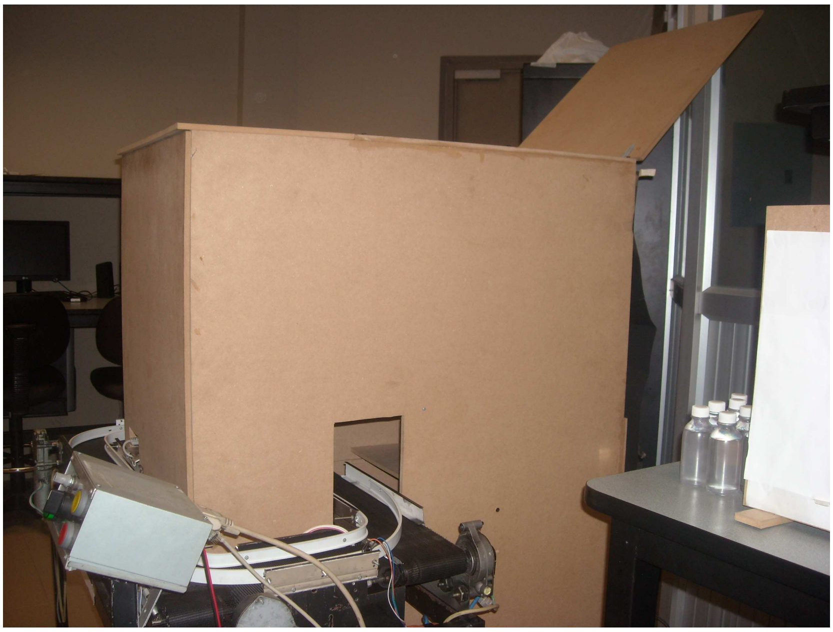


Imagen 4-11 Caja para reducir el ruido

Imagen 4-12 Sistema de iluminación interno

4.3 Manejo del Brazo Robótico

El control de turbiedades, es una etapa de un proceso completo de control automatizado de un sistema de bandas transportadoras, que llevan sobre sí frascos con líquidos que cumplen con las características descritas en la sección 4.2. Para llevar a cabo la aceptación o rechazo es necesario utilizar un mecanismo que nos permita detener las botellas en una posición fija y empujarlas fuera de la banda si éstas no cumplen con las normas establecidas.

De ahí la necesidad de utilizar un brazo empuja frasco, el cual fue desarrollado con su respectiva tarjeta controladora y programas de control para LabVIEW en el trabajo de tesis “Diseño de brazo robótico y diseño de brazos empuja frascos controlados por LabVIEW y DSPICS”. Entre las características del brazo empuja frascos descritas en ese trabajo se tiene:

- El brazo empuja frasco tiene una base con un rango de movimiento de 180º.
- Tiene dos extensiones, una cóncava con la forma de la botella y otra recta perpendicular al frasco y paralela al frasco.

- Usando la parte cóncava es capaz de expulsar el frasco de un solo movimiento.

- La extensión recta se usa para detener el frasco, justo delante de la cámara.

Para el control del brazo robótico y brazo empuja frascos, el trabajo “Diseño de brazo robótico y diseño de brazos empuja frascos controlados por LabVIEW y DSPICS”, diseñó una tarjeta controladora con un dsPic 30F4012. El cual tiene las siguientes características:

- Posee una interfaz de comunicación serial con el computador.

- Tiene 6 señales de salida PWM para control de los motores: 5 para los servomotores del brazo robótico y uno para el servomotor del brazo empuja frasco.

- Tiene una interfaz para programación serial en circuito (ICSP).

Esta tarjeta controladora es capaz de comunicarse con un computador y permitir el manejo del brazo robótico y el empuja frasco a través de un programa en LabVIEW. Los detalles de estos instrumentos virtuales que permiten la comunicación se describen en la sección 4.5.

4.4 Diseño del Programa Controlador de Turbiedades en LabVIEW con el uso del paquete IMAQ

Una vez realizado los ajustes iniciales del sistema, el control del mismo debe satisfacer plenamente con las expectativas en cuanto al análisis de turbiedades, razón por la cual se ha considerado necesario dividir el análisis del frasco en diferentes etapas, de manera que cada una sea lo más independiente posible de sus similares; y si una falla tener la certeza de alguna de las otras reportará la inconformidad del control de calidad proporcionando un algoritmo de análisis altamente eficiente y con bajo porcentaje de error.

Dado que pueden existir variedad de problemas que generan las turbiedades en el frasco, se tomó la decisión de segmentar un frasco en 3 partes, tal como se muestra en la imagen 4-13. La primera corresponde al análisis superior, la siguiente al análisis central y se finaliza con el análisis inferior. Adicionalmente se ha considerado el análisis de color, pensado en el caso que algún frasco presente un cambio en la tonalidad del líquido contenido.

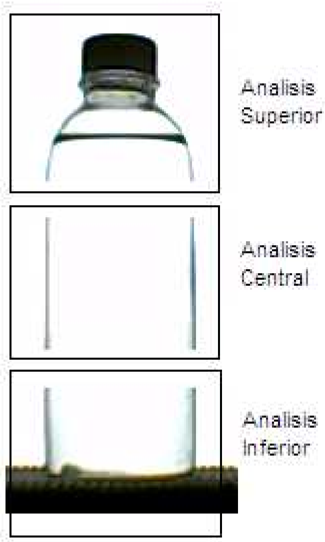


Imagen 4-13 División de áreas de interés del frasco

Diagrama de Bloques

En esta parte se plantea la forma como funcionará la aplicación de detección de impurezas, elaborando un esquema, desde una perspectiva muy general, su funcionamiento.

Para la aplicación se plantea el siguiente diagrama con bloques funcionales que permitan el manejo de diversas acciones que puedan ser ejecutadas de manera independiente; pero a la vez coordinadas por un bloque de control central, que en nuestro caso será el programa controlador diseñado en LabVIEW que estará en ejecución en el computador.

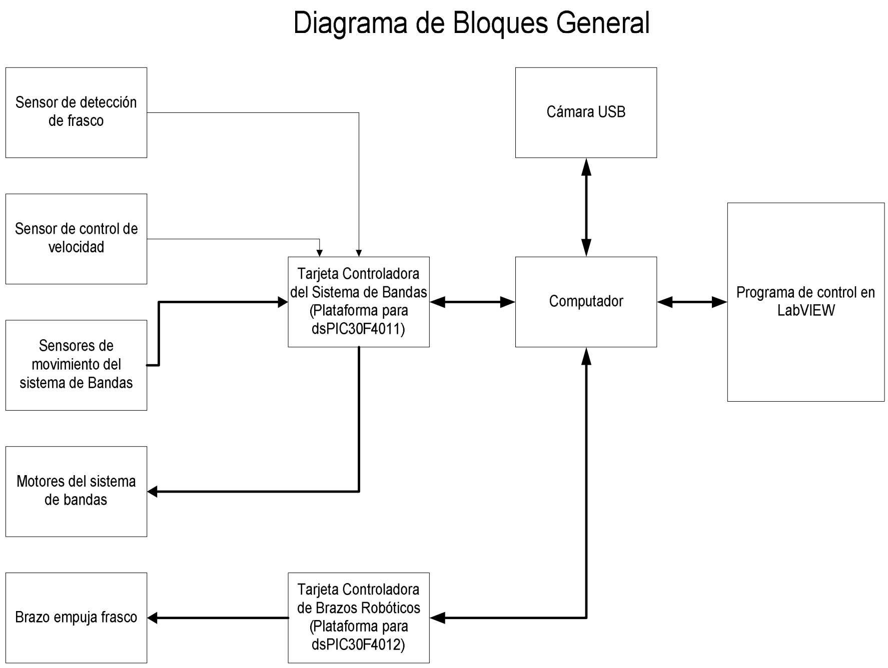


Imagen 4-14 Diagrama de boques general

En el diagrama de bloque planteado se puede apreciar que los elementos funcionales necesarios para el desarrollo de está aplicación son los siguientes:

- Sistema de bandas transportadoras.
- Tarjeta Controladora del sistema de bandas transportadoras.
- Sensores para detención y detección de movimiento de las bandas.
- Brazo empuja frascos.
- Tarjeta controladora del brazo empuja frasco.

- Cámara USB
- Computador.
- Programa de control

De los elementos listados, el programa de control es el más importante en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación. El resto de elementos ya han sido desarrollados y adaptados para un funcionamiento armónico en conjunto.

El programa de control debe ser capaz de manejar la configuración y funcionamiento del sistema de bandas y el brazo empuja frasco, por lo cual debe incluir los instrumentos virtuales correspondientes que nos permitan realizar estas funciones. Este proceso de adaptación de las librerías que permitan el manejo de estos elementos será descrito en la sección 4.6, donde se darán detalles de la integración del análisis de turbiedades al sistema de banda y brazo robótico.

Se planeta un diagrama de bloques en la imagen 4-15, concerniente al programa que ejecuta las rutinas de control en LabVIEW.

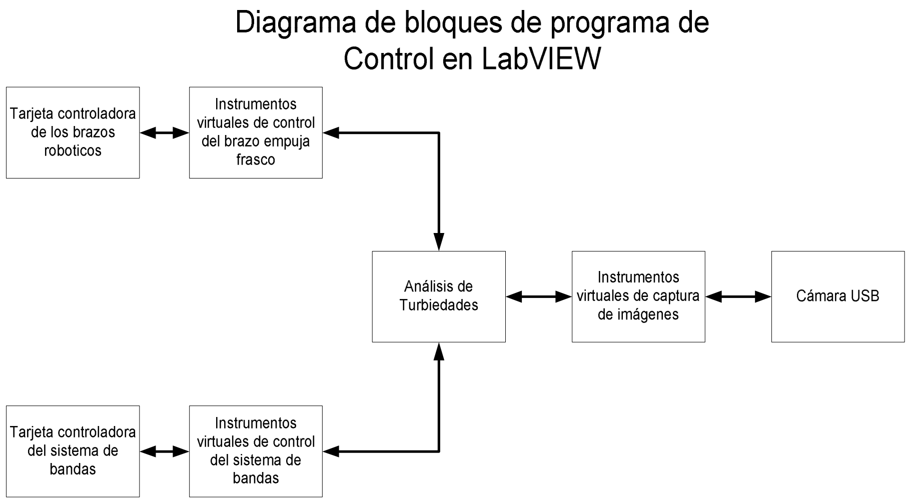


Imagen 4-15 Diagrama de bloques general del programa de control

Tal como se puede observar en la imagen 4-15, la parte principal se encuentra definida por el algoritmo de análisis de turbiedades; que interactúa de manera constante, tanto con los instrumentos virtuales que realizan el control del brazo empuja frasco, así como con los encargados de ejecutar el control del sistema de bandas.

También, se mantiene una comunicación con la cámara USB, manipulada por medio de los diferentes instrumentos virtuales.

Diagrama de Flujo

En función de los objetivos trazados para la detección de impurezas, se diseñó un programa principal que consta de 4 partes claramente definidas, que siguen el siguiente orden:

- Captura de la imagen.
- Determinación de las áreas de interés.
- Análisis del frasco.
- Comparación de color.
- Análisis superior.
- Análisis central.
- Análisis inferior.
- Aceptación o rechazo del frasco.

Este proceso puede se observado con una mayor claridad en la imagen 4-16, mostrada a continuación.

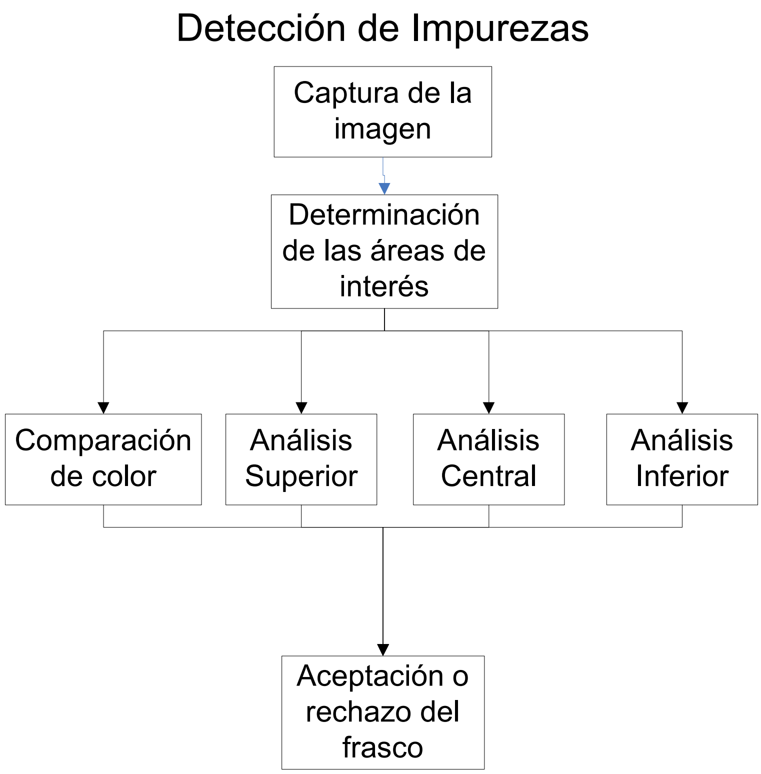


Imagen 4-16 Diagrama de flujo de la detección de impurezas

Tal como se puede observar en la imagen 4-16, en el paso 3 de este proceso existen un grupo de análisis que funcionan de manera totalmente independiente, brindando un alto porcentaje de fiabilidad al código implementado.

A continuación se presentará los diagramas de flujo secundarios, correspondientes a cada uno de los subprocesos ejecutados, ofreciendo una mejor visión de la solución a implementarse.

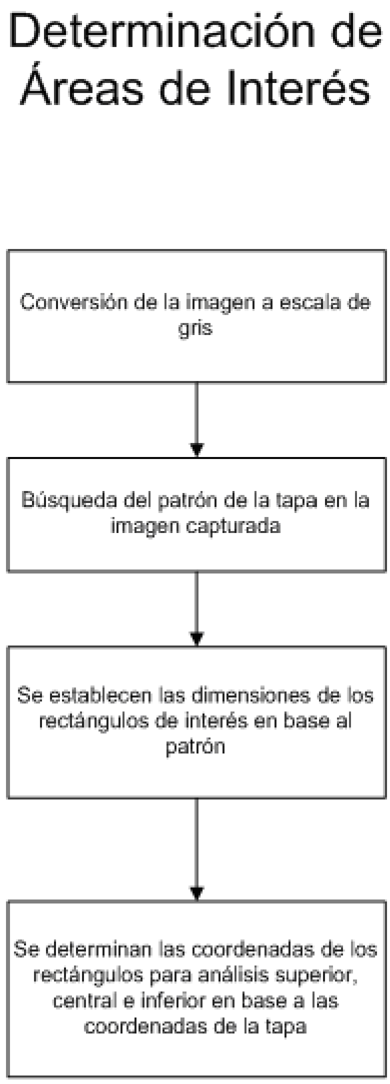


Imagen 4-17 Diagrama de flujo de la determinación de áreas de interés

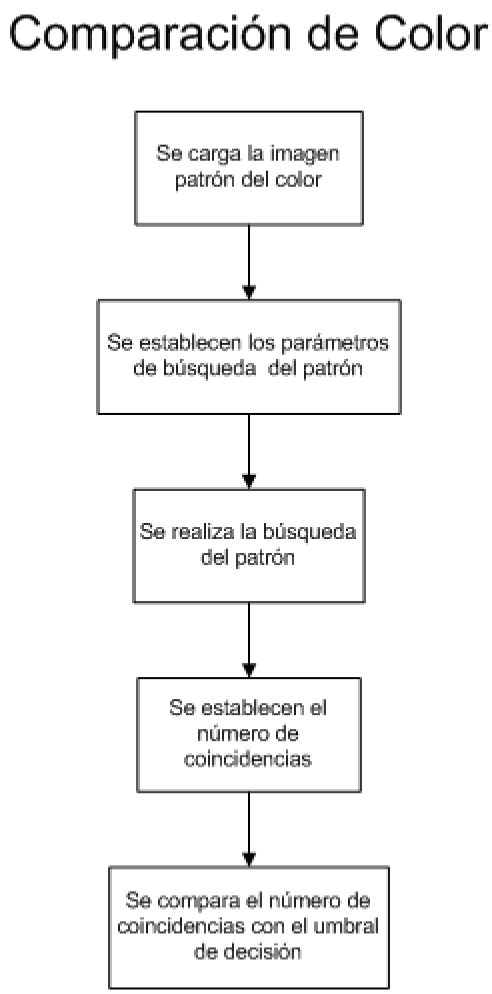


Imagen 4-18 Diagrama de flujo de la comparación del color

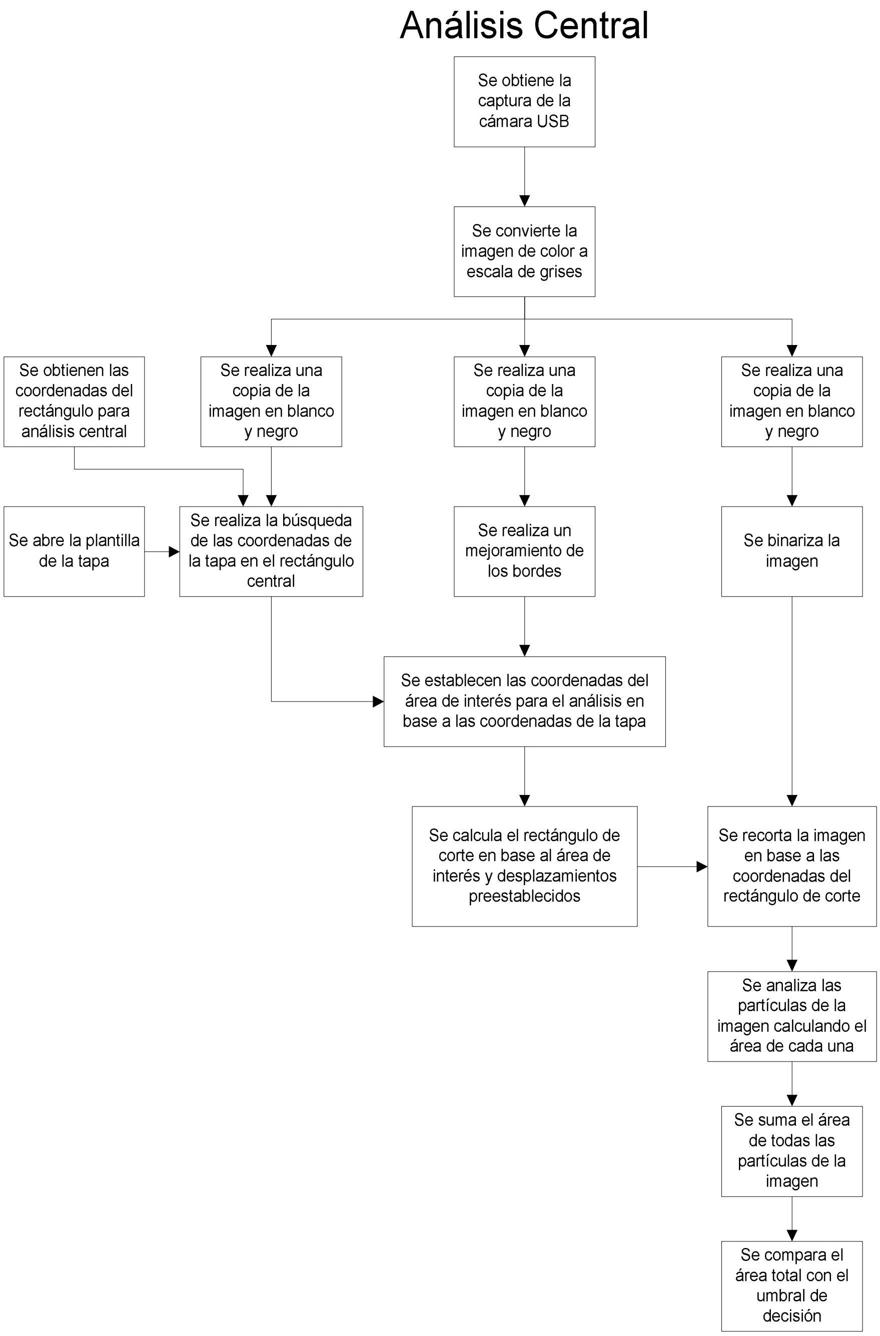


Imagen 4-19 Diagrama de flujo del análisis central

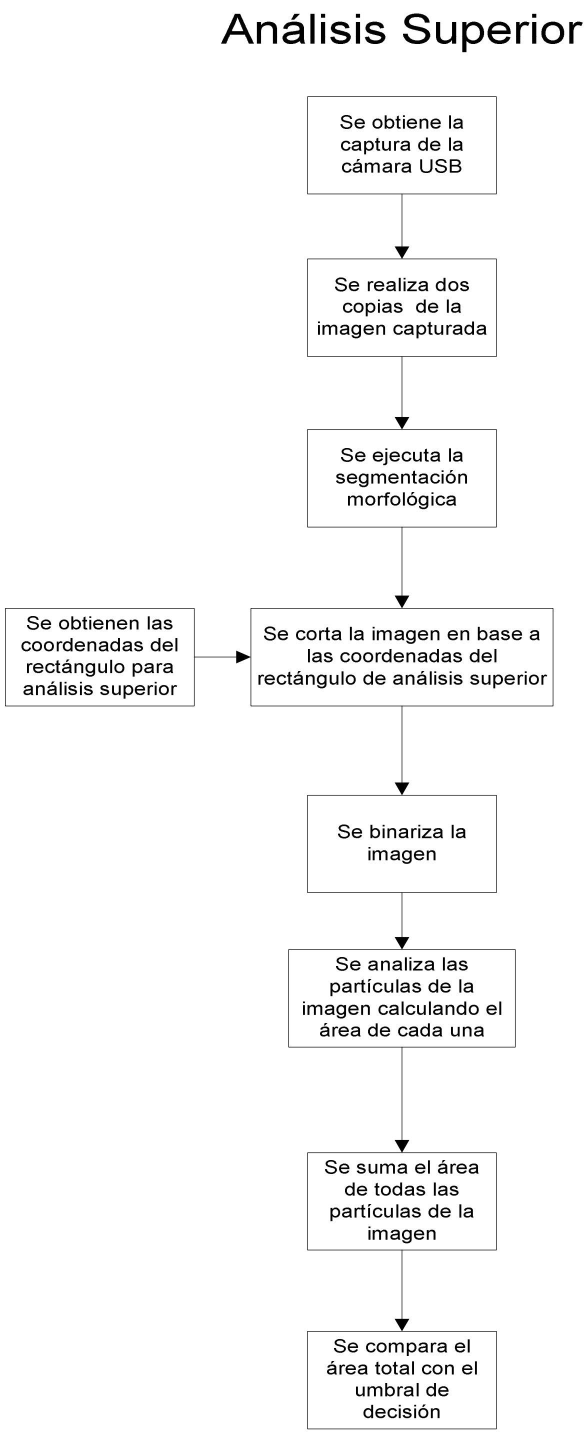


Imagen 4-20 Diagrama de flujo del análisis superior

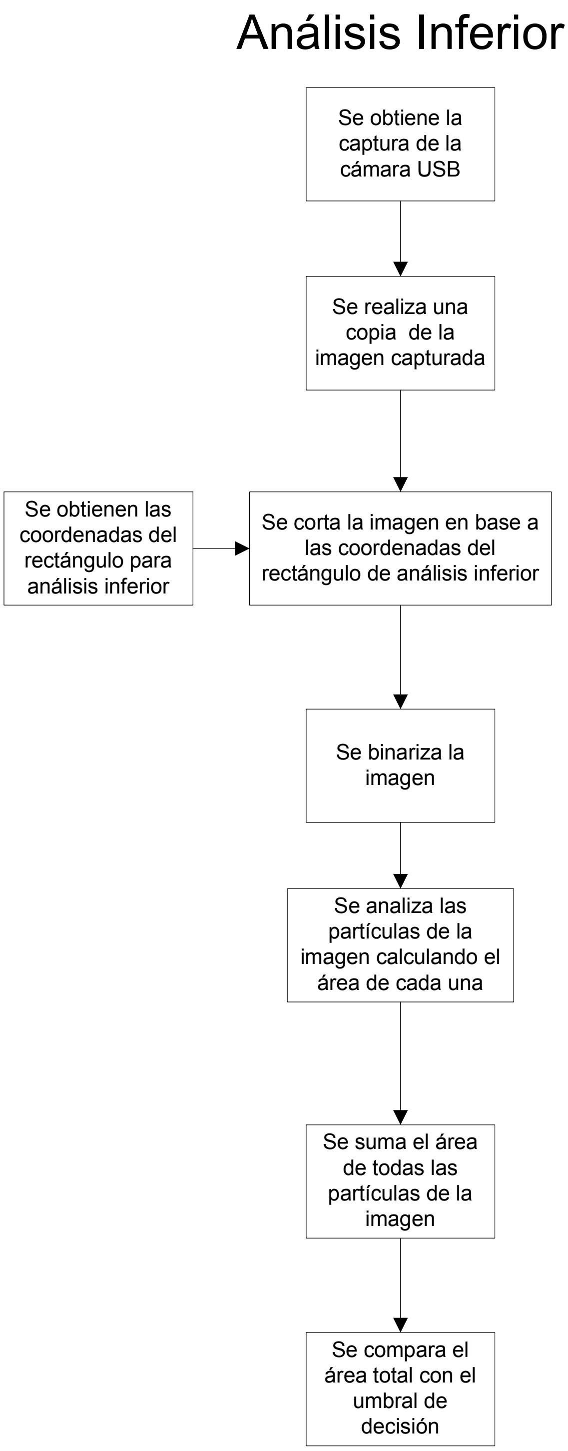


Imagen 4-21 Diagrama de flujo del análisis inferior

Código Gráfico de las principales etapas de análisis de impurezas.

Acorde al diagrama de flujo de la imagen 4-16, se procederá a mostrar las correspondientes implementaciones en el lenguaje gráfico de LabVIEW. Cada etapa ha sido creada tratando de usar los principios de abstracción y modularización que se utilizan en los lenguajes de programación estructurada u orientada a objetos (lenguaje C o Java respectivamente).

Captura de la Imagen

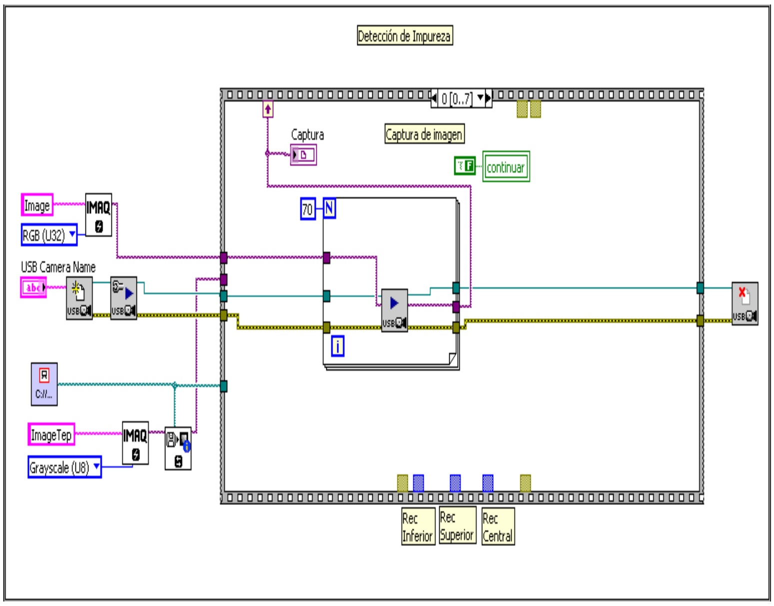


Imagen 4-22 Diagrama de bloques de la captura de la imagen

La etapa de captura de imagen no es muy diferente a los ejemplos proporcionados en el capítulo 3, sección 3.2.1; por lo cual no se incluirán demasiados detalles. Se conoce que se debe hacer la correspondiente abertura de la sesión de la cámara USB, el manejo del espacio de memoria para almacenar la imagen y la captura, que por motivos de rapidez se ha escogido el modo grab.

En la imagen 4-23 se tiene un ejemplo de imagen capturada en el sistema de bandas.

Imagen 4-23 Captura de un frasco en el sistema de bandas transportadoras

Determinación de las áreas de análisis.

La etapa anterior simplemente provee la imagen de la botella en el sistema de bandas transportadoras. Como se puede apreciar en la imagen 4-23, la botella se ha detenido un poco antes del tope del brazo empuja frascos, aquello impide que podamos asumir que la botella siempre se detendrá en una determinada posición.

Debido a la variabilidad de la posición de la botella, se hizo imperante primero ubicarla en toda la imagen; una vez determinada la ubicación de la botella poder determinar sus respectivas áreas para análisis.

Con la finalidad de delimitar las regiones se usa el instrumento virtual que se puede observar en la imagen 4-24.

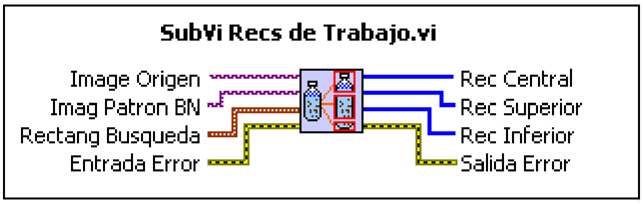


Imagen 4-24 VI Recs de Trabajo

Como se puede observar de la imagen 4-24 este instrumento virtual posee las siguientes entradas y salidas:

Imagen Origen: Recibe la referencia al espacio de memoria donde se encuentra alojada la imagen del frasco en el sistema de bandas.

Imagen Patron BN: corresponde al identificador de la imagen con la cual se desea realizar la búsqueda, esta imagen debe estar en escala de grises. Esta entrada permite buscar la botella.

Rectang Busqueda: identificador correspondiente a la ubicación (área) en la cual se desea realizar la búsqueda de la imagen patrón. Esta entrada se utiliza para evitar la búsqueda en toda la imagen, de manera que se pueda especificar solo el área que se encuentra delante del sistema de iluminación de fondo.

La implementación del instrumento virtual “SubVI Recs de Trabajo”, se puede apreciar en la siguiente imagen 4-25.

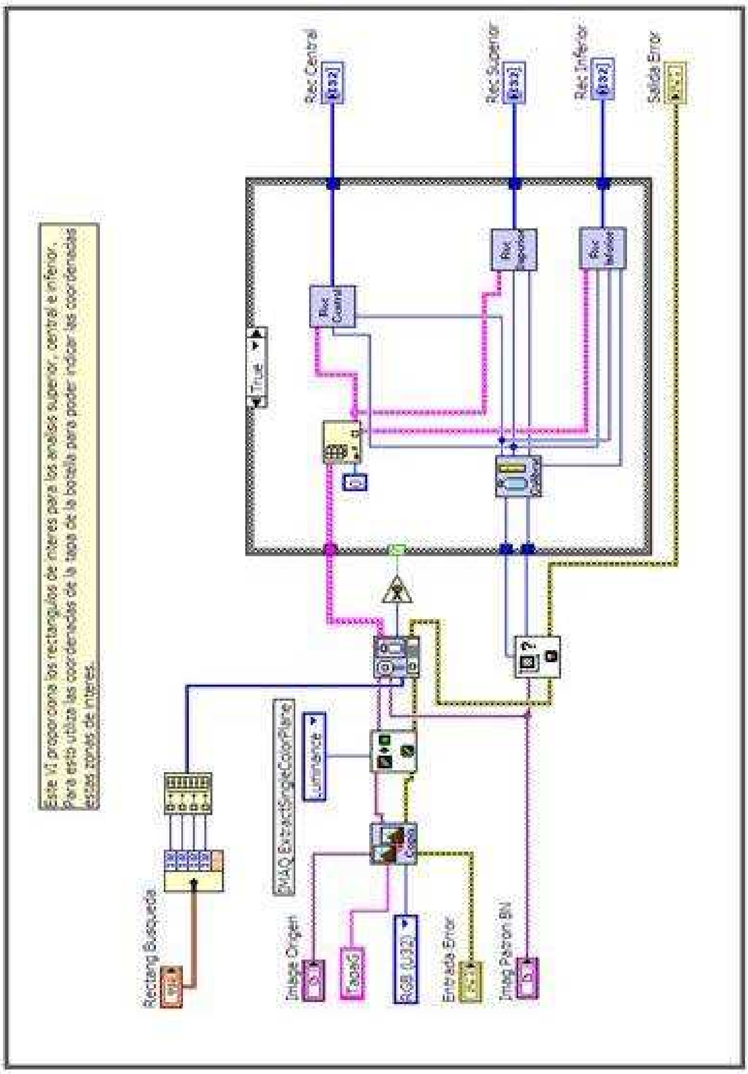


Imagen 4-25 Diagrama de bloques del VI Recs de Trabajo

En la parte inicial se observa que para realizar la selección y separación de áreas, el rectángulo de búsqueda debe ser modificado de manera que sea convertido en un arreglo, además se crea una copia de la imagen origen o también denominada fuente, generada por la captura de la cámara USB. Una vez realizada la Extracción del Plano de Luminiscencia se procede a realizar la búsqueda de la imagen patrón en el área definida, para este efecto se utiliza el instrumento virtual que se muestra en las imágenes 4-26 y 4-27.

Las etapas más importantes del VI “Rec de Trabajo” son los instrumentos virtuales: “Buscar Tapa” y “Calibrar”

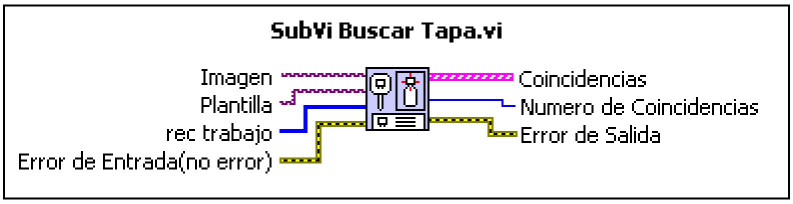


Imagen 4-26 VI Buscar Tapa

El VI Buscar Tapa, realiza básicamente una búsqueda de un patrón, el cual es la tapa de la botella, en la región especificada de la imagen. En la imagen 4-27 se aprecia su implementación.

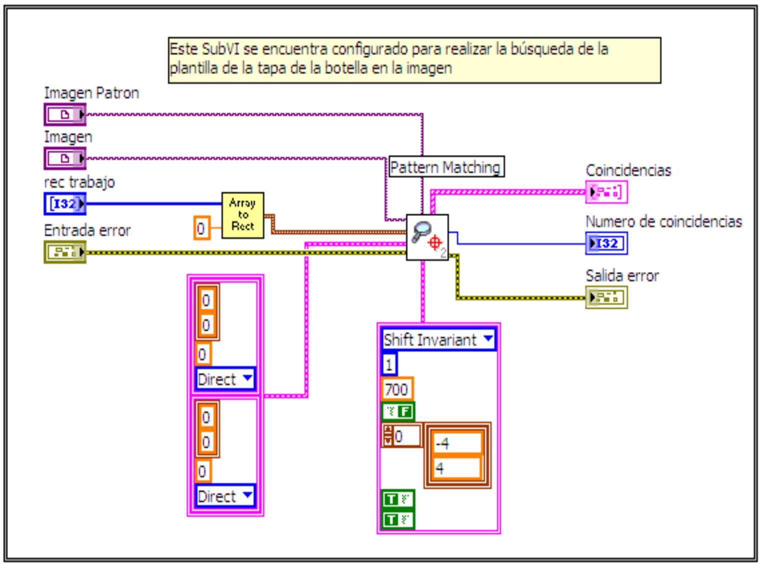


Imagen 4-27 Diagrama de bloques del VI Buscar Tapa

Como se aprecia en la imagen 4-27 además del VI "Array to Rec", que simplemente realiza la conversión de un arreglo de coordenadas a un clúster de coordenadas; se usa el VI "Find Pattern Matching 2", el cual ha sido explicado en la sección 3.2.2.7, simplemente se busca la plantilla (tapa de la botella) en la imagen.

Con las coordenadas de la tapa de la botella se pueden ubicar las áreas superior, inferior y central.

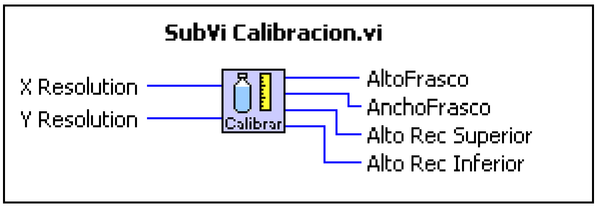


Imagen 4-28 VI Calibración

El instrumento virtual calibración, nos proporciona las dimensiones que deben tener los rectángulos de las áreas de interés en base al tamaño de la plantilla de la tapa.

La implementación del VI Calibración se puede observar en la imagen 4-29

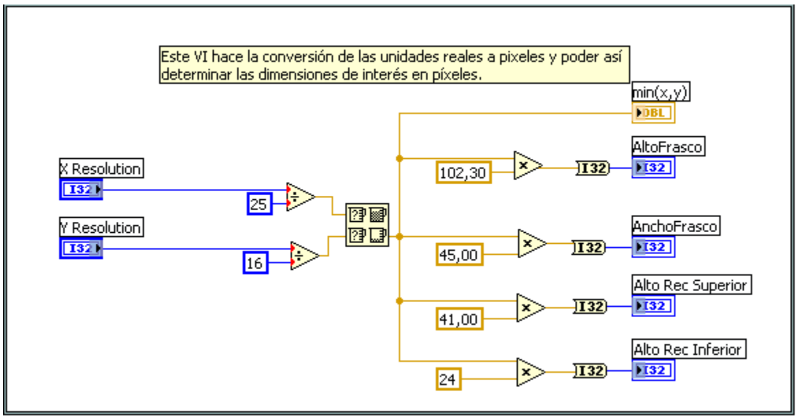


Imagen 4-29 Diagrama de bloques del VI Calibración

Como se observa en la figura anterior, el VI Calibración simplemente realiza la multiplicación de las resoluciones de la plantilla por constantes que guardan relación con las medidas originales de la tapa, es decir es una conversión de milímetros a píxeles.

Con la información de las proporciones y las coordenadas de la tapa en la imagen capturada se determinan los rectángulos de las áreas de interés: superior, central e inferior.

Rectángulo Superior: contiene las coordenadas de la parte superior del frasco. No abarca la tapa del frasco, va desde el cuello del frasco hasta por debajo del nivel esperado del contenido.

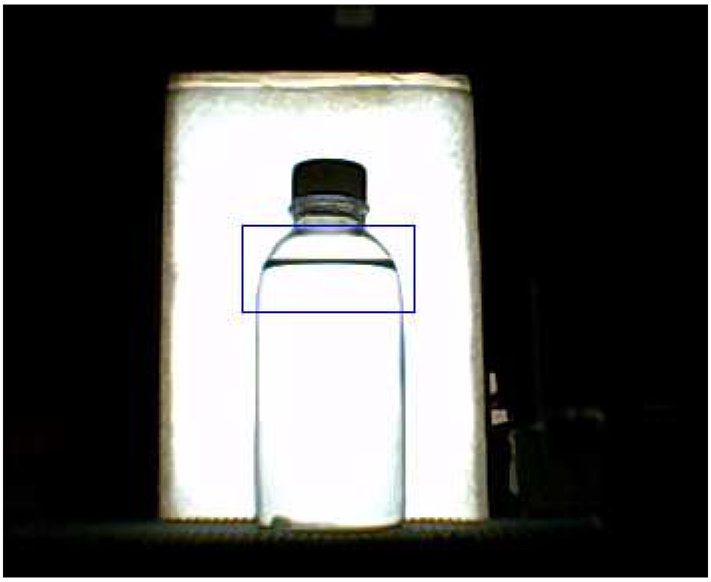


Imagen 4-30 Rectángulo superior

Rectángulo Inferior: contiene las coordenadas de la parte inferior del frasco.

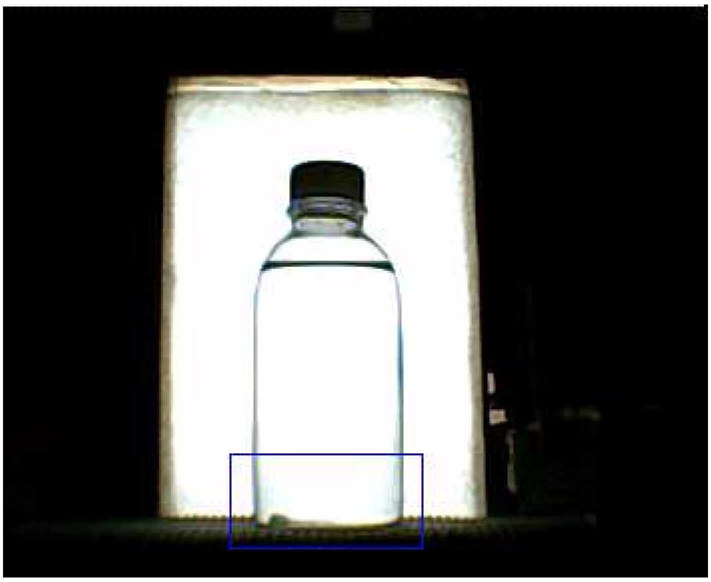


Imagen 4-31 Rectángulo inferior

Rectángulo Central: contiene el frasco completamente, tratando de contenerlo sin abarcar zonas sin interés para el análisis.

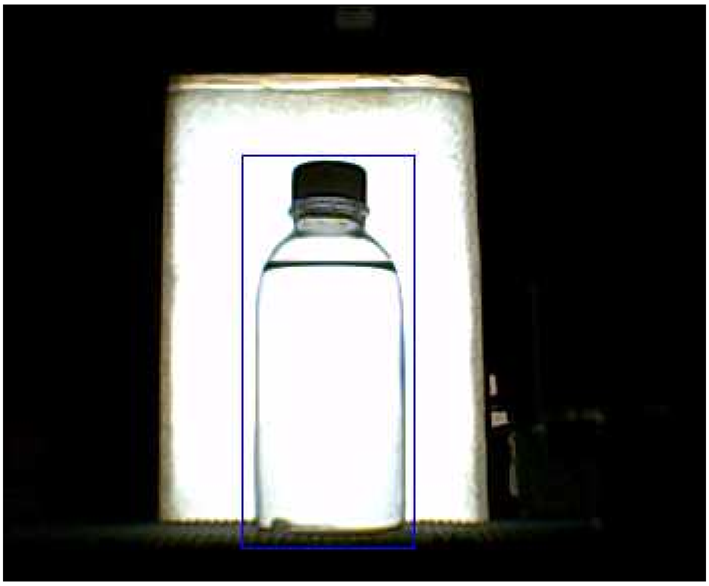


Imagen 4-32 Rectángulo central

Análisis de Color

Como se ha mencionado en las secciones previas, la detección de impurezas se ha dividido en varios procesos independientes que se basan en las herramientas explicadas en el capítulo 3 sección 2, por lo cual los detalles de los instrumentos virtuales de visión artificial no serán detallados nuevamente.

Para el análisis de color se creó un instrumento virtual homónimo, imagen 4-33. Posee como entradas: Imagen Origen, Rectángulo Busq, Ponderación Busq Color, Caso, Entrada Error. Y retorna como respuesta de salidas: Coincidencias, Num de Coincidencias y la salida de error.

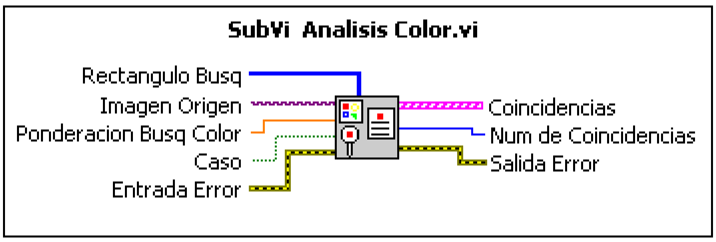


Imagen 4-33. VI Análisis Color

Rectangulo Busq: se usa para delimitar la zona donde se hará la comparación de color.

Imagen Origen: es una copia de la captura de la cámara USB.

Ponderación Busq Color: es el valor de umbral de comparación que permite decir si existe o no coincidencias

Coincidencias: es un arreglo de clúster información, entre ellas las coordenadas dónde hubo la coincidencia, en caso de no existir coincidencias este arreglo se encuentra vacío.

Num de Coincidencias: es una salida entera que permite conocer de manera rápida si existen o no coincidencias de color, en otras palabras si la imagen pasó o no la etapa de análisis de color.

En la imagen 4-34 se aprecia el uso de este VI en la detección de impurezas. Este proceso de la detección de impurezas tan solo consiste en buscar en el frasco coincidencias con el color normal del contenido.

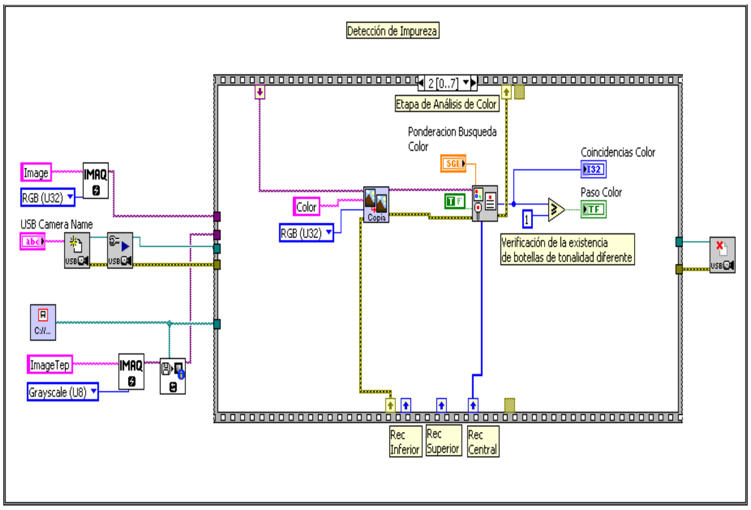


Imagen 4-34 Etapa de análisis de color

En la siguiente imagen 4-34, tenemos la estructura interna del VI Análisis de Color.

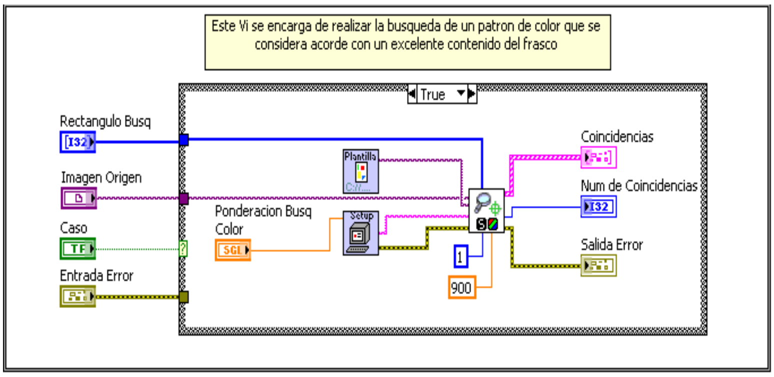


Imagen 4-35 Implementación del análisis de color

El análisis de color se basa en una búsqueda de patrones de color. El análisis presenta tres pasos fundamentales: abrir el archivo de la plantilla de color, establecer los parámetros de búsqueda y la búsqueda en sí.

Para poder acceder a la plantilla de color se usa el VI PlantillaColor (imagen 4-36), el cual proporciona tanto la ruta como la imagen de la plantilla de color.

Imagen 4-36 VI PlantillaColor

El segundo paso es la configuración de cómo se desea realizar la búsqueda y la comparación de similitud del color, el cual se realiza a través del VI Parámetros de Búsqueda Color (imagen 4-37).

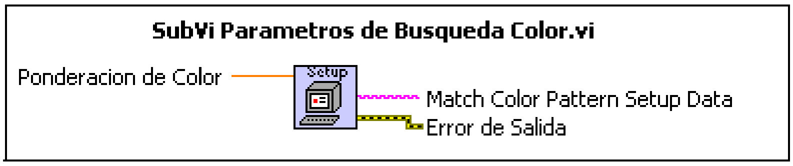


Imagen 4-37 VI Parámetros de Búsqueda Color

La parte de búsqueda se realiza a través del VI IMAQ Match Color Pattern. Este análisis retorna un arreglo de clústeres, que posee todas las coincidencias encontradas en el área de búsqueda. Además se ha utilizado la salida de cuantas coincidencias han sido localizadas.

Análisis Central

El proceso de análisis central ha sido diseñado, con la prioridad de que sea los más dinámico posible. A diferencia de análisis superior e inferior, que se limitan a analizar solo las regiones descritas en sus respectivos rectángulos; el algoritmo de análisis central se encarga de definir su área de trabajo.

Esto es posible gracias a las herramientas de mejoramiento y detección de bordes. A continuación hacemos una descripción de las etapas involucradas en este análisis.

El instrumento virtual creado para el análisis central se puede observar en la imagen 4-38, el mismo posee como entradas: Imagen Origen, Rectángulo Opcional, Ruta plantilla tapa, Caso, Entrada Error. Y retorna como respuesta las salidas: Imagen Salida, número de partículas, numero de partículas con sus respectivas mediciones y la salida de error.

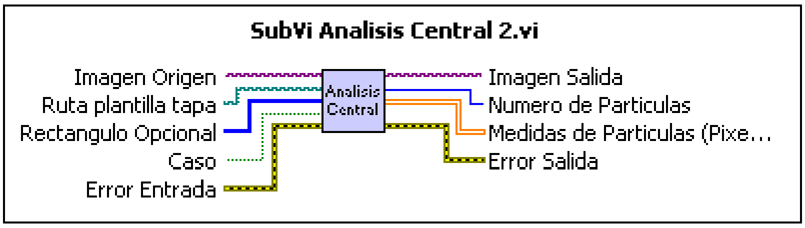


Imagen 4-38. VI Análisis Central 2

El algoritmo de Análisis Central consta de las siguientes etapas:

- Establecimiento de las coordenadas de la tapa
- Determinación de la región de interés para el análisis.
- Conversión de la imagen de escala de gris a binaria y análisis de las partículas.

Establecimiento de las Coordenadas de la tapa.

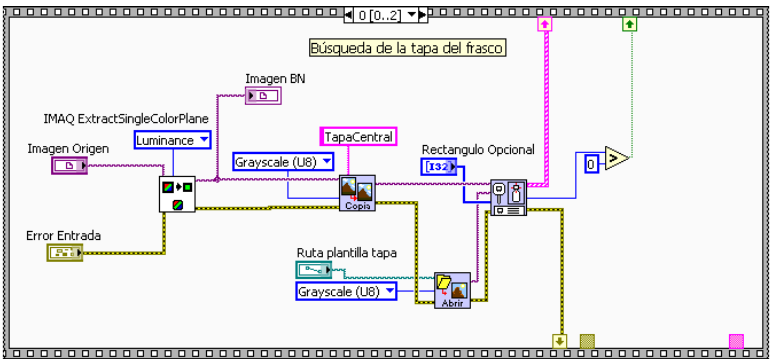


Imagen 4-39 Análisis central: establecimiento de las coordenadas de la tapa

En la imagen 4-39 se observa la primera etapa, no existen procesos muy complejos vinculados a esta etapa, se realiza una extracción del plano de luminiscencia, se copia la imagen para no alterar la original, se abre la imagen de la plantilla de la tapa, y finalmente se usa el VI de Buscar Tapa que también ya fue usado en el VI Recs de Trabajo.

Determinación de la región de interés para el análisis.

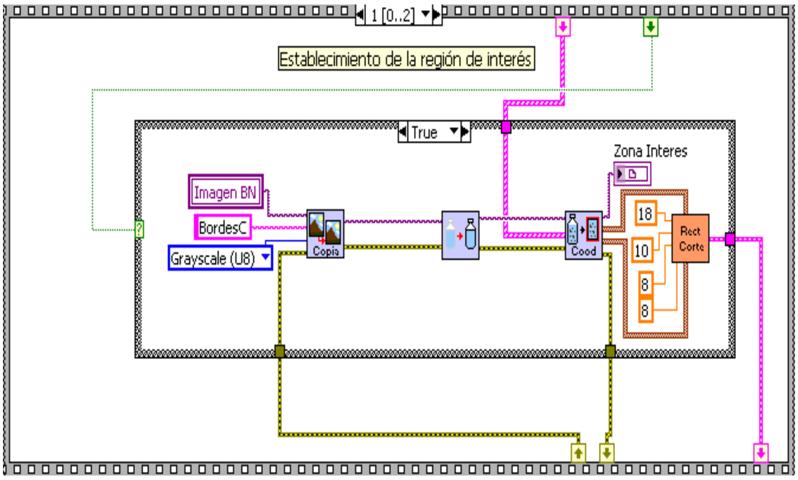


Imagen 4-40 Análisis central: etapa de establecimiento de la región de interés

A fin de poder determinar la región de interés, lo primero que se realiza en esta etapa, además de realizar una copia de la imagen para que la original se mantenga intacta, es mejorar los bordes.

El mejoramiento de bordes está a cargo del VI Mejoramiento de Bordes (imagen 4-41), el cual utiliza el método de Sobel para realizar el realce de éstos.

Imagen 4-41 VI Mejoramiento de bordes

El siguiente VI es Área Central Cood, el cual es el que provee la dinamicidad de la región de análisis para el área central.

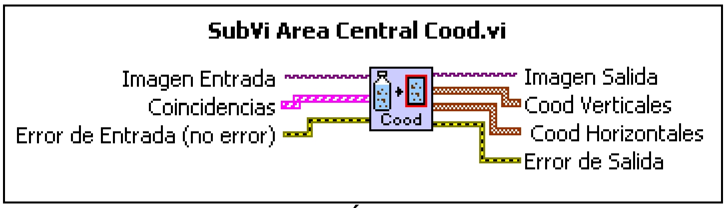


Imagen 4-42 VI Área Central Cood

La implementación del VI Área Central Cood se puede observar en la imagen 4-43.

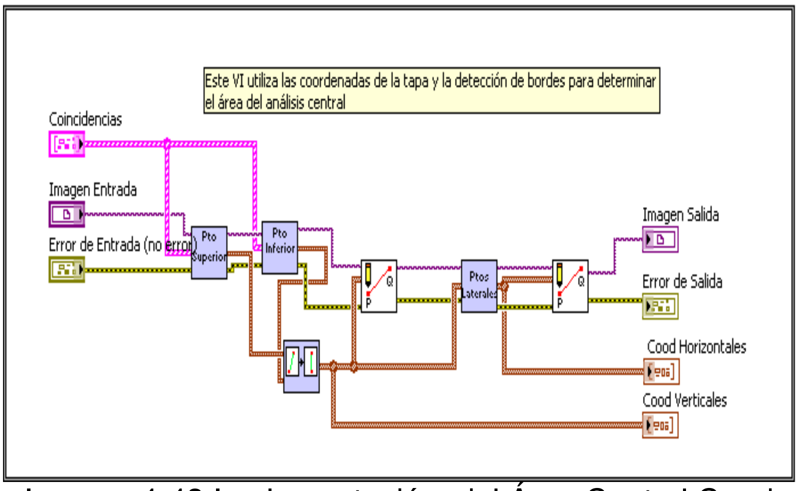


Imagen 4-43 Implementación del Área Central Cood

Todos los procesos son llevados a cabo gracias a las herramientas de detección de bordes. El primer borde que se detecta corresponde al nivel del contenido del frasco. El punto inferior se obtiene a través de la detección del borde de la banda, los puntos laterales se obtienen detectando los bordes del frasco. La imagen 4-44 ayuda a entender mejor esta descripción.

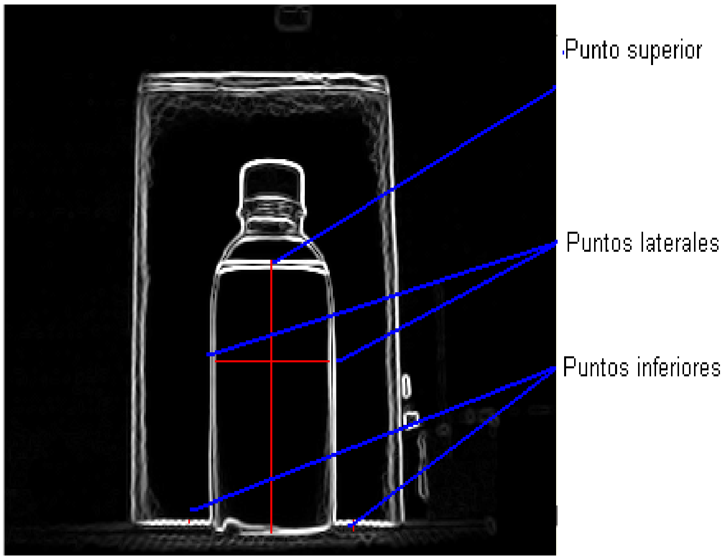


Imagen 4-44 Puntos de referencia en la determinación del área central

Debido a que los puntos obtenidos incluyen las paredes del frasco, los cuales no interesan en el análisis central, se puede añadir un desplazamiento a los bordes para determinar el rectángulo de interés final a través del VI Rec de Corte.

Conversión de la imagen de escala de grises a binaria y análisis de partículas

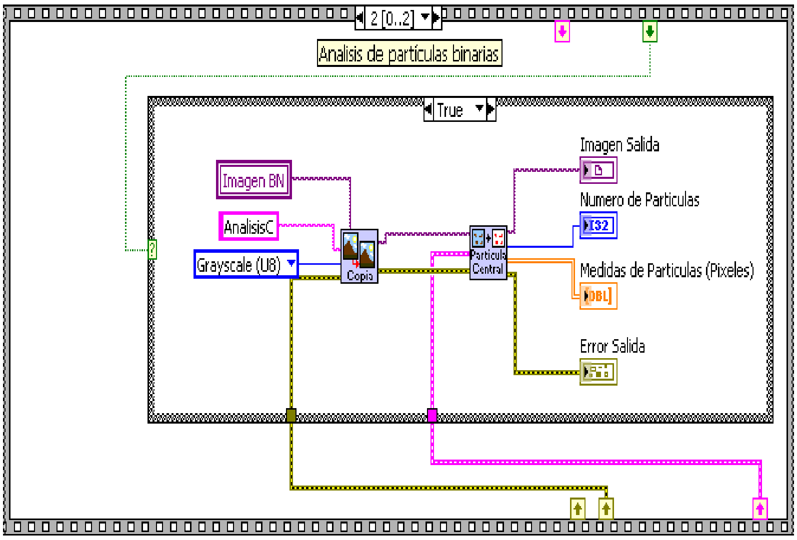


Imagen 4-45 Análisis central: conversión a escala de grises y análisis de partículas

Como se observa en la imagen 4-45 el principal proceso en esta etapa se lleva a cabo en el VI Partículas Central.

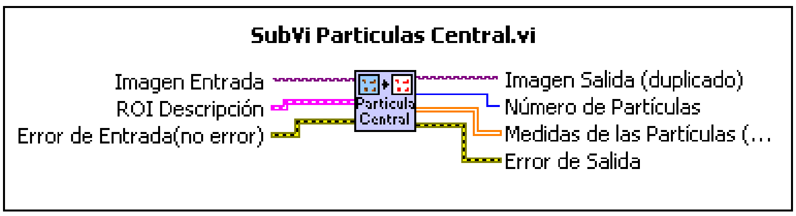


Imagen 4-46 VI Partículas Central

Este VI realiza la conversión a imagen binaria a través del método estadístico de entropía, recorta la imagen en base a las coordenadas del rectángulo de la región de interés y utiliza el VI de visión artificial IMAQ Particle Analysis descrito en el capítulo 3.

En la imagen 4-47 se aprecia el uso del VI Análisis Central en la detección de impurezas, donde se usan los datos de áreas de las partículas de la región central, se saca un total del área y se lo compara con un umbral.

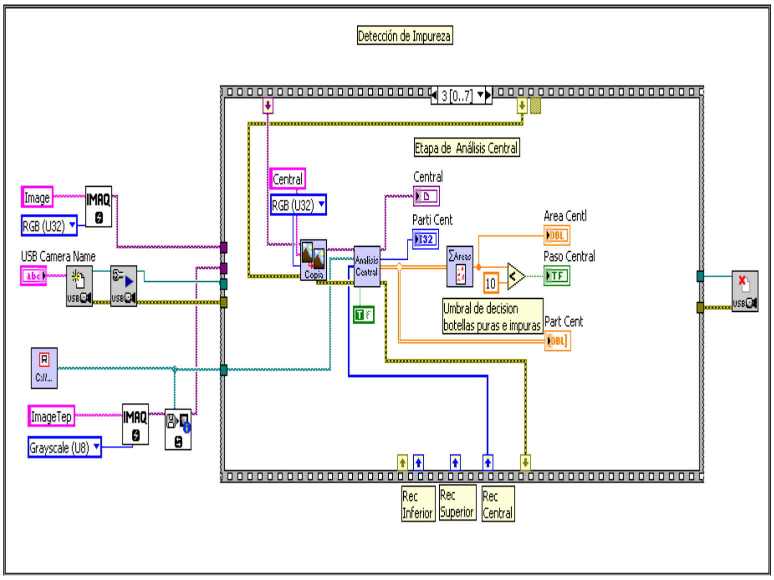


Imagen 4-47 Etapa de Análisis Central

Análisis Superior

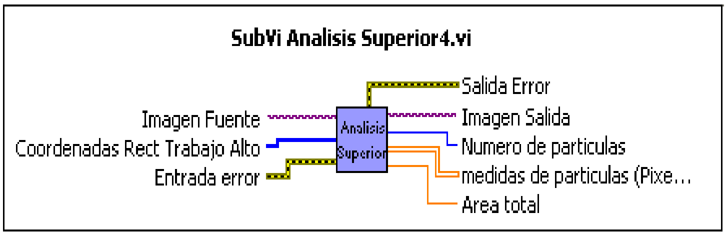


Imagen 4-48 VI Análisis Superior

El instrumento virtual para realizar el análisis inferior se puede observar en la imagen 4-48, el mismo posee como entradas: Imagen Fuente, Coordenadas Rec Trabajo Alto y Entrada Error. Éste retorna como respuesta las salidas: Imagen Salida, Número de partículas, Numero de partículas con sus respectivas mediciones, Área total y la Salida de error.

La implementación del análisis superior se observa en la imagen 4-49. En este proceso vale destacar que se ha realizado una segmentación morfológica a través del VI Segmentación Morfológica (imagen 4-50)

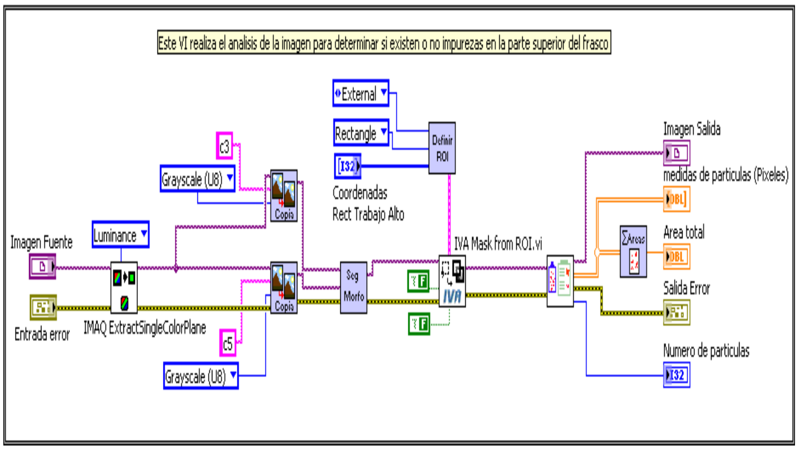


Imagen 4-49 Implementación de análisis superior

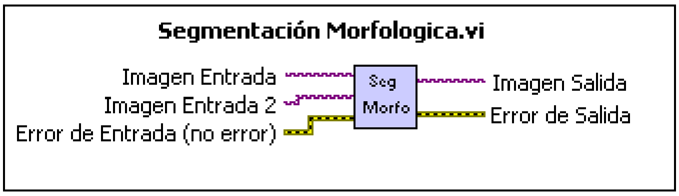


Imagen 4-50 VI Segmentación Morfológica

La explicación teórica vinculada a la segmentación morfológica se detalla en el capítulo 2 sección 4.2. En la imagen 4-51 se muestra la implementación en código gráfico de esta técnica de visión artificial. Se recuerda brevemente el proceso de segmentación morfológica: conversión a binario de la imagen, cálculo del mapa de distancias de Danielsson, aplicar la transformada de Watershed y finalmente sumar el resultado a la imagen original.

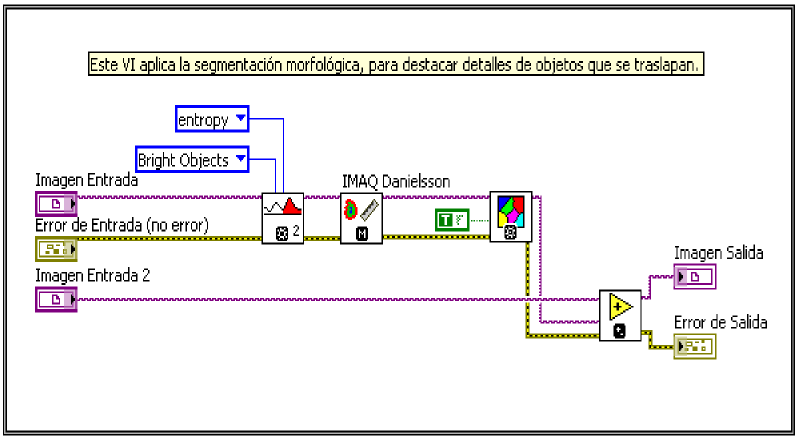


Imagen 4-51 Implementación de la segmentación morfológica

En la imagen 4-52 se observa el uso del análisis superior para la detección de impurezas, al igual que en el análisis central se hace una comparación de las áreas de las partículas contra un umbral que decide si la imagen pasa o no exitosamente este proceso.

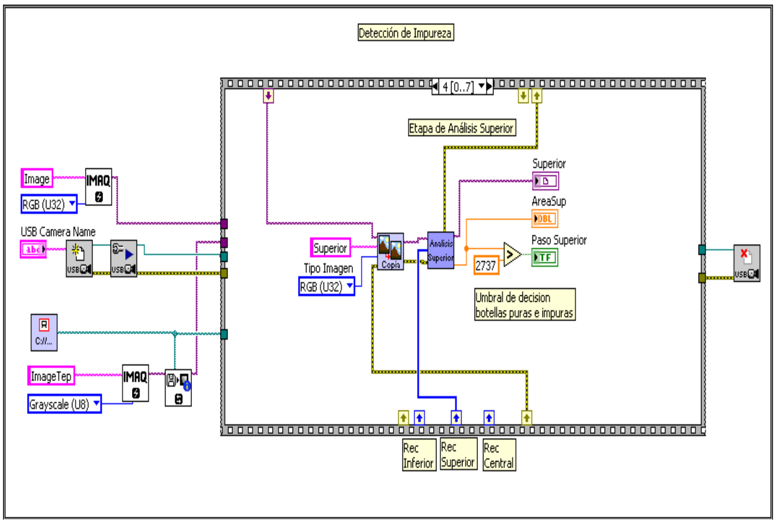


Imagen 4-52 Etapa de análisis superior

Análisis Inferior

El instrumento virtual diseñado para realizar el análisis inferior se puede observar en la imagen 4-53, el mismo posee como entradas: Imagen Origen, Rectángulo Opcional y Entrada Error. Este retorna como respuesta las salidas: Imagen Salida, número de partículas, numero de partículas con sus respectivas mediciones, Área total y la Salida de error.

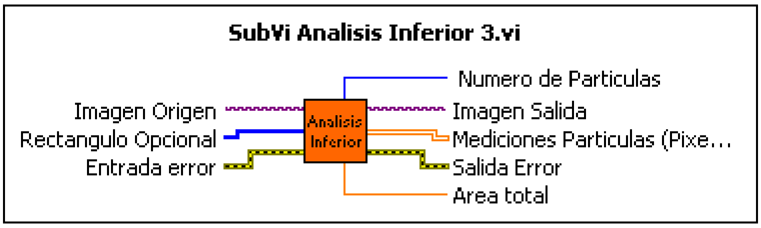


Imagen 4-53 VI Análisis Inferior

En la imagen 4-54 se observa la implementación del análisis superior, donde no hay ningún proceso diferente a los vistos anteriormente: copia de la imagen entrante, extracción del plano de luminiscencia, recorte de la imagen, conversión a binario de la imagen por el método estadístico de Clustering, análisis del área de las partículas y finalmente un instrumento virtual que suma las áreas de las partículas.

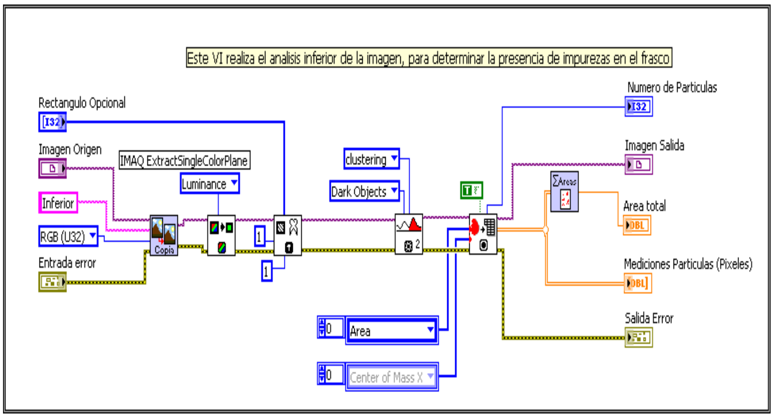


Imagen 4-54 Implementación del análisis inferior

En la imagen 4-55 se observa el uso del VI Análisis Superior en la detección de impurezas, de igual forma que en el proceso de análisis central y superior se compara el área total con un valor de umbral para determinar la existencia o no de impurezas.

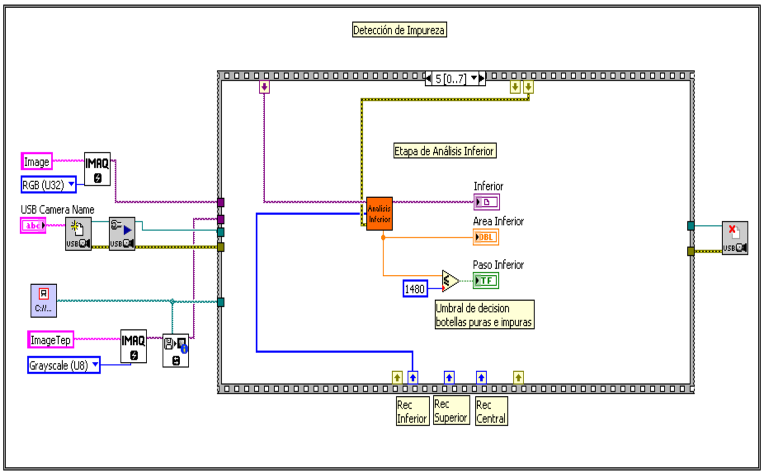


Imagen 4-55 Etapa de análisis inferior

Aceptación o rechazo del frasco.

Si se observó con detenimiento las imágenes 4-34, 4-47, 4-52 y 4-55, después de la comparación con un umbral específico para cada análisis, existía una salida binaria (verdadero / falso) que indica si la imagen ha pasado exitosamente el análisis.

En la imagen 4-56 se observa que este proceso consiste en una operación lógica de conjunción de las variables binarias antes destacadas, con esto se asegura que si alguno de los procesos determina que se debe rechazar el frasco se procederá a hacerlo y para que un frasco pueda pasar exitosamente debe cumplir con todos los análisis.

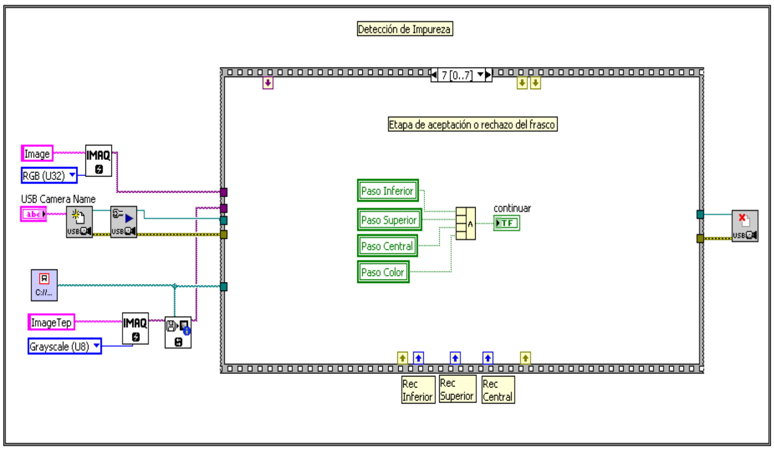


Imagen 4-56 Etapa de aceptación o rechazo del frasco

Panel Frontal de la Detección de Impurezas

Las imágenes resultantes del proceso de análisis pueden ser observadas en el panel de control del algoritmo, tal como se observa en siguiente imagen

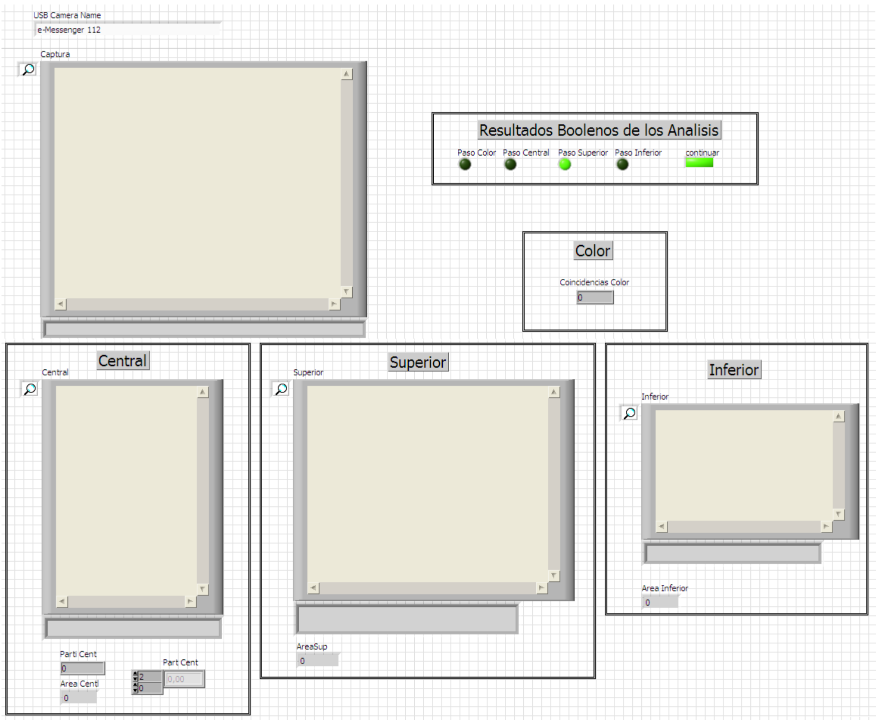


Imagen 4-57 Panel frontal de la detección de impurezas

4.5 Establecimiento de Comunicación entre el ordenador y el brazo robótico

En esta parte se realizará una breve descripción de los procesos necesarios para dar inicio a la comunicación con el brazo robótico, dada la necesidad de conocer como son utilizados cada uno de los instrumentos virtuales, implementados en el trabajo “Diseño de brazo robótico y diseño de brazos empuja frascos controlados por Labview y DSPICS”.

El control del brazo empuja frasco se realiza mediante un programa diseñado en LabVIEW, el cual asigna los valores de posición del servo motor, que ejecuta el movimiento del empuja frasco, de manera interna y transparente para el operador. Esto se logra mediante la comunicación serial entre LabVIEW y la tarjeta que controla el brazo robótico y el empuja frasco.

El establecimiento de comunicación con la tarjeta controladora de los brazos robóticos se realiza mediante la configuración de la interfaz serial, realizada por medio del siguiente Instrumento Virtual.

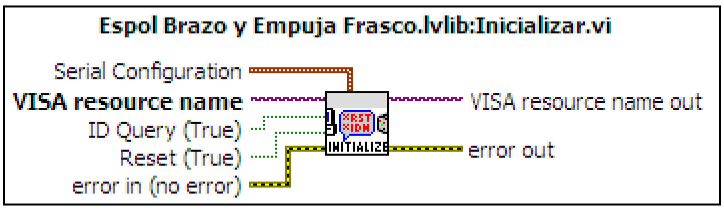


Imagen 4-58 VI Inicializar

Como se puede observar de la imagen 4-58 este instrumento virtual posee las siguientes entradas:

- **Serial Configuration:** identificación correspondiente al grupo de datos, entre los que se encuentran: bit de paridad, la tasa de baudios, número de bits de datos, bit de parada, control de flujo.

- **VISA resource name:** identificación correspondiente al nombre asignado a la interfaz por medio de la cual se encuentra comunicándose el instrumento virtual con la tarjeta.

- **ID Query:** corresponde al identificador de petición, por defecto tiene el valor de verdadero.

- **Reset:** identificador correspondiente al reinicio del instrumento, por defecto tiene el valor de verdadero.

Este instrumento devuelve la comunicación establecida con la configuración correspondiente del puerto serial.

Además, se debe considerar que para poder realizar el rechazo o aceptación de los frascos, debe realizarse el manejo del brazo empuja frascos, y además la configuración del mismo tal como se describirá a continuación.

Para realizar la configuración del empuja frascos se utiliza el siguiente instrumento virtual (imagen 4-59).

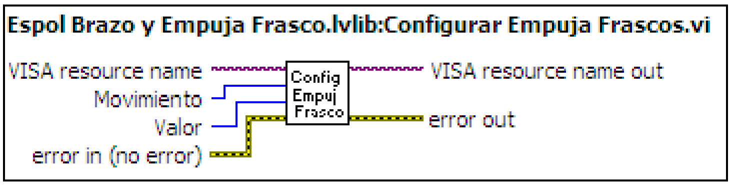


Imagen 4-59 VI Configurar Empuja Frascos

Como se puede observar de la imagen 4-59 este instrumento virtual posee las siguientes entradas:

- **Visa resource name:** identificación correspondiente al nombre asignado a la interfaz por medio de la cual se comunica el instrumento virtual con la tarjeta, teniendo presente que este instrumento requiere el nombre con la configuración del puerto anidada.

- **Movimiento:** tipo de movimiento que se desea realizar, entre los cuales se dispone de 3 posiciones: inicial, central y final

- **Valor:** Corresponde a la velocidad con la cual se desea realizar el movimiento del brazo empuja frascos.

Este instrumento devuelve la comunicación establecida con la configuración.

Para realizar un manejo más sencillo del empuja frascos se utiliza el siguiente instrumento virtual (imagen 4-60).

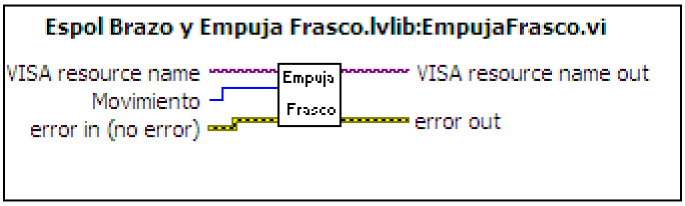


Imagen 4-60 VI Empujar Frasco

- **Visa resource name:** identificación correspondiente al nombre asignado a la interfaz por medio de la cual se comunica el instrumento virtual con la tarjeta, teniendo presente que este instrumento requiere el nombre con la configuración del puerto anidada.

- **Movimiento:** tipo de movimiento que se desea realizar, entre los cuales se dispone de 3 posiciones: inicial, central y final.

Este instrumento devuelve el origen de la comunicación manteniendo las configuraciones realizadas.

Para realizar el cierre de la comunicación del empuja frascos se utiliza el siguiente instrumento virtual (imagen 4-61).

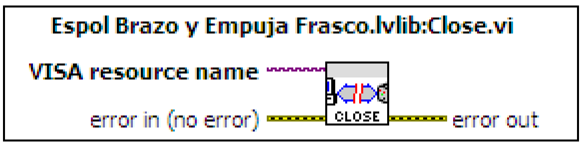


Imagen 4-61 VI Close

Como se puede observar de la imagen 4-61 este instrumento virtual posee las siguientes entradas:

- **VISA resource name:** tal como ha sido descrito con anterioridad corresponde al identificador del nombre del puerto de comunicación.
- **Error**: identificador correspondiente a los mensajes de fallas.

Este instrumento no devuelve ningún tipo de señal, solo realiza el cierre del puerto serial.

4.6 Implementación del Sistema de Control de Turbiedades en la plataforma para dsPics

En el panel frontal, en la imagen 4-62, se pueden visualizar:

- Los indicadores LEDs y de barril.
- Los botones controladores: ajuste cámara, detener ajuste, mover banda y detener banda.
- Las entradas de configuración de los puertos seriales tanto del brazo robótico como de la banda transportadora.

- La entrada de configuración de la velocidad de las bandas, así como la entrada distancia entre la cámara y el sensor.
- El botón de salida del sistema, necesario para detener la línea de producción en algún caso de emergencia.
- Dos salidas de imágenes, una corresponde al video para el ajuste de la cámara; y la otra al video capturado mientras la banda permanezca en movimiento.
- Las salidas de cantidad de frascos contados, frascos rechazados y frascos aceptados, incluyéndose una salida que muestra el tiempo que tarda el algoritmo en realizar el análisis de un frasco, también se observan las salidas indicadoras correspondientes a la banda transportadora: detenida y en movimiento; así como, las salidas correspondientes a la aceptación o rechazo del frasco analizado.

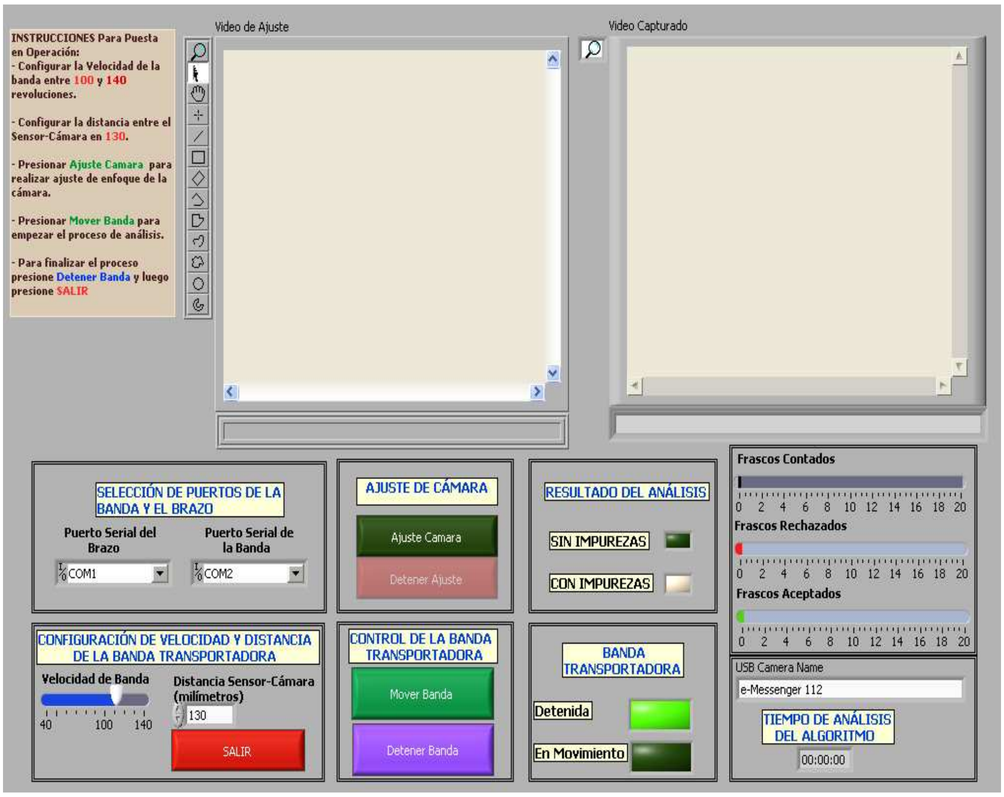


Imagen 4-62 Panel Frontal – pantalla de control

El funcionamiento de la implementación en conjunto de banda transportadora, brazo robótico y análisis de turbiedades, se detalla a continuación, se realizó la consideración de definir etapas de funcionamiento, las mismas que son:

- Inicializar variables
- Ajustar la cámara
- Mover la banda
- Analizar el frasco

Inicialización de variables

El proceso empieza con la inicialización de las variables, tal como se muestra en la imagen 4-63. Con valor de verdadero se inicia la variable Extra; mientras inician con valor falso las variables: Andando Banda, Detenida Banda, Listo, Banda Mueve, Frasco Detenido, Var Aux, Frascos con Impurezas, Frasco sin Impurezas, Sigte Paso. Las variables de conteo (Frascos Contados, Frascos Aceptados y Frascos Rechazados) se les ha asignado el valor de 0.

Imagen 4-63 Inicialización de Variables

En este punto se sugiere definir la configuración de la banda en el panel frontal, colocar el valor de 130 para la separación entre la banda y la cámara; y seleccionar la velocidad a la cual va a desplazarse la banda durante todo el proceso.

Ajuste de la cámara

Si ha sido realizado previamente el ajuste de la cámara, se puede dar inicio al movimiento de la banda y realizar el análisis de los frascos. Sin embargo es recomendable realizar el ajuste de la cámara, debido a lo primordial de la posición de la cámara al momento de realizar el análisis del frasco. Se debe seleccionar la opción de ajuste de cámara, una vez ingresado a esta opción se mostrará en la salida Video de Ajuste, la captura en tiempo real que realice la cámara. En este punto de manera interna da inicio dos pasos importantes: la configuración de la banda (para que se realice su movimiento hasta que se encuentre el frasco y se realice la detención) y el proceso en si ajuste de la cámara.

Configuración de la banda para calibración

La configuración de la banda transportadora consta de 4 etapas, definidas por una secuencia:

El primer paso como se observa en la imagen 4-64, realiza la configuración del puerto serial de la banda transportadora.

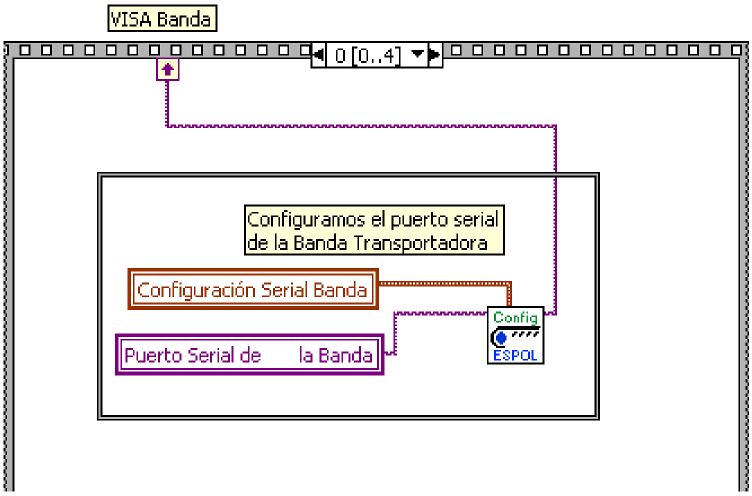


Imagen 4-64 Configuración del puerto serial de la banda

En el segundo paso, imagen 4-65, se realiza la configuración de las distancia entre el sensor y la cámara, para la detención de los frascos.

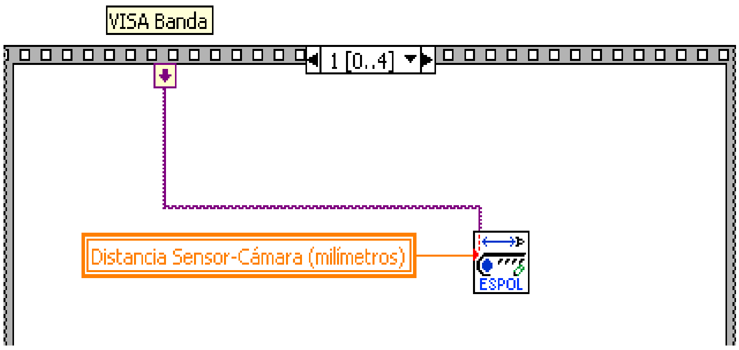


Imagen 4-65 Configuración distancia sensor-cámara

En el tercera paso, imagen 4-66, se configura la banda. Primero se utiliza el instrumento virtual de configuración de velocidad para especificar la velocidad y motores a mover, luego de esto se configura el tipo de movimiento a realizarse (en este caso es movimiento suave). También se cambian los valores de las variables: Andando banda de falso a verdadero y Detenida Banda de verdadero a falso.

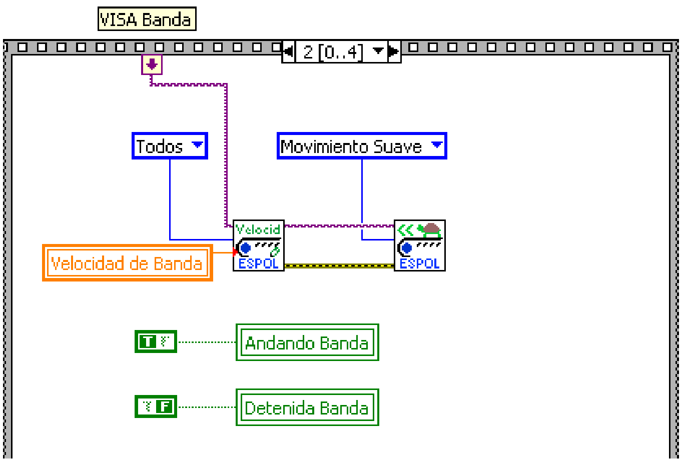


Imagen 4-66 Configuración de movimiento y velocidad

En la cuarta etapa, imagen 4-67, se realiza el movimiento de la banda. Esta permanece en movimiento mientras el frasco no haya sido detectado por el sensor, y no se haya completado su desaceleración.

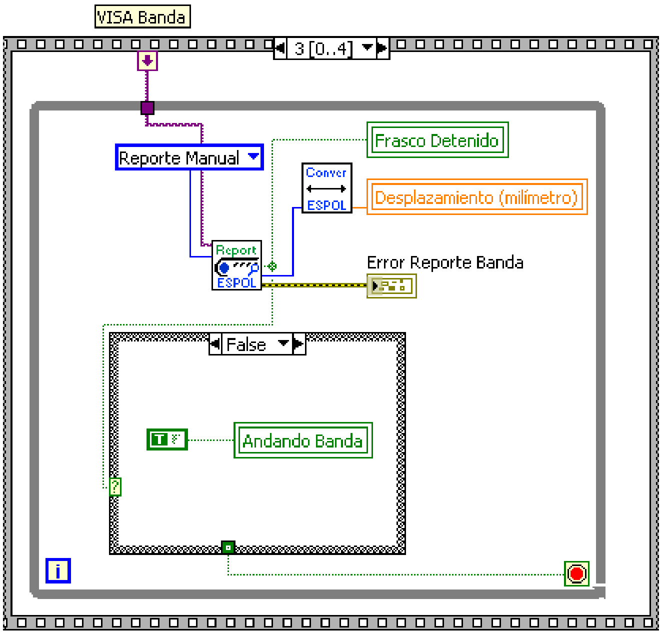


Imagen 4-67 Banda en Movimiento

Una vez que se ha detectado el frasco atravesando el sensor, el instrumento virtual que genera reportes envía el resultado del frasco detenido. Se ingresa a una secuencia, como se observa en la imagen 4-68, en la cual se asignan los valores de falso a la variable Andando Banda y verdadero a la de Detenida Banda.

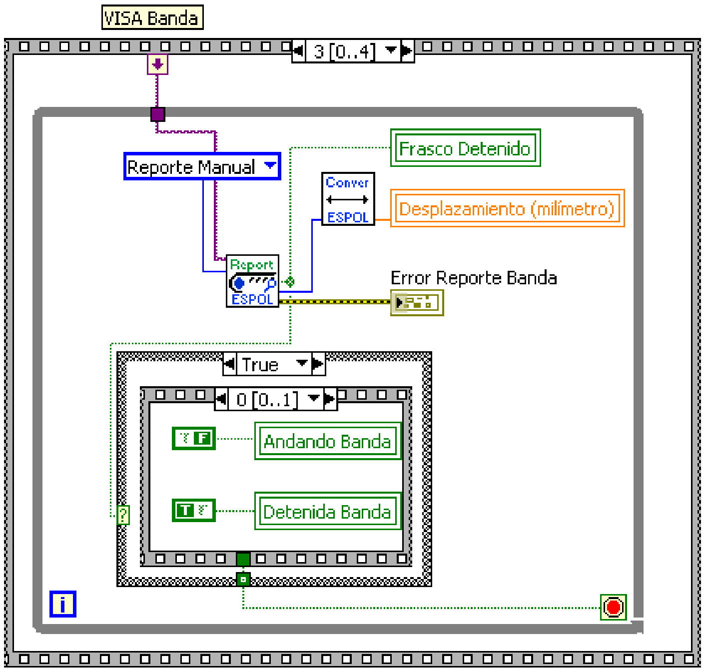


Imagen 4-68 Banda detenida

En el siguiente paso se asignan valores de verdadero a Sigte Paso, y de falso a Frasco Detenido, como se observa en la imagen 4-69. Cuando la variable Sigte Paso toma el valor de verdadero, se finaliza el lazo while y se puede continuar con la secuencia más externa.

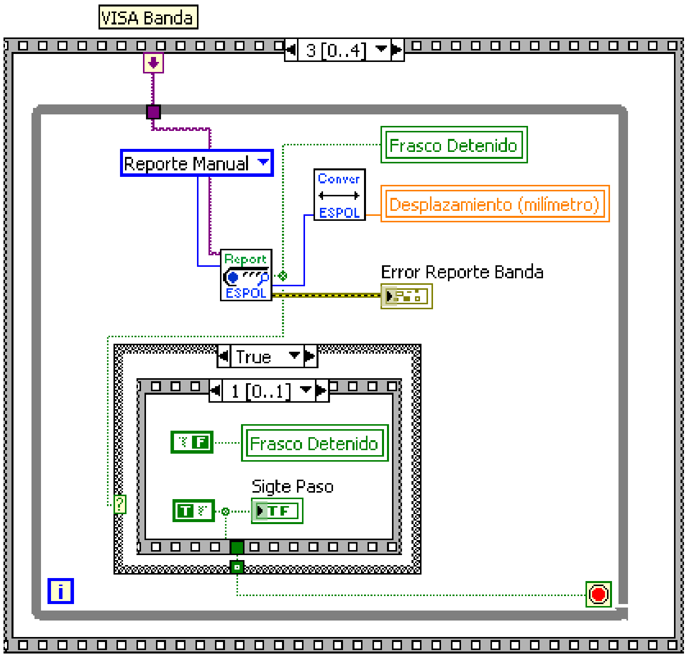


Imagen 4-69 Frasco Detenido

Se ingresa a la quinta etapa que corresponde a la imagen 4-70, en la que se muestra el proceso de detención de la banda y el cierre del puerto serial de comunicación.

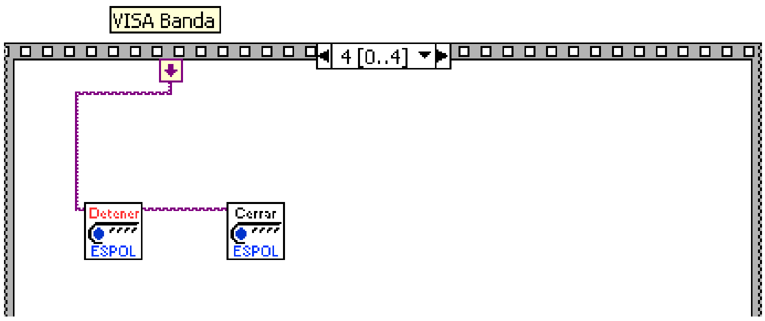


Imagen 4-70 Cierre de comunicación

Calibración del video

Mientras la variable Sigte Paso sea falsa no se realizará ninguna actividad. como se muestra en la imagen 4-71.

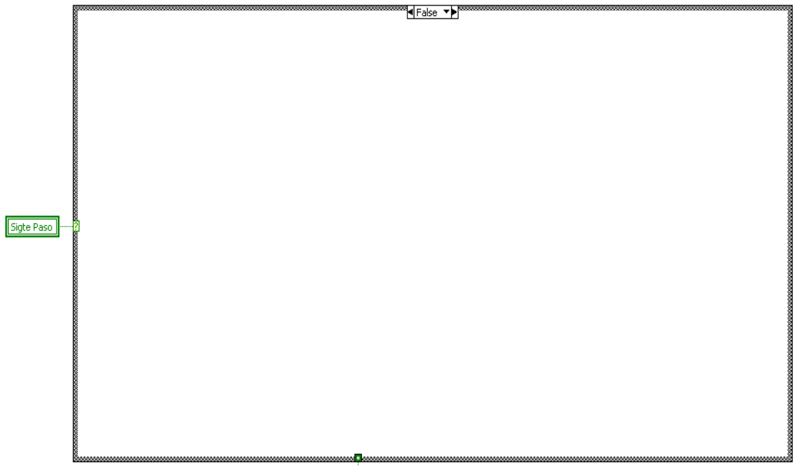


Imagen 4-71 Espera por Sigte Paso

La única manera de que la variable Sigte Paso sea verdadera, es cuando una botella ha sido detectada en el proceso de movimiento de la banda para calibración (sección 4.6.2.1).

Si Sigte Paso es Verdadero entonces se asignan valores de falso a las variables Sigte Paso y Extra, además se deshabilita el botón de Parar Ajuste, y se analiza la variable Listo, si es falso, entonces se ingresa a un lazo continuo en el cual se muestra el mensaje de inicio del proceso de calibración de la cámara, tal como se muestra en la imagen 4-72.

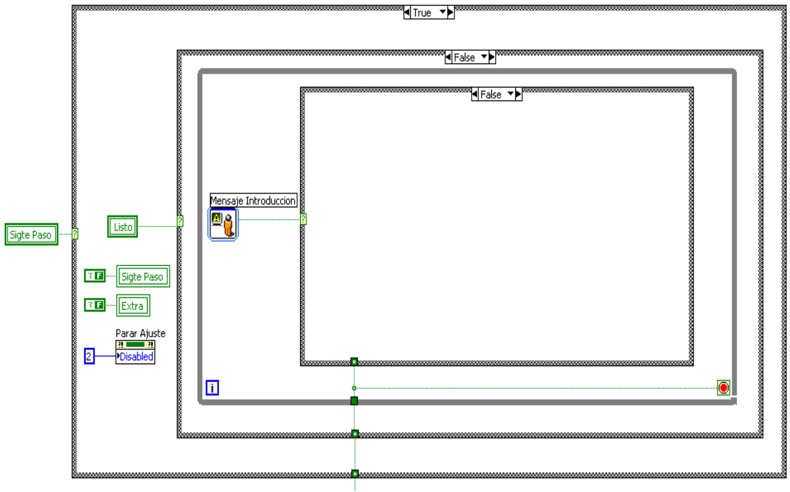


Imagen 4-72 Inicio de Calibración de Cámara

Mientras no se acepte en el cuadro de diálogo, el proceso se queda en espera como se muestra en la imagen 4-72.

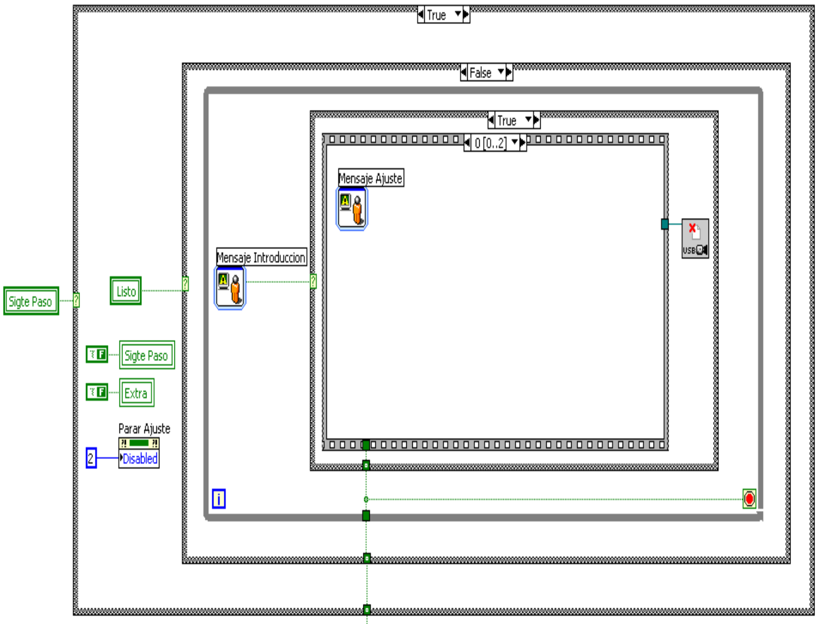


Imagen 4-73 Espera de decisión

Una vez que se presiona el botón de aceptar, se ingresa a una secuencia de tres pasos. El primer paso (imagen 4-73) muestra un mensaje indicando que realice el ajuste.

El segundo paso (imagen 4-74) realiza el proceso de inicialización de la cámara; luego se ingresa a un ciclo continuo donde se ejecuta la captura de video, para que se efectúe el ajuste de la cámara.

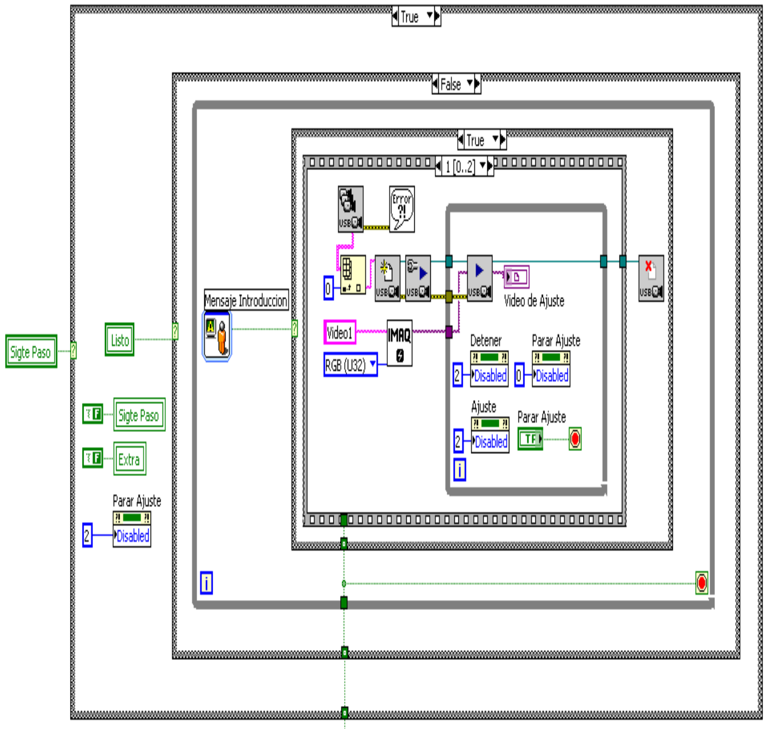


Imagen 4-74 Captura de Video de Ajuste

Adicionalmente se deshabilitan los botones Detener y Ajuste, y se habilita el botón de Parar Ajuste. Para culminar la calibración se debe presionar el botón Parar Ajuste y se continúa con el tercer paso de la secuencia, como se muestra en la imagen 4-75. Como se aprecia, se asigna el valor de verdadero a Listo, y luego se cierra la sesión de la cámara.

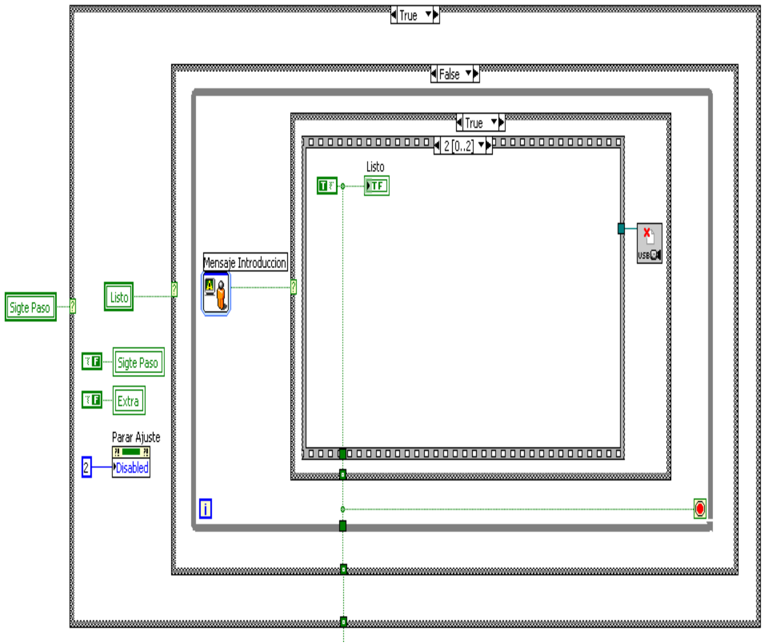


Imagen 4-75 Parar Ajuste

Con este valor de verdad se ingresa nuevamente al cuadro de decisión de la variable Listo, en el cual se asigna a Banda Mueve el valor de verdadero, tal como se observa en la imagen 4-76, sin olvidar que se presenta el mensaje de fin de la calibración.

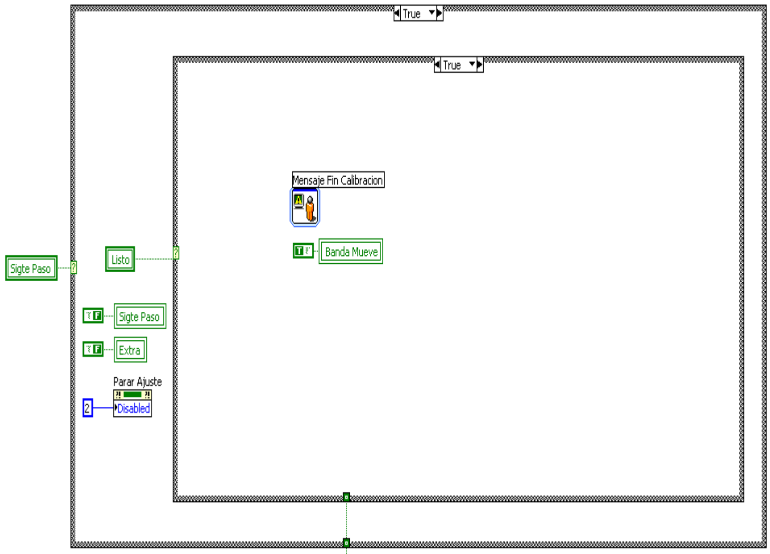


Imagen 4-76 Fin de calibración

Una vez concluida la etapa de calibración de la cámara, no se vuelve a ingresar a este paso a menos que sea detenido el programa principal. Se han deshabilitado los botones de Parar Ajuste y Parar.

Movimiento de la banda

Se ingresa al cuadro de decisión, dependiendo de las variables Banda Mueve o Mover Banda, si el resultado de la operación lógica de disyunción es falso se asigna el valor de falso a Andando Banda y verdadero a Detenida Banda, como se observa en la imagen 4-77.

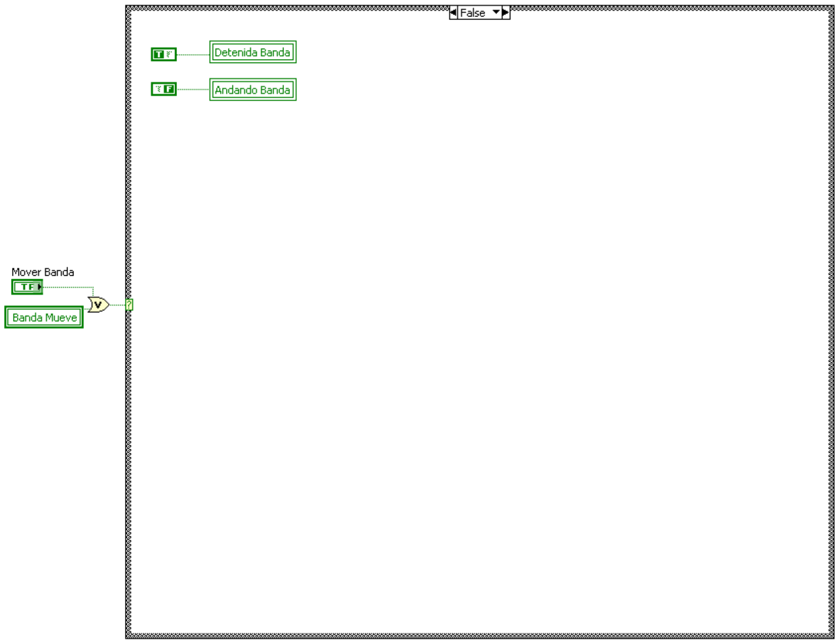


Imagen 4-77 Movimiento de Banda

Si el resultado es verdadero (imagen 4-78), primero se asigna a Detenida Banda, Banda Mueve, Frascos con Impurezas y Frasco sin Impurezas el valor de falso. Luego se ingresa a una nueva secuencia, en cuyo primer paso se inicia el proceso de configuración de la banda transportadora y el brazo robótico, una vez inicializado los puertos, se posiciona el brazo en la posición inicial es decir en su punto más alto.

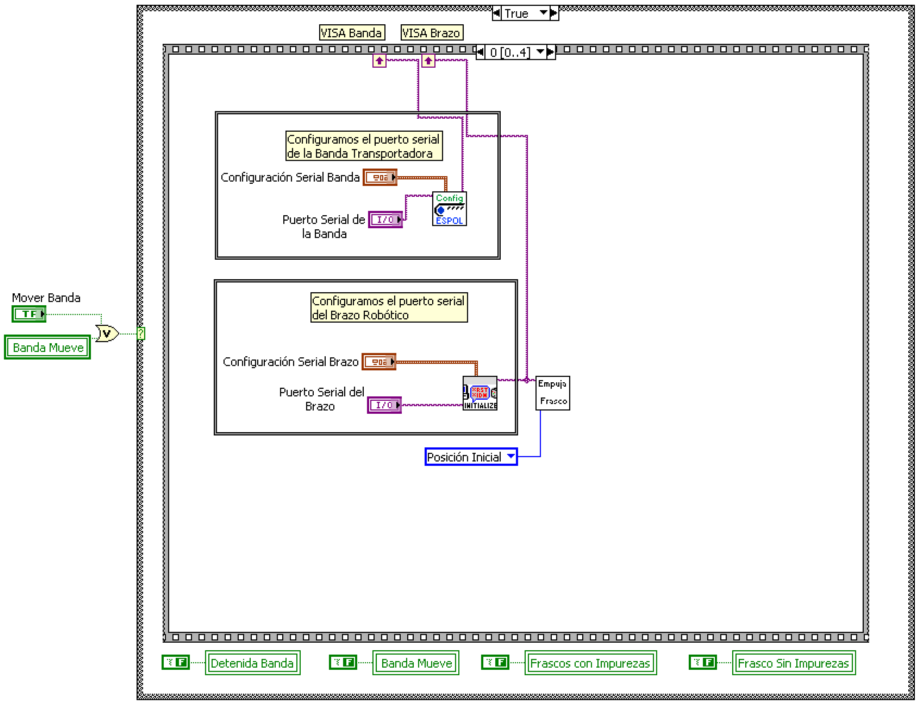


Imagen 4-78 Movimiento de la banda: configuración de puertos

En el segundo paso, se configura la distancia sensor-cámara y se cierra el puerto del brazo robótico, como se observa en la imagen 4-79.

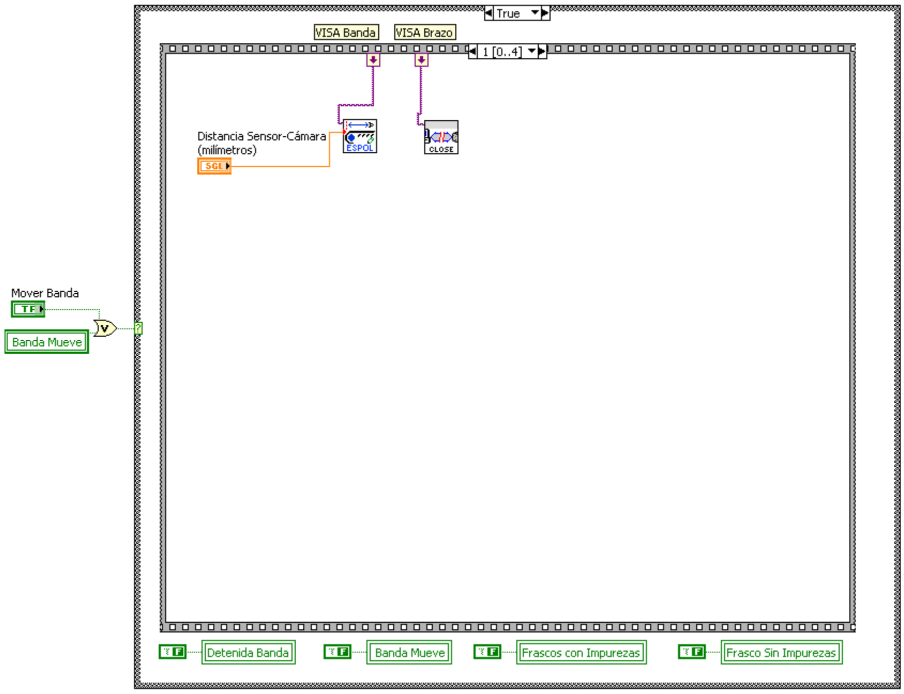


Imagen 4-79 Movimiento de la banda: configuración de la distancia sensor-cámara

En el tercer paso, se ordena mover todos los motores de la banda hacia la izquierda a una velocidad determinada por el usuario y se asigna a Andando Banda el valor de verdadero, como se observa en la imagen 4-80.

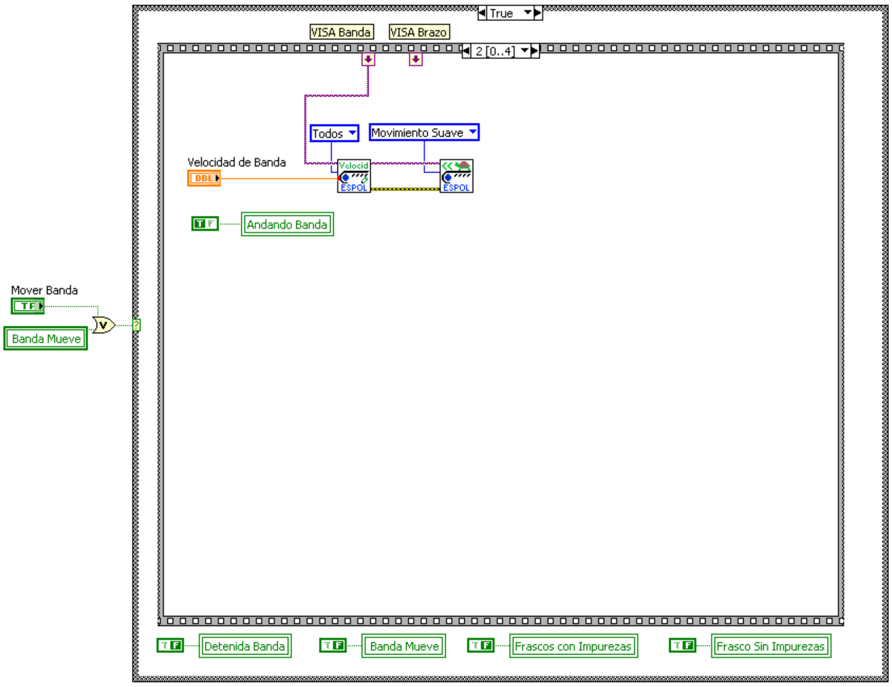


Imagen 4-80 Movimiento de la banda: funcionamiento de motores

En el cuarto paso se ejecuta la inicialización de la cámara, además se ingresa a un ciclo continuo, del cual solo se puede salir presionando el botón de detener banda o cuando se haya concluido con el proceso de detección del frasco. Mediante el uso del instrumento virtual reporte de la banda se espera por la respuesta del frasco detenido, si es falso se asigna el valor de falso a Frasco Detenido, y de verdadero a Andando Banda, como se observa en la imagen 4-81.

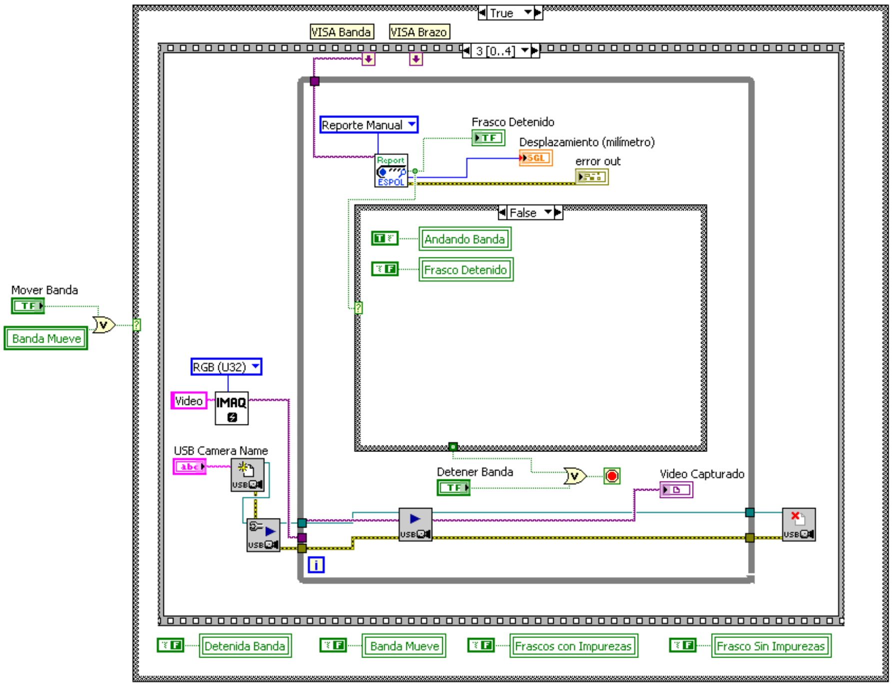


Imagen 4-81Movimiento de la banda: no se detecta frasco

En el momento que el sensor detecta el frasco, se ingresa al cuadro de decisión en el caso verdadero; allí se asigna a Detenida Banda el valor de verdadero, y a Andando Banda el valor de falso. Además se ejecuta una secuencia que consta de 2 pasos.

En el paso inicial, se convierte el valor de verdad a valor entero de la variable Frasco Detenido; si es falso se asigna un 0, mientras si es verdadero se asigna un 1, con el cual se realiza el conteo de los frascos durante todo el proceso. Dicho valor del conteo se almacena en la variable Frascos Contados, como se puede observar en la imagen 4-82.

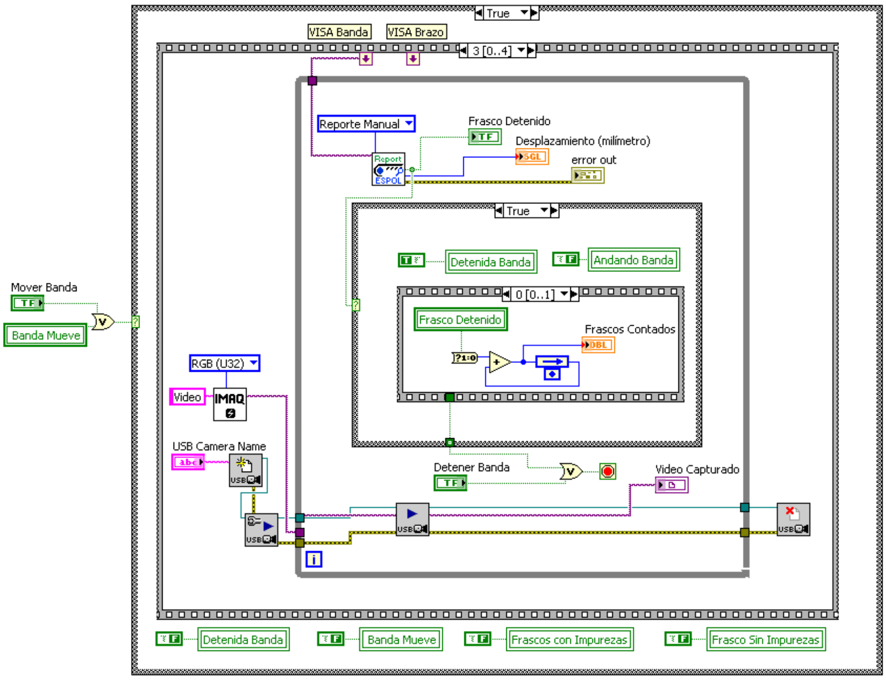


Imagen 4-82 Movimiento de la banda: frasco detectado paso 1

En el siguiente paso se asigna el valor de verdad a Var Aux, el cual permite terminar el proceso de movimiento y detección del frasco, tal como se observa en la imagen 4-83.

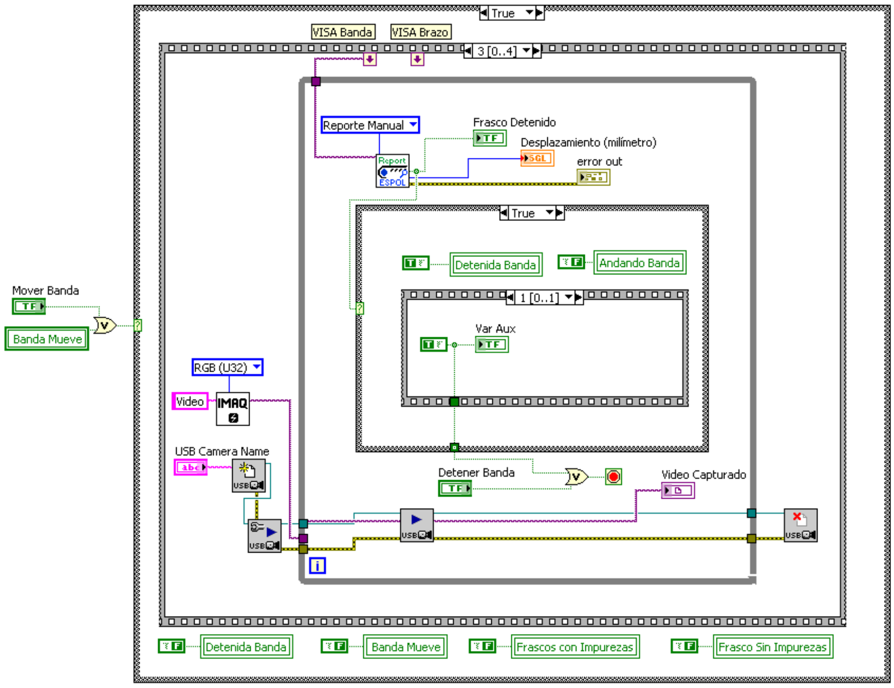


Imagen 4-83 Movimiento de la banda: frasco detectado paso 1

En el quinto paso, se procede a detener la banda y a cerrar el puerto de comunicación, como se observa en la imagen 4-84.

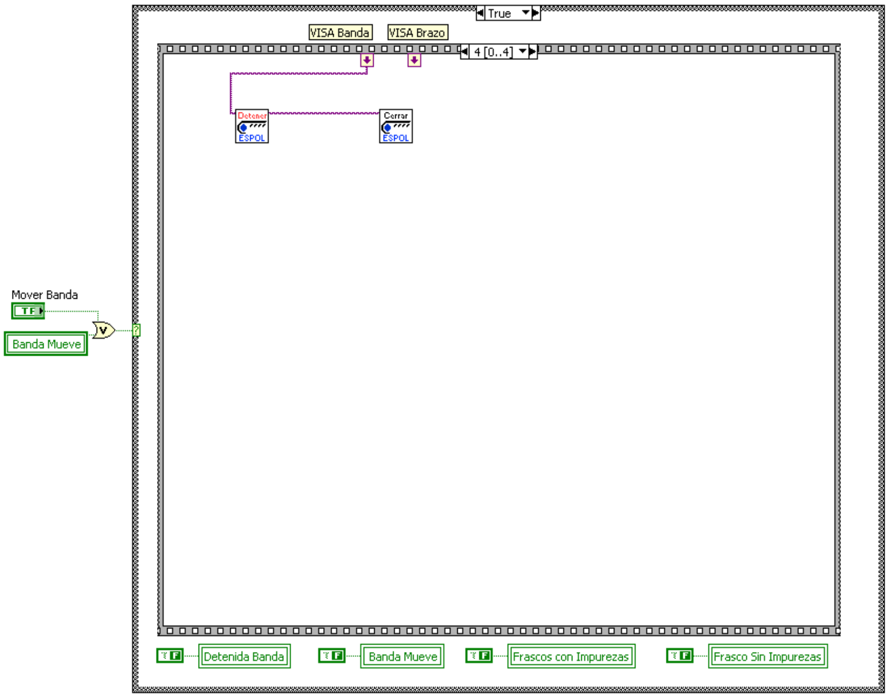


Imagen 4-84 Movimiento de la banda: cierre de los puertos de comunicación

Análisis del frasco

El valor de verdad de Var Aux, permite ingresar a la última etapa de Analizar Frasco, si éste es falso no se realiza ningún proceso, como se percibe en la imagen 4-85.

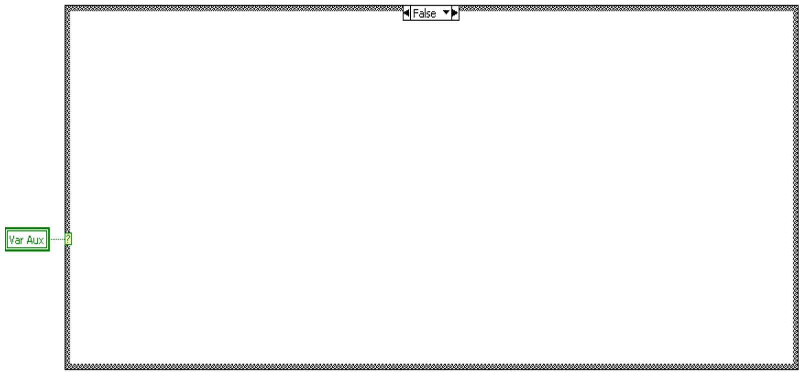


Imagen 4-85 Análisis del frasco: no hay frasco

Si es verdadero, se asigna a Andando Banda el valor de falso, y a Detenida Banda el valor de verdadero, se configura e inicializa la comunicación con el brazo robótico, una vez realizado esto se ingresa a una secuencia que consta de 4 pasos.

En el primer paso como se observa en la imagen 4-86, se da un tiempo de retardo y se captura la hora del sistema.

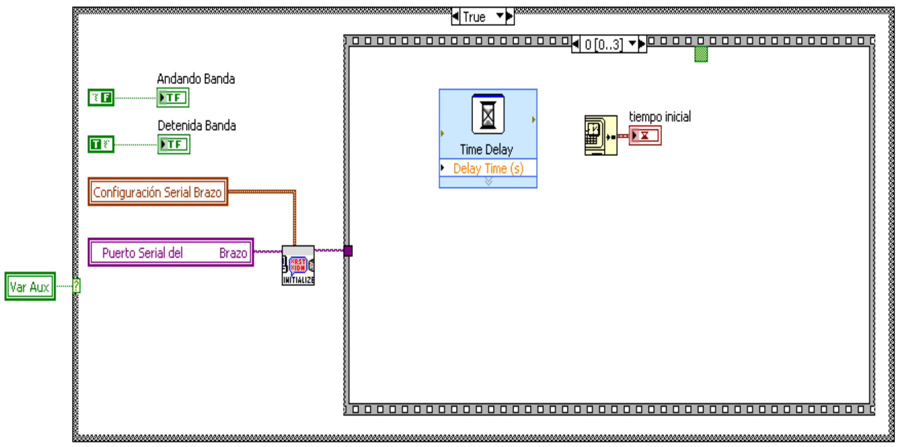


Imagen 4-86 Análisis del frasco: obtención del tiempo

En el segundo paso, se realiza únicamente el análisis del frasco con el instrumento virtual desarrollado para la detección de turbiedades, puede observarse en la imagen 4-87.

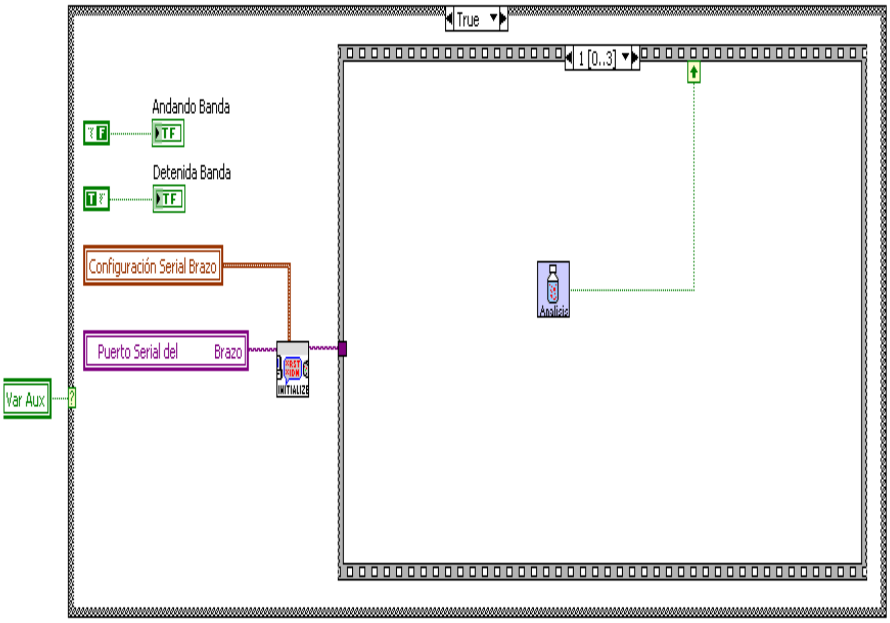


Imagen 4-87 Análisis del frasco: detección de turbiedades

En el tercer paso, como se observa en la imagen 4-88, se asigna el valor de falso tanto a Frasco Detenido como a Var Aux, se captura la hora del sistema como tiempo final de análisis del algoritmo. El algoritmo de detección de impurezas nos genera una salida que genera dos posibilidades: frasco con o sin impurezas.

Si se ha detectado impurezas se ingresa al cuadro de decisión que consta de una secuencia de tres pasos: en el primero se inicializa la variable Frasco con Impurezas con el valor de verdadero, se ejecuta la acción de empujar frasco y se da un tiempo de espera como se ve en la imagen 4-88.

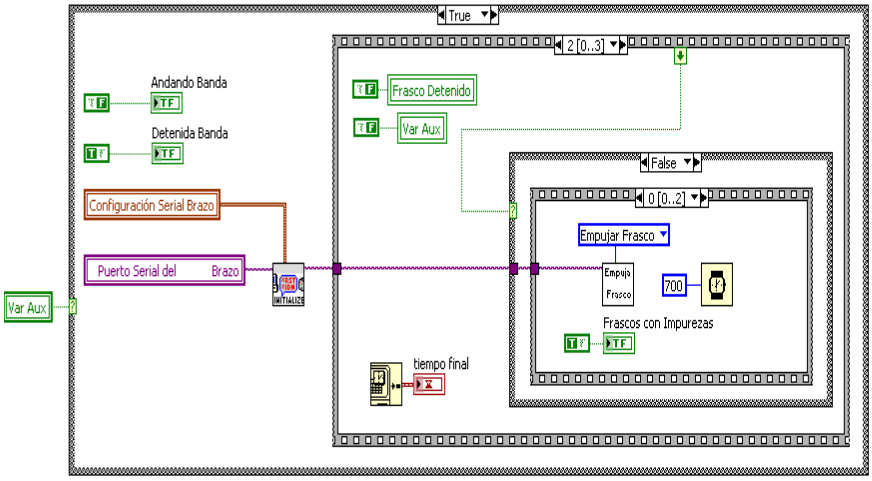


Imagen 4-88 Análisis del frasco: frasco con impurezas

Luego, con el valor de la variable frascos con Impurezas se la convierte y se suma a la variable Frascos Rechazados, visible en la imagen 4-89.

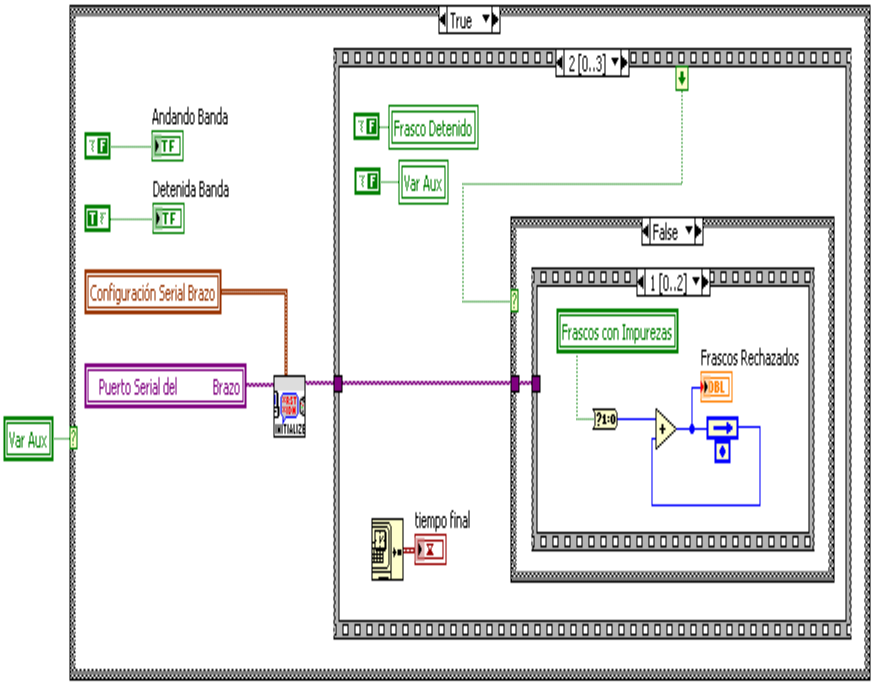


Imagen 4-89 Análisis del frasco: aumento del contador de frascos rechazados

Y para finalizar la secuencia se envía a mover banda, asignado a Banda Mueve el valor de verdad, como se visualiza en la imagen 4-90.

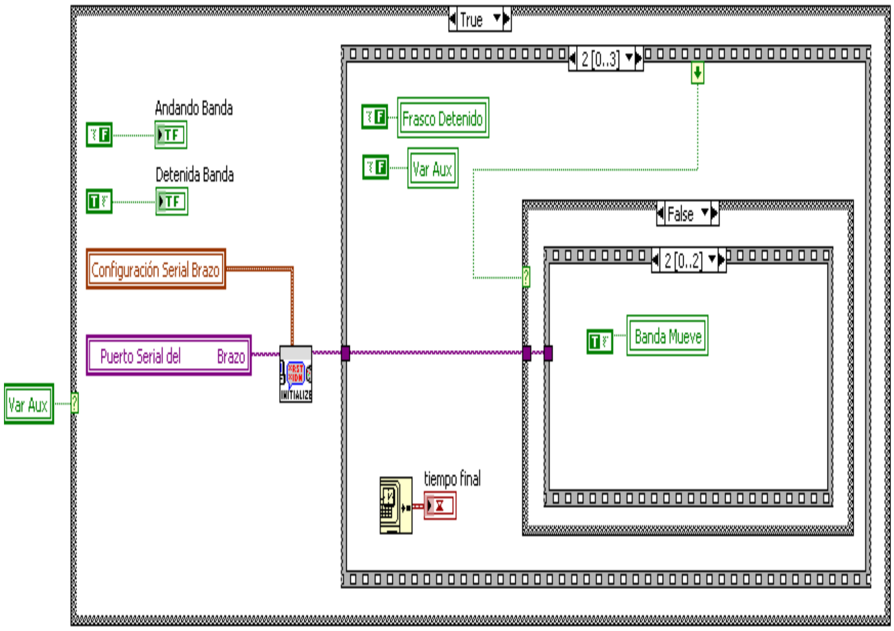


Imagen 4-90 Análisis del frasco: reinicio de la variable que habilita el movimiento de las bandas

Si no se ha detectado impurezas se ejecuta de igual forma una secuencia que consta de tres pasos. El primer paso, mostrado en la imagen 4-91, realiza la asignación del valor de verdad a Frasco Sin impurezas y se da un retardo de 500ms.

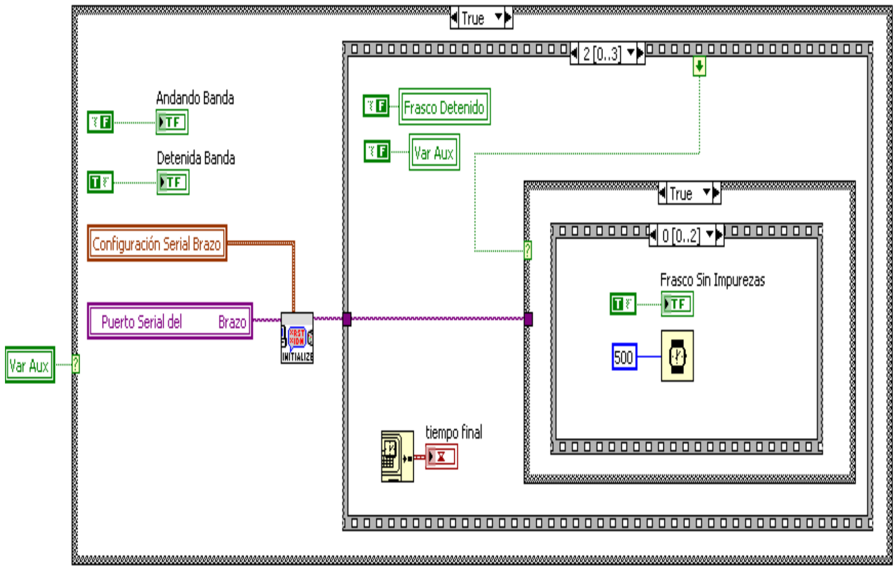


Imagen 4-91 Análisis del frasco: frasco sin impurezas

Una vez completado el tiempo de espera, se convierte la variable Frasco Sin Impurezas y se procede a la suma de los Frascos Aceptados, tal como se ilustra en la imagen 4-92.

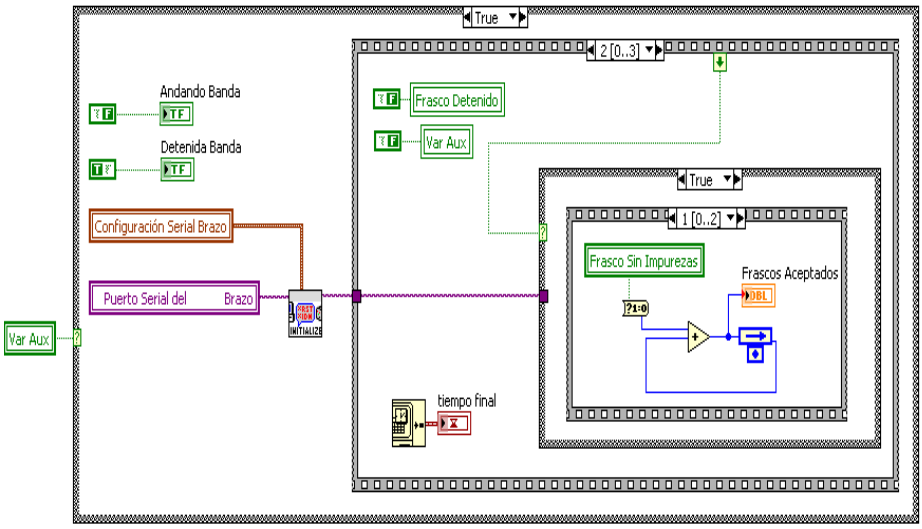


Imagen 4-92 Análisis del frasco: aumento del contador frascos aceptados

Se finaliza esta secuencia, imagen 4-93, enviando a mover banda por medio de la asignación del valor de verdad a la variable Banda Mueve.

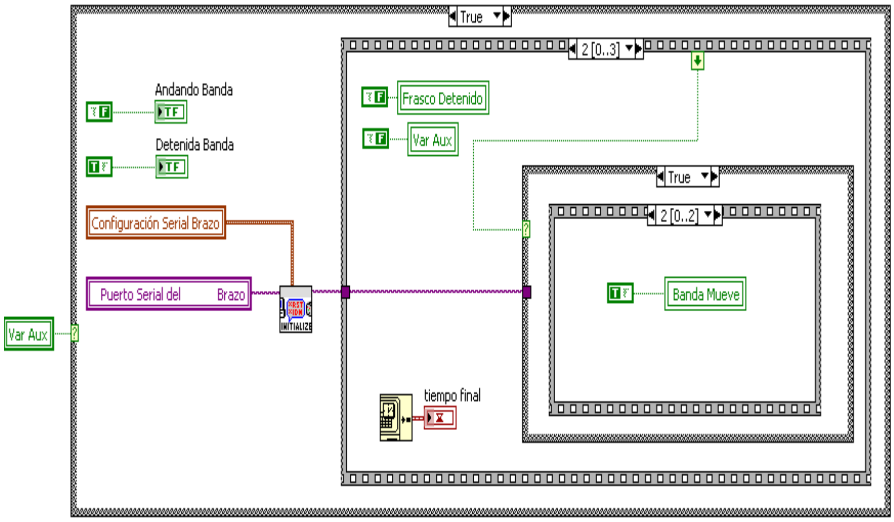


Imagen 4-93 Análisis del frasco: reinicio de la variable que habilita el movimiento de las bandas

En el paso cuarto de la secuencia principal, se realiza la resta de la hora capturada al fin de la ejecución del algoritmo menos la hora capturada antes del análisis del frasco, generando la salida tiempo de análisis del algoritmo, tal como se muestra en la imagen 4-94, esta variable se puede observar en el panel frontal.

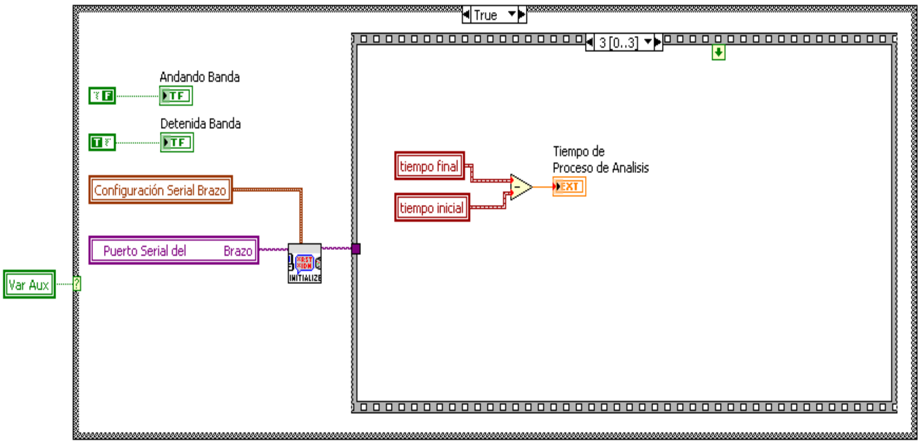


Imagen 4-94 Análisis del frasco: cálculo del tiempo de análisis

Luego se repite el proceso hasta que el usuario desea detener el sistema con el botón de Parar.

4.7 Análisis de costos

Los costos de los materiales y equipos necesarios para la ejecución de la presente implementación del proyecto, se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla III: Descripción de costos del proyecto

No. Artículos	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
1	Cámara Web Genius	$15.00	1	$ 15.00
2	Cámara luminosa	$ 7.80	1	$ 7.50
3	Cámara de iluminación	$70.00	1	$ 70.00
4	Frascos plásticos:	$ 0.50	36	$ 18.00
TOTAL				$ 100.50

A continuación se muestra un breve análisis de cada uno de los objetos utilizados:

La cámara web de marca Genius modelo e-messenger 112, puede ser utilizada cualquier otra cámara web de cualquier marca que posea conexión USB, y una resolución de captura de video mayor a 352x288.

El costo de la cámara de iluminación se halla comprendido por la construcción artesanal basada en los siguientes materiales:

Tabla IV: Detalle de costos de la cámara de iluminación

No. Artículos	Descripción	Cantidad	Precio Total
1	Caja de Balsa:	1	$ 1.90
2	Foco Ahorrador de 20 W	1	$ 3.70
3	Boquilla de foco	1	$ 0.80
4	Interruptor	1	$ 0.30
5	Enchufe	1	$ 0.30
6	Cable flexible multifilamento (m)	1	$ 0,30
7	Hojas de papel plano	1	$ 0.50
Total			$ 7.50

El costo total de la elaboración de la cámara de iluminación asciende a $ 7.5.

La cámara de iluminación fue elaborada en MDF de 9mm de ancho, material liviano pero resistente, el costo que conlleva la mano de obra se encuentra incluido en el costo total del artículo.

Los frascos plásticos utilizados con el objetivo de realizar las pruebas pertinentes, cuyas dimensiones están descritas en la imagen 4-10, fueron seleccionados por el director de tesis. El tamaño del frasco no se convierte en una limitante para la ejecución de la aplicación.

En los valores de los bienes adquiridos se percibe la clara idea de mantener un bajo costo, y búsqueda de los materiales adecuados y distintas cotizaciones, para procurar que no se convierta en un impedimento para lograr los objetivos planteados para el análisis de turbiedades.

Un valor que no se ha descrito en las tablas es el número de horas hombre de ingeniería destinadas a desarrollar la solución. En total se invirtieron alrededor de 640 horas de trabajo para el desarrollo, pruebas e implementación de la solución planteada en este trabajo. La distribución de las horas las podemos apreciar en la siguiente tabla

Tabla V: Detalle de horas hombre de ingeniería

Descripción	Cantidad (horas)
Funcionamiento de los instrumentos virtuales de LabVIEW	120
Pruebas de tipo de frasco	40
Pruebas de iluminación	40
Pruebas de detención de la banda	40
Implementación de los algoritmos	260
Prueba y calibración de los algoritmos en el sistema de bandas	140
Total	640

CAPITULO 5

5. DATOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se realizará una descripción de las pruebas realizadas del código implementado en LabVIEW. Las pruebas de la detección de turbiedades se realizaron en conjunto con la banda transportadora y el brazo empuja frasco, y se expondrá el análisis de los resultados de dichas pruebas.

La parte final del proyecto de tesis involucró pruebas, donde se tuvieron en cuenta diferentes aspectos del sistema como:

- El movimiento de la banda.
- Iluminación.
- Precisión del brazo empuja frasco.
- Impurezas en el contenido del líquido.

De las aspectos mencionados, el que ocasionó mayores dificultades fue la iluminación. Las fuentes de luces naturales y artificiales producían grandes cambios en las capturas, por lo cual se buscaron soluciones para sobrellevar estos inconvenientes, de las cuales se optó por la construcción de una caja que cubriese parte de la banda y limitase las fuentes de luz.

5.1 Pruebas realizadas

Para el desarrollo del algoritmo de la detección de frascos con impurezas, se realizaron múltiples pruebas las cuales podemos clasificar en dos grupos

- Análisis estáticos de frascos
- Análisis de frascos sobre la banda transportadora.

Análisis estáticos de frascos

Porqué se llama análisis estático, su nombre se debe a que las imágenes fueron tomadas sobre las bandas pero no fueron analizadas en tiempo real por LabVIEW.

Este etapa nos permitió realizar la implementación y calibración de los algoritmos en lenguaje G, así como establecer el tipo de frasco a usarse, la iluminación necesaria, la distancia focal de la cámara; es decir sirvió para adecuar la banda a las condiciones necesarias para un óptimo funcionamiento.

Las pruebas realizadas en estos distintos escenarios, permitieron explorar las funcionalidades y las herramientas de análisis que proporciona LabVIEW 8.5, con la finalidad de hacer el mejor uso de estas herramientas para realizar el presente proyecto de Tesis.

Las pruebas estáticas podemos dividirlas en: pruebas del tipo de frasco y de iluminación.

Pruebas estáticas del tipo de frasco

En el mercado local encontramos dos tipos de frascos, los cuales pueden ser observados en la imagen 5-1. Como se puede apreciar, además de las diferencias en tamaño y forma, la principal característica que tomamos en cuenta fue el brillo que producía el material plástico. Mientras el frasco de la parte a) presenta tres manchas, en el frasco de la parte b) se ve una reducción considerable.

Cuál es el inconveniente de que el frasco presente estas manchas luminosas, la respuesta es que confundían a los algoritmos de detección; éstos determinaban impurezas inexistentes físicamente.

Imagen 5-1 Tipos de frascos

Pruebas estáticas de iluminación

Como se menciona en capítulo 2, la correcta selección de una fuente de luz y sistema de iluminación facilita los procesos de visión artificial.

Se eligió como fuente de iluminación los focos fluorescentes, por sus diferentes ventajas mencionadas en el capitulo 2 y se decidió iluminar la escena con un panel de fondo.

Para que la luz se proyecte de manera homogénea y a una intensidad adecuada, la caja de iluminación quedó constituida de la siguiente manera: foco de 20 W, se utilizaron 3 capas de papel plano y 2 capas de papel bond de 75gr. Este proceso de selección se hizo vital debido a las distintas necesidades de iluminación de cada algoritmo, dado que el algoritmo de análisis central inicialmente requería de mucha iluminación y el de análisis de color por el contrario de poca iluminación. A continuación se muestran las diferentes pruebas realizadas.

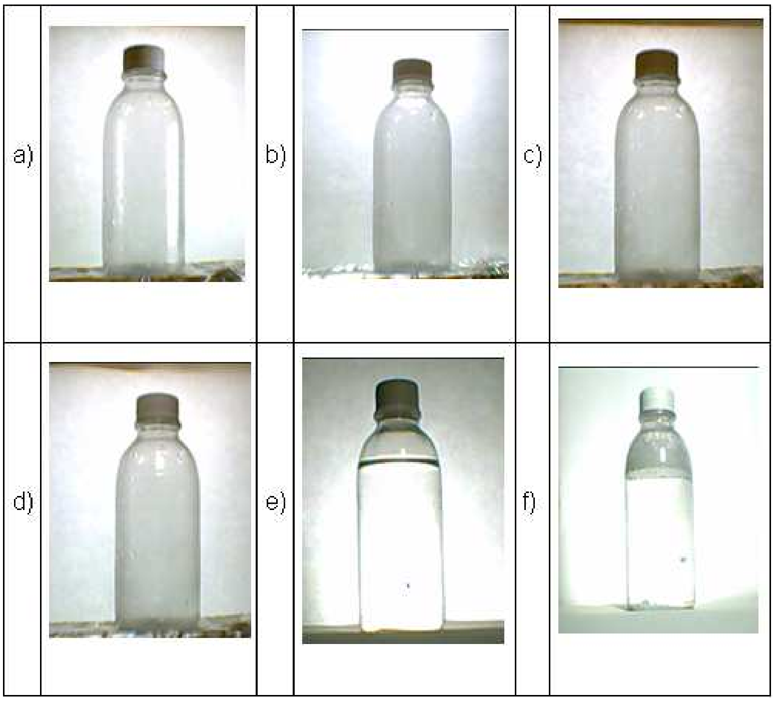


Imagen 5-2 Tipos de iluminación

Análisis de frascos sobre la banda transportadora

Pruebas de detención de la banda

Debido a que los instrumentos virtuales de análisis no eran capaces de realizar la determinación de las impurezas en movimiento, se hizo necesario hacer que la banda detenga el frasco justo cuando éste se encontrase al frente de la cámara.

Como primer intento se desarrolló un instrumento virtual que ejecutaba de manera continua la búsqueda de la tapa de la botella, y la inmediata detención de la banda cuando esto ocurriese.

Lastimosamente la velocidad de captura de la cámara web limito el desempeño del instrumento virtual, lo cual ocasionaba que los frascos no se detuviesen o si lo hacían quedaban fuera del alcance de la cámara.

Como alternativa se optó por el uso de un sensor refex que permitía detectar el frasco, enviaba un pulso hacia la tarjeta controladora con el dsPic y detenía la banda para que el frasco quede frente a la cámara.

Pruebas de análisis de frascos

Una vez elaborado y desarrollado el código basado en las imágenes estáticas. El paso inicial fue realizar pruebas para movimiento de la banda, esta etapa consistió en el análisis del funcionamiento de la tarjeta controladora de la banda transportadora, mediante los instrumentos virtuales mencionados en el capítulo 4; permitiendo la captura de video de forma continua de los objetos transportados.

Establecida la comunicación entre la banda transportadora y la computadora, el siguiente paso corresponde al trabajo ejecutado para el análisis de las imágenes con turbiedades, trabajo apoyado en el código elaborado en el estudio de las imágenes estáticas.

Una vez realizado el análisis de los frascos, y determinado si éste cumple con los requerimientos dados, se continua con el proceso normal, en caso de no ocurrir esto, se debe proceder con la eliminación del mismo, por este motivo se procedió con el establecimiento de la comunicación entre el brazo empuja frascos y la computadora. Esta comunicación se consiguió por medio de la tarjeta controladora y los respectivos instrumentos virtuales, tal como se mencionó en el capitulo 4, obtenida la comunicación con este dispositivo se ejecuta el procedimiento para descartar el frasco mediante el brazo empuja frascos.

5.2 Datos obtenidos

Una vez completada la fase de experimentación y finalización de la implementación del código elaborado. Se procedió a realizar pruebas correspondientes a una muestra de 156 frascos, que fueron colocados sobre la banda transportadora en grupos de 15 frascos.

El paso principal como se explico en el capitulo anterior consiste en la etapa de selección de la región de interés, tal y como se muestra en las imagen 5-3 a y b, la misma que se selecciona en base a la plantilla de la tapa de botella.

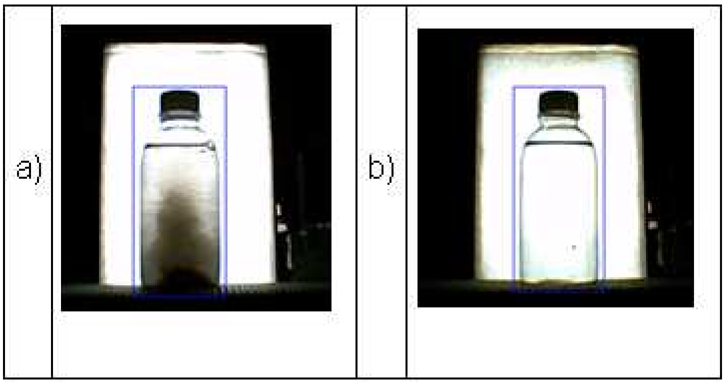


Imagen 5-3

En la imagen 5-4 a, b c y d se observan los resultados del análisis de un frasco sin impurezas.

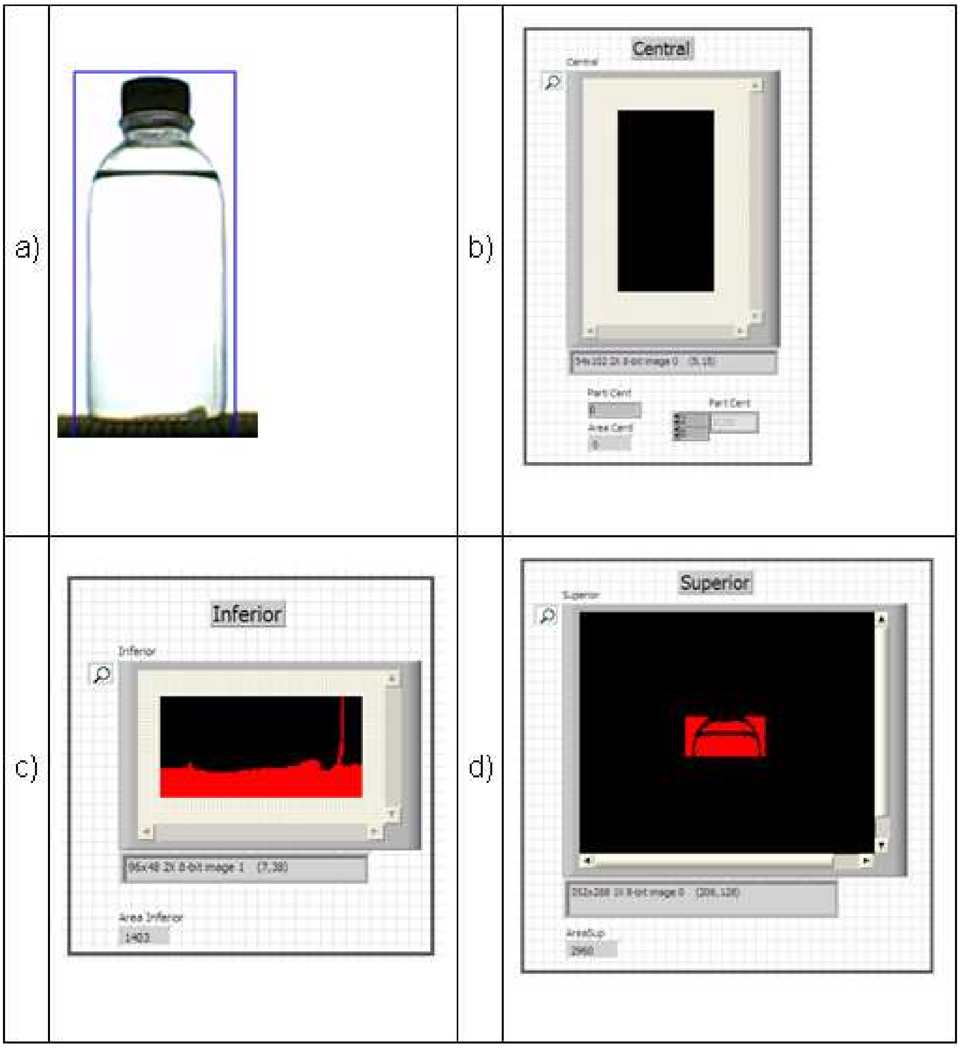


Imagen 5-4 Resultados del análisis de un frasco sin turbiedades

En la imagen 5-5 a, b c y d se observan los resultados del análisis de un frasco con impurezas en la parte superior.

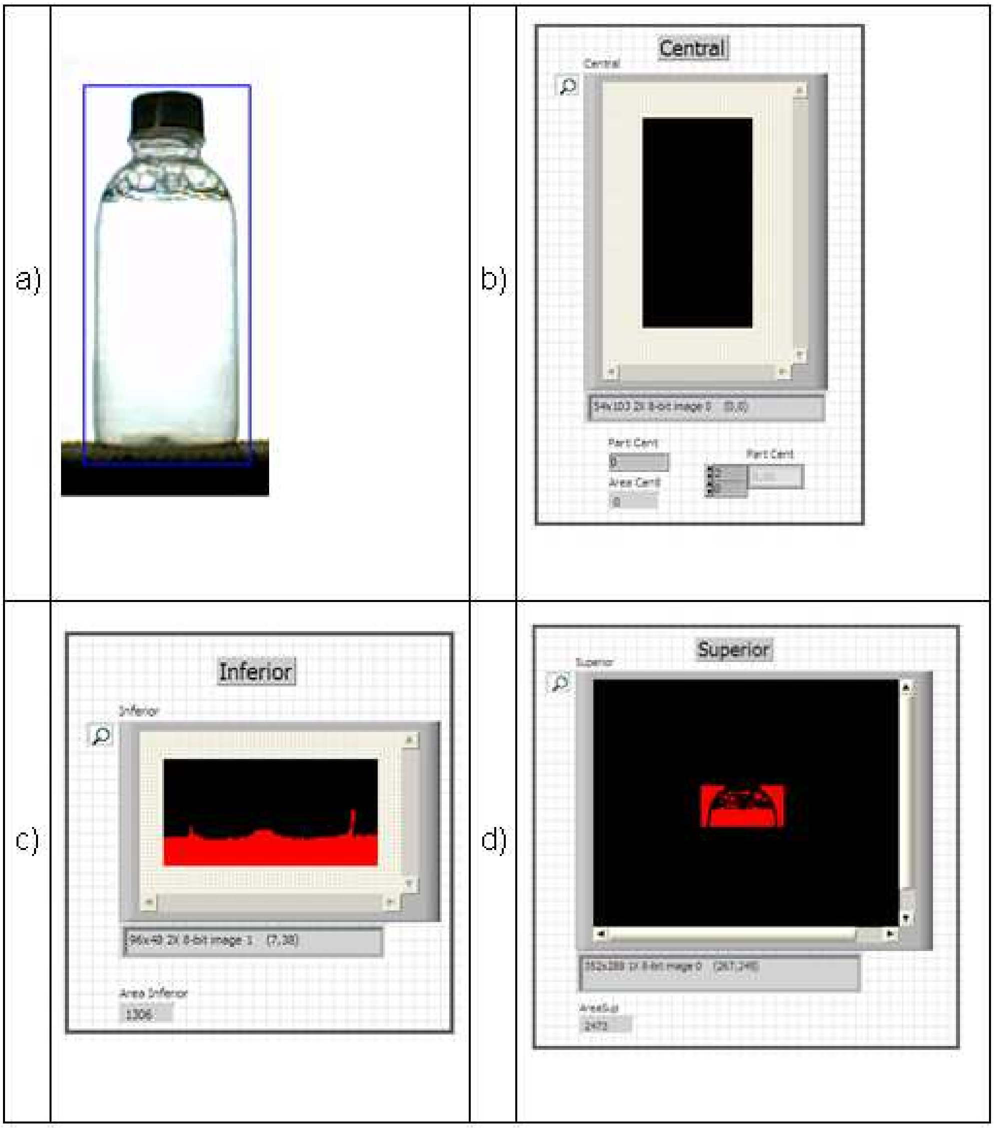


Imagen 5-5 Resultados del análisis de un frasco con impurezas en la parte superior

En la imagen 5-6 a, b c y d se observan los resultados del análisis de un frasco con impurezas en la parte inferior.

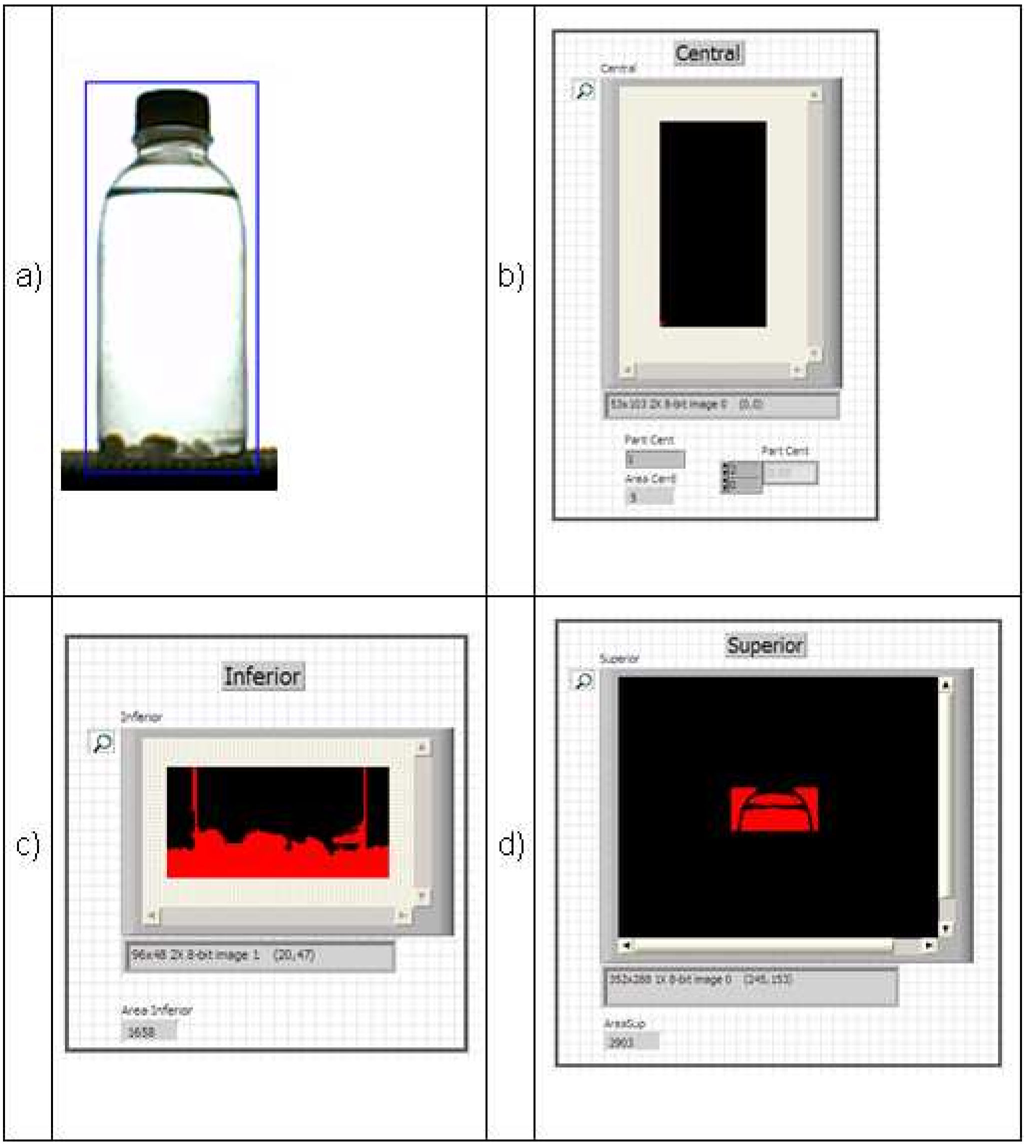


Imagen 5-6 Resultados del análisis de un frasco con impurezas en la parte inferior

En la imagen 5-7 a, b c y d se observan los resultados del análisis de un frasco con impurezas en las tres partes.

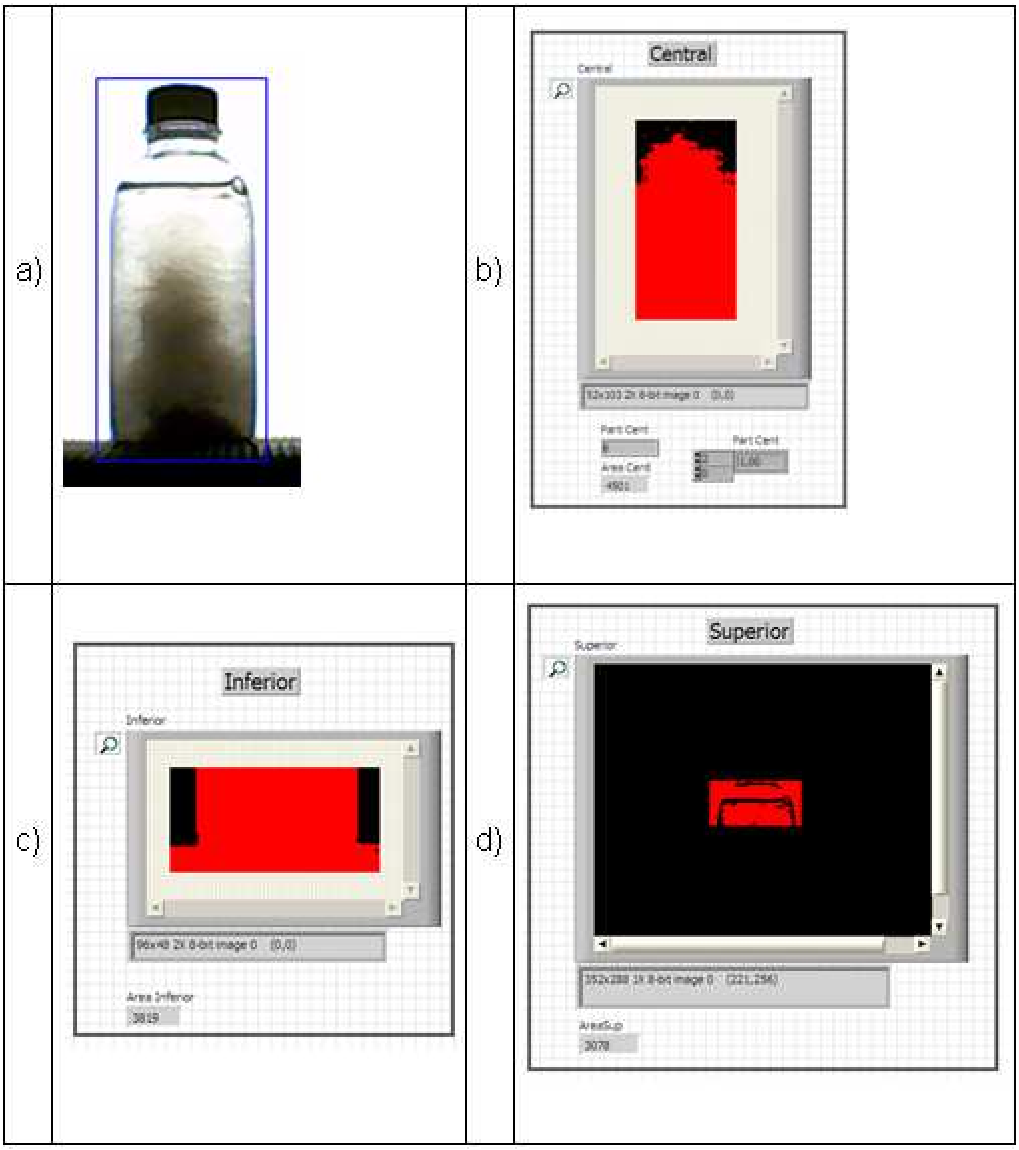


Imagen 5-7 Resultados del análisis de un frasco con impurezas en las tres partes

5.3 Análisis de resultados

Para realizar un análisis correcto de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, se ha optado por realizar la división en 2 etapas. La primera etapa, corresponde al análisis realizado para hacer los ajustes de los umbrales de aceptación en los diferentes análisis. En la segunda etapa, se hace referencia a la eficiencia del algoritmo al momento de realizar el descarte de los frascos analizados.

Determinación de Umbrales de Comparación

En la imagen 5-8 se muestran los resultados correspondientes al análisis de color, donde se grafica los valores de coincidencia o aceptación de la plantilla que tuvo cada frasco al ser analizado, la tabla correspondiente al gráfico se la puede apreciar en la parte de Anexos. Cada cuadro azul representa un frasco con impurezas, y cada cuadro verde a cada frasco sin impurezas que ha sido analizado. Se puede observar como se realiza la distribución de los datos de la muestra para cada uno de los casos antes descritos.

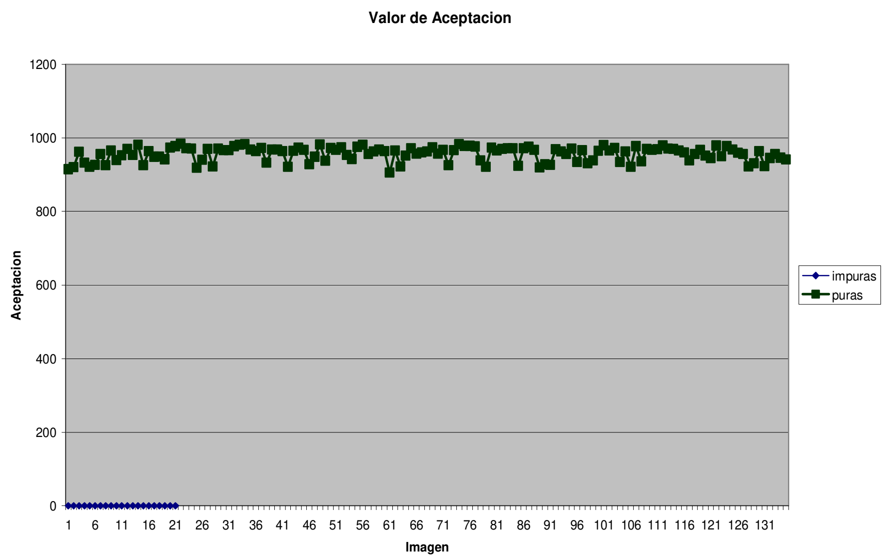


Imagen 5-8 Umbral de comparación de análisis de color

En la imagen 5-9 se presentan los resultados obtenidos producto del análisis realizado en el área central, como se observa en esta gráfico existe cierta distribución de los datos donde se observa que las sumas de áreas para los frascos sin impurezas tienden a ubicarse en la parte inferior del gráfico. Los datos se encuentran en la tabla ubicada en los Anexos.

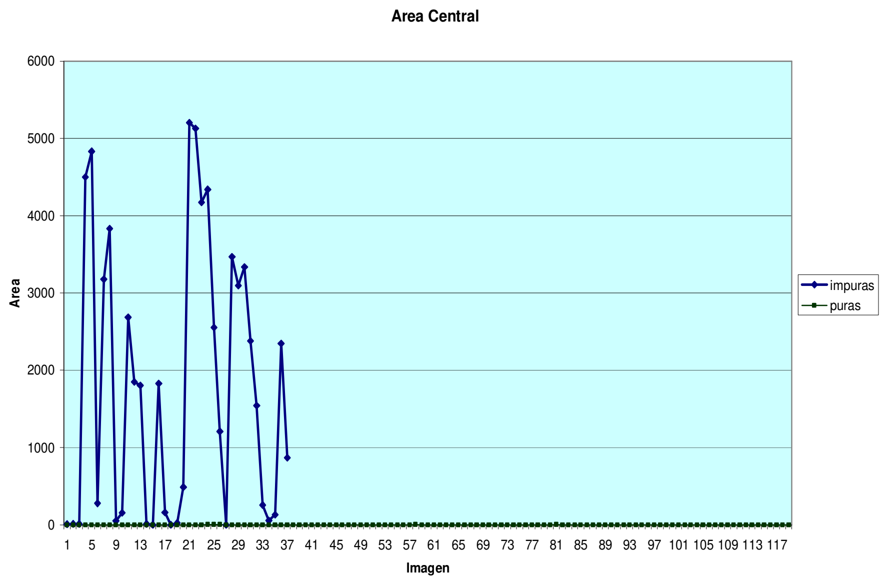


Imagen 5-9 Umbral de comparación de análisis central

Para permitir una mejor visualización de los valores ubicados en la parte inferior, se ha realizado un acercamiento de la visión de los datos, de manera que permita realizar una mejor discriminación de la aceptación de los frascos. Como consecuencia de este análisis, se ha tomado como valor de umbral de aceptación, un nivel de suma de áreas de pixeles igual a 10.

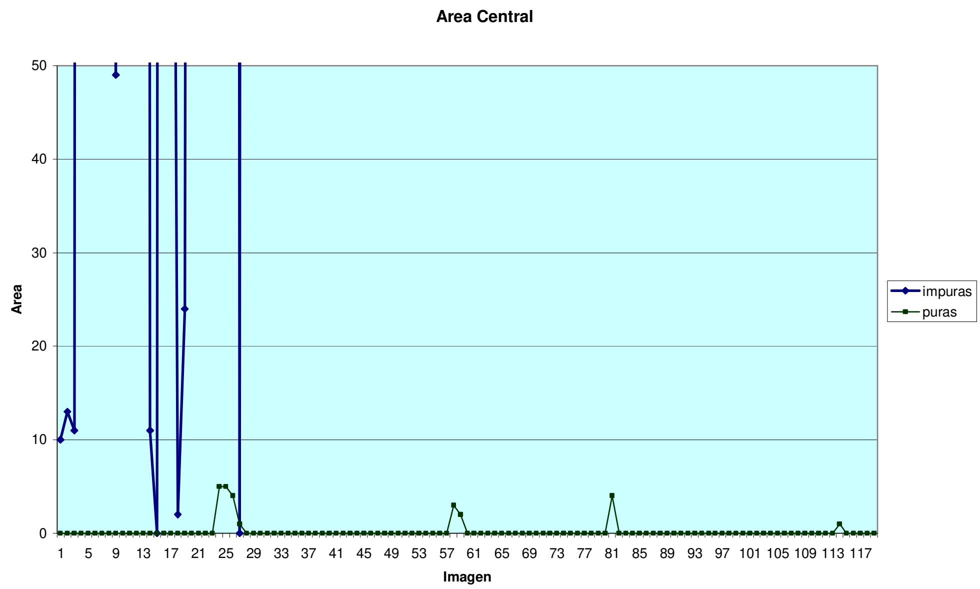


Imagen 5-10 Umbral de comparación de análisis de central amplificado

En la imagen 5-11 se tienen las muestras de los datos obtenidos del análisis de área superior, cuya respuesta nos proporciona la suma de todas las áreas encontradas, como se puede observar los valores de las muestras posicionados en la parte superior (cuadrados) corresponde a los frascos sin impurezas, y a los frascos con impurezas (rombos) las muestras localizadas en la parte inferior.

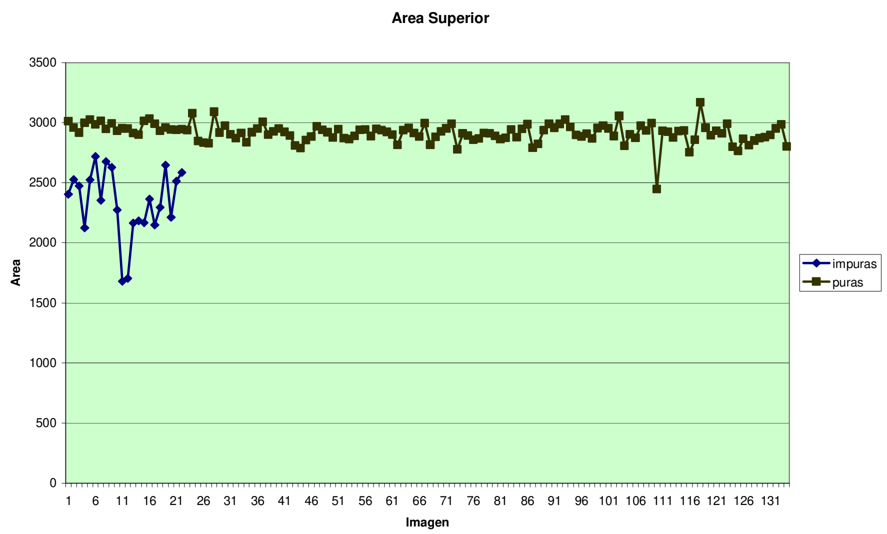


Imagen 5-11 Umbral de comparación de análisis superior

Esta gráfica ha permitido la determinación del nivel de aprobación o rechazo de los frascos. En función de estos datos obtenidos, el valor asignado fue de 2737 pixeles correspondientes a la suma total de áreas.

La siguiente imagen 5-12, muestra todos los datos obtenidos del análisis de área inferior realizado a las muestras, estos valores corresponden a la suma de todas las áreas encontradas en cada una de las imágenes, como se puede observar, los datos ubicados en la parte superior (cuadrados) representan los frascos con impurezas asentadas en la parte inferior del frasco, y los datos de abajo (rombos) corresponden a los frascos sin impurezas.

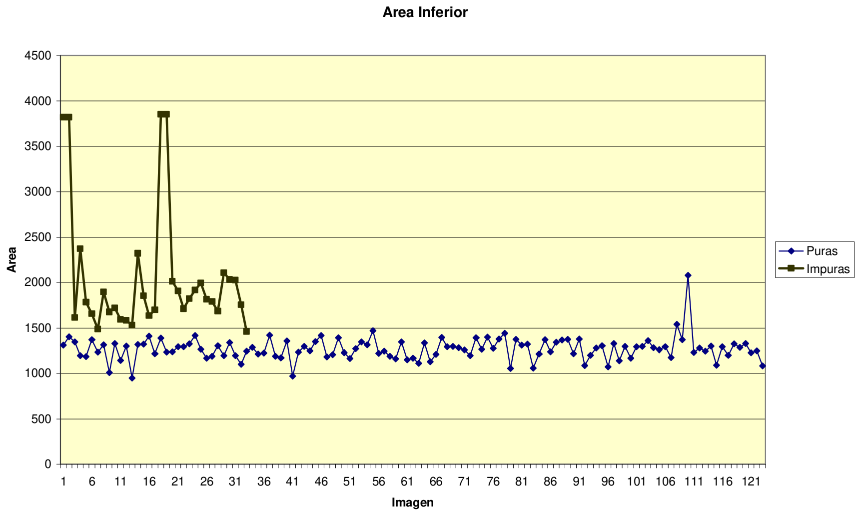


Imagen 5-12 Umbral de comparación de análisis inferior

Una vez realizada la inspección de estos valores obtenidos, en función de estos se asigno el valor de 1480 pixeles correspondientes a la suma total de áreas, para permitir la discriminación de los frascos.

Eficiencia y datos aberrantes.

Para determinar los umbrales de aceptación para cada uno de los algoritmos de análisis, se optó por revisar con detalle todos los valores proporcionados por LabVIEW, de manera que se observaron valores en cada uno de los análisis que correspondían a datos aberrantes, esto quiere decir que escapaban a la distribución que tomaban los datos restantes de la muestra de frascos.

Eficiencia Color

Al momento de realizar un análisis de la eficiencia del código empleado para la calificación de los frascos, se observa en todos los casos de análisis, que el algoritmo tiene coherencia con el análisis visual de los envases, por consiguiente proporcionando un 100% de eficiencia del código en cuanto a su desempeño independiente, los datos con los que se realizó este análisis pueden ser observados en el Anexo C.

Eficiencia Central

En el análisis de la eficiencia del algoritmo empleado para la región central, se observa que existen casos en los cuales aparecen manchas generadas en regiones próximas a los bordes del frasco, que ocasiona que el algoritmo falle, correspondiendo a regiones en las cuales la sensibilidad del algoritmo. En vista de este evento generado, se obtuvo una efectividad mayor al 98.7%, los datos obtenidos del respectivo análisis pueden observarse en el Anexo D.

Eficiencia Superior

Realizada la prueba de análisis superior a los frascos, en función de los resultados obtenidos, se puede decir, que el algoritmo posee una eficiencia del 100%, manera independiente de los otros algoritmos, en el Anexo B se encuentran los datos generados por el algoritmo.

Eficiencia Inferior

Luego de realizado el proceso de determinación del umbral observando las muestras y eliminando los datos aberrantes, para la selección del umbral se obtuvo una eficiencia mayor al 98.1% de manera independiente de los otros algoritmos de análisis, estos datos pueden ser corroborados en el Anexo A.

Eficiencia Total

Con la integración de los 4 algoritmos de detección de impurezas, la determinación de la eficiencia dependerá del nivel de compatibilidad de los algoritmos, en función de esto se pueden observar la existencia de casos falsos verdaderos y verdaderos falsos al momento de determinar si se ha realizado el descarte correcto o incorrecto del frasco analizado. Como se puede observar en el Anexo E. La eficiencia total obtenida en el sistema es de 97.4%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El algoritmo desarrollado conllevó numerosas etapas de investigación, ajustes y pruebas con la finalidad de alcanzar el algoritmo final, basado en métodos y en las respectivas consideraciones de las diferentes problemáticas suscitadas en el desarrollo.

Conforme a todo lo planteado se concluye y recomienda:

Conclusiones

1. El sistema de detección de turbiedades funcionó acorde a las limitaciones del proyecto: se trabajó con un líquido homogéneo, un frasco transparente con las dimensiones especificadas y con la definición sui géneris de turbiedad. El sistema fue capaz de detectar

turbiedades asentadas en el fondo del frasco, flotando en la parte central o superior, variaciones en la tonalidad del líquido o una combinación de las mismas.

2. La elección de LabVIEW como herramienta de programación fue acertada, en ella se pueden encontrar muchos instrumentos virtuales, que con un nivel de conocimiento intermedio acerca del procesamiento de imágenes, permiten al diseñador implementar de manera fácil y dinámica las soluciones. Se logró configurar filtros de nitidez, realzar bordes y buscar patrones con los instrumentos virtuales proporcionados en la librería NI Vision.

3. Se consiguió el objetivo de integrar el sistema diseñado al sistema de bandas transportadoras y brazo empuja frasco, permitiendo detener o mover la banda y aceptar o rechazar los frascos.

4. La solución ha sido diseñada con la idea de brindar un producto flexible y así lo es, si se realiza un cambio fijo en la intensidad de iluminación (por ejemplo se coloca un foco de mayor o menor potencia) solo deben cambiarse los valores de umbral de los algoritmos y éstos funcionarán correctamente.

5. La técnica en la que se basa tres de los algoritmos para la detección de turbiedades es el análisis binario de imágenes. El cual consiste

convertir la imagen de color a escala de grises, y luego convertirla en binario. La conversión en binario se basó en los métodos estadísticos proporcionados por NI Vision:

Análisis Central: se usó la entropía, debido a que permite detectar partículas en minúsculas proporciones en la imagen. Se configuró a los instrumentos virtuales para que se enfoquen en los objetos oscuros, ya que el fondo de iluminación es blanco; resaltando las impurezas como oscuros.

Análisis Superior: se usó entropía enfocándose en objetos brillantes. A diferencia del análisis central en éste, las impurezas flotantes generaban burbujas, ocasionando un brillo con la iluminación de fondo.

Análisis Inferior: se usó la entropía, debido a que permite detectar partículas en minúsculas proporciones en la imagen. Se configuró a los instrumentos virtuales para que se enfoquen en los objetos oscuros, ya que el fondo de iluminación es blanco; resaltando las impurezas como oscuros.

En las imágenes binarias se analizó el área de las partículas y se notó la existencia de una tendencia en las áreas. Se tomaron 156 muestras en las cuales se determinaron tendencias de áreas para los frascos con y sin turbiedades. Se utilizaron dichos valores de tendencia para poder decir qué frasco estaba con turbiedad y cuál no.

La cantidad de falsos positivos y falsos negativos fue del 2.56% en el sistema de detección de impurezas. Lo cual nos permite concluir que la elección del método de entropía seleccionado fue el más adecuado para el diseño de esta solución.

6. En los resultados de los análisis se determinó que el sistema de detección de turbiedades de manera global tuvo una eficiencia del 97.44%, y su tiempo de procesamiento fue de 12 ms.

   Cada etapa de análisis de manera independiente obtuvo los siguientes porcentajes de eficiencia:

   Análisis de color: 100%

   Análisis superior: 100%

   Análisis central: 98.7%

   Análisis inferior: 98.1%

   Estos resultados permiten concluir que:

Los métodos de conversión a binario basados en entropía fueron los más adecuados.

La división del análisis por sectores facilitó el diseño de la solución y nos entregó excelentes resultados.

La construcción de la caja para evitar el ruido permitió tener un alto desempeño.

El sistema de iluminación de campo oscuro fue el adecuado para poder resaltar las turbiedades y así ser capaces de detectarlas.

La cámara USB tuvo un desempeño aceptable para capturar las imágenes a analizar; pero resulta demasiado lenta para poder implementar con ella un programa en LabVIEW que detenga la banda.

Recomendaciones

1. El desarrollo tecnológico nos ofrece cada día modelos de cámaras más robustos (de mayor resolución y mejor tiempo de captura), se recomienda en el futuro experimentar con una cámara USB de mejores características. Si se cuenta con fondos suficientes para

comprar una cámara industrial, los resultados obtenidos serían mejores.

2. Se recomienda el uso de LabVIEW para el desarrollo de aplicaciones de visión, ya que permite usar y modificar de manera sencilla los diferentes algoritmos, filtros y análisis binarios que forman parte del procesamiento digital de imágenes.

Anexo A

Datos obtenidos análisis inferior

La X significa frasco sin turbiedades, mientras que la O significa frasco con turbiedades. Los valores sombreados son errores del algoritmo.

Imagen de Análisis #	Resultado Área Inferior (pixeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
000	1311	X	X
001	1403	X	X
002	1345	X	X
003	1195	X	X
004	1183	X	X
005	1372	X	X
006	1236	X	X
007	1316	X	X
008	1010	X	X
009	1331	X	X
010	1142	X	X
011	1301	X	X
012	951	X	X
013	1318	X	X
014	1321	X	X
015	1411	X	X
016	1215	X	X
017	1389	X	X
018	1234	X	X
019	1238	X	X
020	1291	X	X
021	1292	X	X
022	1328	X	X
023	1415	X	X
024	3819	O	O

Imagen de Análisis #	Resultado Área Inferior (pixeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
025	3820	O	O
026	1618	O	O
027	2372	O	O
028	1784	O	O
029	1267	x	X
030	1169	x	X
031	1658	O	O
032	1189	x	X
033	1491	O	O
034	1306	x	X
035	1895	O	O
036	1676	O	O
037	1720	O	O
038	1198	x	X
039	1340	x	X
040	1196	x	X
041	1099	x	X
042	1245	x	X
043	1286	x	X
044	1594	O	O
045	1213	x	X
046	1223	x	X
047	1586	O	O
048	1532	O	O
049	1422	x	X
050	1187	x	X
051	1171	x	X
052	1360	x	X
053	970	x	X
054	1234	x	X
055	2320	O	O
056	1298	x	X
057	1247	x	X
058	1349	x	X
059	1415	x	X
060	1180	x	X
061	1207	x	X
062	1394	x	X
063	1229	x	X
064	1161	x	X
065	1274	x	X
066	1347	x	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Inferior (pixeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
067	1315	x	X
068	1470	x	X
069	1221	x	X
070	1246	x	X
071	1187	x	X
072	1160	x	X
073	1345	x	X
074	1855	O	O
075	1635	O	O
076	1151	x	X
077	1169	x	X
078	1110	x	X
079	1337	x	X
080	1126	x	X
081	1211	x	X
082	1396	x	X
083	1295	x	X
084	1300	x	x
085	1284	x	x
086	1259	x	x
087	1193	x	x
088	1395	x	x
089	1266	x	x
090	1402	x	x
091	1276	x	x
092	1378	x	x
093	1442	x	x
094	1054	x	x
095	1374	x	x
096	1698	O	O
097	1313	x	x
098	1321	x	x
099	3852	O	O
100	3853	O	O
101	1057	x	x
102	1212	x	x
103	1373	x	x
104	2013	O	O
105	1910	O	O
106	1239	x	x
107	1343	x	x
108	1368	x	x

Imagen de Análisis #	Resultado Área Inferior (pixeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
109	1375	x	x
110	1712	O	O
111	1216	x	x
112	1822	O	O
113	1377	x	x
114	1087	x	x
115	1199	x	x
116	1280	x	x
117	1919	O	O
118	1306	x	x
119	1072	x	x
120	1330	x	x
121	1140	x	x
122	1300	x	x
123	1168	x	x
124	1297	x	x
125	1299	x	x
126	1363	x	x
127	1284	x	x
128	1262	x	x
129	1291	x	x
130	1176	x	x
131	1540	x	O
132	1371	x	x
133	2079	x	O
134	1232	x	x
135	1995	O	O
136	1815	O	O
137	1280	x	x
138	1790	O	O
139	1244	x	x
140	1302	x	x
141	1686	O	O
142	2110	O	O
143	2031	O	O
144	2025	O	O
145	1088	x	x
146	1297	x	x
147	1202	x	x
148	1323	x	x
149	1286	x	x
150	1332	x	x

Imagen de Análisis #	Resultado Área Inferior (pixeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
151	1226	x	x
152	1247	x	x
153	1757	O	O
154	1461	O	x
155	1083	x	x

La eficiencia del algoritmo se muestra a continuación:

Número de Muestras:	156
Número de Errores	3
% de Eficiencia	98,1%

Anexo B

Datos obtenidos análisis superior

La X significa frasco sin turbiedades, mientras que la O significa frasco con turbiedades. Los valores sombreados son errores del algoritmo.

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
000	3010	X	X
001	2960	X	X
002	2918	X	X
003	2999	X	X
004	3025	X	X
005	2985	X	X
006	2403	O	O
007	3014	X	X
008	2947	X	X
009	2993	X	X
010	2931	X	X
011	2952	X	X
012	2948	X	X
013	2911	X	X
014	2900	X	X
015	3014	X	X
016	3034	X	X
017	2990	X	X
018	2932	X	X
019	2958	X	X
020	2943	X	X
021	2939	X	X
022	2945	X	X
023	2938	X	X
024	3078	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
025	2846	X	X
026	2833	X	X
027	2828	X	X
028	3089	X	X
029	2916	X	X
030	2975	X	X
031	2903	X	X
032	2528	O	O
033	2869	X	X
034	2473	O	O
035	2913	X	X
036	2835	X	X
037	2920	X	X
038	2125	O	O
039	2949	X	X
040	3005	X	X
041	2524	O	O
042	2899	X	X
043	2926	X	X
044	2949	X	X
045	2923	X	X
046	2892	X	X
047	2809	X	X
048	2789	X	X
049	2855	X	X
050	2882	X	X
051	2968	X	X
052	2939	X	X
053	2919	X	X
054	2876	X	X
055	2720	O	O
056	2944	X	X
057	2869	X	X
058	2353	O	O
059	2863	X	X
060	2890	X	X
061	2940	X	X
062	2942	X	X
063	2888	X	X
064	2947	X	X
065	2936	X	X
066	2922	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
067	2899	X	X
068	2814	X	X
069	2937	X	X
070	2954	X	X
071	2912	X	X
072	2882	X	X
073	2996	X	X
074	2816	X	X
075	2879	X	X
076	2676	O	O
077	2628	O	O
078	2926	X	X
079	2952	X	X
080	2992	X	X
081	2776	X	X
082	2909	X	X
083	2893	X	X
084	2858	X	X
085	2867	X	X
086	2911	X	X
087	2909	X	X
088	2890	X	X
089	2862	X	X
090	2872	X	X
091	2272	O	O
092	2941	X	X
093	2878	X	X
094	2946	X	X
095	2986	X	X
096	2790	X	X
097	2822	X	X
098	2938	X	X
099	1680	O	O
100	1704	O	O
101	2989	X	X
102	2957	X	X
103	2164	O	O
104	2989	X	X
105	3026	X	X
106	2183	O	O
107	2964	X	X
108	2897	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
109	2886	X	X
110	2907	X	X
111	2867	X	X
112	2953	X	X
113	2974	X	X
114	2951	X	X
115	2166	O	O
116	2887	X	X
117	3056	X	X
118	2805	X	X
119	2903	X	X
120	2872	X	X
121	2975	X	X
122	2935	X	X
123	2997	X	X
124	2449	O	O
125	2931	X	X
126	2924	X	X
127	2364	O	O
128	2874	X	X
129	2930	X	X
130	2935	X	X
131	2754	X	X
132	2858	X	X
133	3169	X	X
134	2957	X	X
135	2895	X	X
136	2932	X	X
137	2909	X	X
138	2991	X	X
139	2799	X	X
140	2149	O	O
141	2764	X	X
142	2866	X	X
143	2812	X	X
144	2851	X	X
145	2870	X	X
146	2878	X	X
147	2897	X	X
148	2295	O	O
149	2951	X	X
150	2646	O	O

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
151	2213	O	O
152	2512	O	O
153	2984	X	X
154	2801	X	X
155	2587	O	O

La eficiencia del algoritmo se muestra a continuación:

Número de Muestras:	156
Número de Errores	0
% de Eficiencia	100,0%

Anexo C

Datos obtenidos análisis de color

La X significa frasco sin turbiedades, mientras que la O significa frasco con turbiedades. Los valores sombreados son errores del algoritmo.

Imagen de Análisis #	Resultado Color (valor de coincidencia)	Cantidad de Coincidencias	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
000	914,87	1	X	X
001	920,93	1	X	X
002	962,00	1	X	X
003	932,49	1	X	X
004	921,63	1	X	X
005	926,57	1	X	X
006	956,18	1	X	X
007	925,41	1	X	X
008	965,27	1	X	X
009	939,39	1	X	X
010	952,45	1	X	X
011	969,70	1	X	X
012	953,61	1	X	X
013	981,12	1	X	X
014	925,64	1	X	X
015	963,64	1	X	X
016	948,25	1	X	X
017	949,18	1	X	X
018	941,96	1	X	X
019	973,19	1	X	X
020	977,39	1	X	X
021	983,68	1	X	X
022	971,33	1	X	X
023	970,16	1	X	X
024	0,00	0	O	O

Imagen de Análisis #	Resultado Color (valor de coincidencia)	Cantidad de Coincidencias	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
025	0,00	0	O	O
026	918,83	1	X	X
027	0,00	0	O	O
028	0,00	0	O	O
029	939,86	1	X	X
030	969,93	1	X	X
031	921,82	1	X	X
032	970,16	1	X	X
033	966,43	1	X	X
034	966,67	1	X	X
035	977,16	1	X	X
036	981,59	1	X	X
037	983,17	1	X	X
038	968,07	1	X	X
039	963,64	1	X	X
040	972,26	1	X	X
041	932,63	1	X	X
042	968,30	1	X	X
043	968,07	1	X	X
044	0,00	0	O	O
045	964,10	1	X	X
046	920,98	1	X	X
047	0,00	0	O	O
048	0,00	0	O	O
049	964,34	1	X	X
050	973,19	1	X	X
051	967,37	1	X	X
052	927,74	1	X	X
053	948,48	1	X	X
054	982,28	1	X	X
055	0,00	0	O	O
056	937,76	1	X	X
057	972,49	1	X	X
058	966,90	1	X	X
059	973,89	1	X	X
060	953,15	1	X	X
061	942,19	1	X	X
062	975,29	1	X	X
063	981,82	1	X	X
064	955,94	1	X	X
065	963,17	1	X	X
066	967,83	1	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Color (valor de coincidencia)	Cantidad de Coincidencias	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
067	963,64	1	X	X
068	904,90	1	X	X
069	965,27	1	X	X
070	922,38	1	X	X
071	951,98	1	X	X
072	971,10	1	X	X
073	956,88	1	X	X
074	960,37	1	X	X
075	962,70	1	X	X
076	973,66	1	X	X
077	956,88	1	X	X
078	966,90	1	X	X
079	925,87	1	X	X
080	965,97	1	X	X
081	982,98	1	X	X
082	978,09	1	X	X
083	978,46	1	X	X
084	976,46	1	X	X
085	938,46	1	X	X
086	921,26	1	X	X
087	972,73	1	X	X
088	965,50	1	X	X
089	969,46	1	X	X
090	971,33	1	X	X
091	971,24	1	X	X
092	923,64	1	X	X
093	971,33	1	X	X
094	975,76	1	X	X
095	967,37	1	X	X
096	920,05	1	X	X
097	927,97	1	X	X
098	926,57	1	X	X
099	0,00	0	O	O
100	0,00	0	O	O
101	969,00	1	X	X
102	962,70	1	X	X
103	955,94	1	X	X
104	0,00	0	O	O
105	0,00	0	O	O
106	970,63	1	X	X
107	933,80	1	X	X
108	966,20	1	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Color (valor de coincidencia)	Cantidad de Coincidencias	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
109	930,30	1	X	X
110	0,00	0	O	O
111	938,00	1	X	X
112	0,00	0	O	O
113	964,80	1	X	X
114	979,72	1	X	X
115	965,50	1	X	X
116	972,49	1	X	X
117	0,00	0	O	O
118	934,50	1	X	X
119	962,47	1	X	X
120	921,21	1	X	X
121	977,39	1	X	X
122	936,13	1	X	X
123	969,70	1	X	X
124	967,13	1	X	X
125	968,53	1	X	X
126	979,16	1	X	X
127	970,16	1	X	X
128	969,46	1	X	X
129	965,03	1	X	X
130	960,37	1	X	X
131	938,23	1	X	X
132	956,18	1	X	X
133	967,13	1	X	X
134	951,75	1	X	X
135	0,00	0	O	O
136	0,00	0	O	O
137	945,22	1	X	X
138	0,00	0	O	O
139	978,55	1	X	X
140	949,88	1	X	X
141	0,00	0	O	O
142	977,39	1	X	X
143	968,07	1	X	X
144	959,21	1	X	X
145	956,41	1	X	X
146	922,38	1	X	X
147	930,72	1	X	X
148	963,40	1	X	X
149	922,89	1	X	X
150	944,99	1	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Color (valor de coincidencia)	Cantidad de Coincidencias	Inspección Real	Algoritmo de LabVIEW
151	955,94	1	X	X
152	945,92	1	X	X
153	0,00	0	O	O
154	0,00	0	O	O
155	940,79	1	X	X

La eficiencia del algoritmo se muestra a continuación:

Número de Muestras:	156
Número de Errores	0
% de Eficiencia	100,0%

Anexo D

Datos obtenidos análisis central

La X significa frasco sin turbiedades, mientras que la O significa frasco con turbiedades. Los valores sombreados son errores del algoritmo.

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (# partículas detectadas)	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de Labview
000	0	0	X	X
001	0	0	X	X
002	0	0	X	X
003	0	0	X	X
004	0	0	X	X
005	0	0	X	X
006	0	0	X	X
007	0	0	X	X
008	0	0	X	X
009	0	0	X	X
010	0	0	X	X
011	0	0	X	X
012	0	0	X	X
013	0	0	X	X
014	0	0	X	X
015	0	0	X	X
016	0	0	X	X
017	0	0	X	X
018	0	0	X	X
019	0	0	X	X
020	1	10	O	O
021	1	13	O	O
022	1	11	O	O
023	0	0	X	X
024	6	4501	O	O

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (# partículas detectadas)	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de Labview
025	4	4832	O	O
026	2	279	O	O
027	6	3178	O	O
028	7	3833	O	O
029	0	0	X	X
030	0	0	X	X
031	1	5	X	X
032	1	5	X	X
033	1	4	X	X
034	1	1	X	X
035	2	49	O	O
036	4	158	O	O
037	0	0	X	X
038	0	0	X	X
039	0	0	X	X
040	0	0	X	X
041	0	0	X	X
042	0	0	X	X
043	0	0	X	X
044	5	2685	O	O
045	0	0	X	X
046	0	0	X	X
047	3	1849	O	O
048	2	1805	O	O
049	0	0	X	X
050	1	11	O	O
051	0	0	X	X
052	0	0	X	X
053	0	0	X	X
054	0	0	O	X
055	2	1829	O	O
056	0	0	X	X
057	0	0	X	X
058	0	0	X	X
059	0	0	X	X
060	0	0	X	X
061	0	0	X	X
062	0	0	X	X
063	0	0	X	X
064	0	0	X	X
065	0	0	X	X
066	0	0	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (# partículas detectadas)	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de Labview
067	0	0	X	X
068	0	0	X	X
069	0	0	X	X
070	0	0	X	X
071	0	0	X	X
072	0	0	X	X
073	2	3	X	X
074	4	160	O	O
075	1	2	X	X
076	2	2	X	X
077	0	0	X	X
078	0	0	X	X
079	0	0	X	X
080	0	0	X	X
081	0	0	X	X
082	0	0	X	X
083	0	0	X	X
084	0	0	X	X
085	0	0	X	X
086	0	0	X	X
087	0	0	X	X
088	0	0	X	X
089	0	0	X	X
090	0	0	X	X
091	0	0	X	X
092	0	0	X	X
093	5	24	O	O
094	0	0	X	X
095	0	0	X	X
096	2	489	O	O
097	0	0	X	X
098	0	0	X	X
099	1	5202	O	O
100	1	5127	O	O
101	0	0	X	X
102	1	4	X	X
103	0	0	X	X
104	4	4172	O	O
105	4	4340	O	O
106	0	0	X	X
107	0	0	X	X
108	0	0	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (# partículas detectadas)	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de Labview
109	0	0	X	X
110	4	2555	O	O
111	0	0	X	X
112	6	1208	O	O
113	0	0	X	X
114	0	0	X	X
115	0	0	X	X
116	0	0	O	X
117	5	3469	O	O
118	0	0	X	X
119	0	0	X	X
120	0	0	X	X
121	0	0	X	X
122	0	0	X	X
123	0	0	X	X
124	0	0	X	X
125	0	0	X	X
126	0	0	X	X
127	0	0	X	X
128	0	0	X	X
129	0	0	X	X
130	0	0	X	X
131	0	0	X	X
132	0	0	X	X
133	0	0	X	X
134	0	0	X	X
135	8	3099	O	O
136	7	3335	O	O
137	0	0	X	X
138	1	2381	O	O
139	0	0	X	X
140	0	0	X	X
141	5	1541	O	O
142	4	256	O	O
143	1	53	O	O
144	2	129	O	O
145	0	0	X	X
146	0	0	X	X
147	0	0	X	X
148	1	1	X	X
149	0	0	X	X
150	0	0	X	X

Imagen de Análisis #	Resultado Área Superior (# partículas detectadas)	Resultado Área Superior (píxeles)	Inspección Real	Algoritmo de Labview
151	0	0	X	X
152	0	0	X	X
153	4	2345	O	O
154	2	866	O	O
155	0	0	X	X

La eficiencia del algoritmo se muestra a continuación:

Número de Muestras:	156
Número de Errores	2
% de Eficiencia	98,7%

Anexo E

Resultados finales de la detección de turbiedades

La X significa frasco sin turbiedades, mientras que la O significa frasco con turbiedades. Los valores sombreados en rojo indican el algoritmo que falló mientras que el sombreado en verde indica la falla general del sistema y se indica si es un falso positivo o un falso negativo.

	RESULTADO ALGORITMOS DE ANÁLISIS				Resultado Global Algoritmos de Análisis	ERRORES	
Imagen de Análisis #	Color	Superior	Central	Inferior		Falso Negativo	Falso Positivo
000	X	X	X	X	X		
001	X	X	X	X	X		
002	X	X	X	X	X		
003	X	X	X	X	X		
004	X	X	X	X	X		
005	X	X	X	X	X		
006	X	O	X	X	O		
007	X	X	X	X	X		
008	X	X	X	X	X		
009	X	X	X	X	X		
010	X	X	X	X	X		
011	X	X	X	X	X		
012	X	X	X	X	X		
013	X	X	X	X	X		
014	X	X	X	X	X		
015	X	X	X	X	X		
016	X	X	X	X	X		
017	X	X	X	X	X		
018	X	X	X	X	X		
019	X	X	X	X	X		

	RESULTADO ALGORITMOS DE ANÁLISIS				Resultado Global Algoritmos de Análisis	ERRORES	
Imagen de Análisis #	Color	Superior	Central	Inferior		Falso Negativo	Falso Positivo
020	X	X	O	X	O		
021	X	X	O	X	O		
022	X	X	O	X	O		
023	X	X	X	X	X		
024	O	X	O	O	O		
025	O	X	O	O	O		
026	X	X	O	O	O		
027	O	X	O	O	O		
028	O	X	O	O	O		
029	X	X	X	X	X		
030	X	X	X	X	X		
031	X	X	X	O	O		
032	X	O	X	X	O		
033	X	X	X	O	O		
034	X	O	X	X	O		
035	X	X	O	o	O		
036	X	X	O	O	O		
037	X	X	X	O	O		
038	X	O	X	X	O		
039	X	X	X	X	X		
040	X	X	X	X	X		
041	X	O	X	X	O		
042	X	X	X	X	X		
043	X	X	X	X	X		
044	O	X	O	O	O		
045	X	X	X	X	X		
046	X	X	X	X	X		
047	O	X	O	O	O		
048	O	X	O	O	O		
049	X	X	X	X	X		
050	X	X	O	X	o		
051	X	X	X	X	X		
052	X	X	X	X	X		
053	X	X	X	X	X		
054	X	X	X	X	X		E
055	O	O	O	O	O		
056	X	X	X	X	X		
057	X	X	X	X	X		
058	X	O	X	X	O		
059	X	X	X	X	X		
060	X	X	X	X	X		

	RESULTADO ALGORITMOS DE ANÁLISIS				Resultado Global Algoritmos de Análisis	ERRORES	
Imagen de Análisis #	Color	Superior	Central	Inferior		Falso Negativo	Falso Positivo
061	X	X	X	X	X		
062	X	X	X	X	X		
063	X	X	X	X	X		
064	X	X	X	X	X		
065	X	X	X	X	X		
066	X	X	X	X	X		
067	X	X	X	X	X		
068	X	X	X	X	X		
069	X	X	X	X	X		
070	X	X	X	X	X		
071	X	X	X	X	X		
072	X	X	X	X	X		
073	X	X	X	X	X		
074	X	X	O	O	O		
075	X	X	X	O	O		
076	X	O	X	X	O		
077	X	O	X	X	O		
078	X	X	X	X	X		
079	X	X	X	X	X		
080	X	X	X	X	X		
081	X	X	X	X	X		
082	X	X	X	X	X		
083	X	X	X	X	X		
084	X	X	X	X	X		
085	X	X	X	X	X		
086	X	X	X	X	X		
087	X	X	X	X	X		
088	X	X	X	X	X		
089	X	X	X	X	X		
090	X	X	X	X	X		
091	X	O	X	X	O		
092	X	X	X	X	X		
093	X	X	O	X	O		
094	X	X	X	X	X		
095	X	X	X	X	X		
096	X	X	O	O	O		
097	X	X	X	X	X		
098	X	X	X	X	X		
099	O	O	O	O	O		
100	O	O	O	O	O		
101	X	X	X	X	X		

	RESULTADO ALGORITMOS DE ANÁLISIS				Resultado Global Algoritmos de Análisis	ERRORES	
Imagen de Análisis #	Color	Superior	Central	Inferior		Falso Negativo	Falso Positivo
102	X	X	X	X	X		
103	X	O	X	X	O		
104	O	X	O	O	O		
105	O	X	O	O	O		
106	X	O	X	X	O		
107	X	X	X	X	X		
108	X	X	X	X	X		
109	X	X	X	X	X		
110	O	X	O	O	O		
111	X	X	X	X	X		
112	O	X	O	O	O		
113	X	X	X	X	X		
114	X	X	X	X	X		
115	X	O	X	X	O		
116	X	X	X	X	X		E
117	O	X	O	O	O		
118	X	X	X	X	X		
119	X	X	X	X	X		
120	X	X	X	X	X		
121	X	X	X	X	X		
122	X	X	X	X	X		
123	X	X	X	X	X		
124	X	O	X	X	O		
125	X	X	X	X	X		
126	X	X	X	X	X		
127	X	O	X	X	O		
128	X	X	X	X	X		
129	X	X	X	X	X		
130	X	X	X	X	X		
131	X	X	X	O	O	E	
132	X	X	X	X	X		
133	X	X	X	O	O	E	
134	X	X	X	X	X		
135	O	X	O	O	O		
136	O	X	O	O	O		
137	X	X	X	X	X		
138	O	X	O	O	O		
139	X	X	X	X	X		
140	X	O	X	X	O		
141	O	X	O	O	O		
142	X	X	O	O	O		

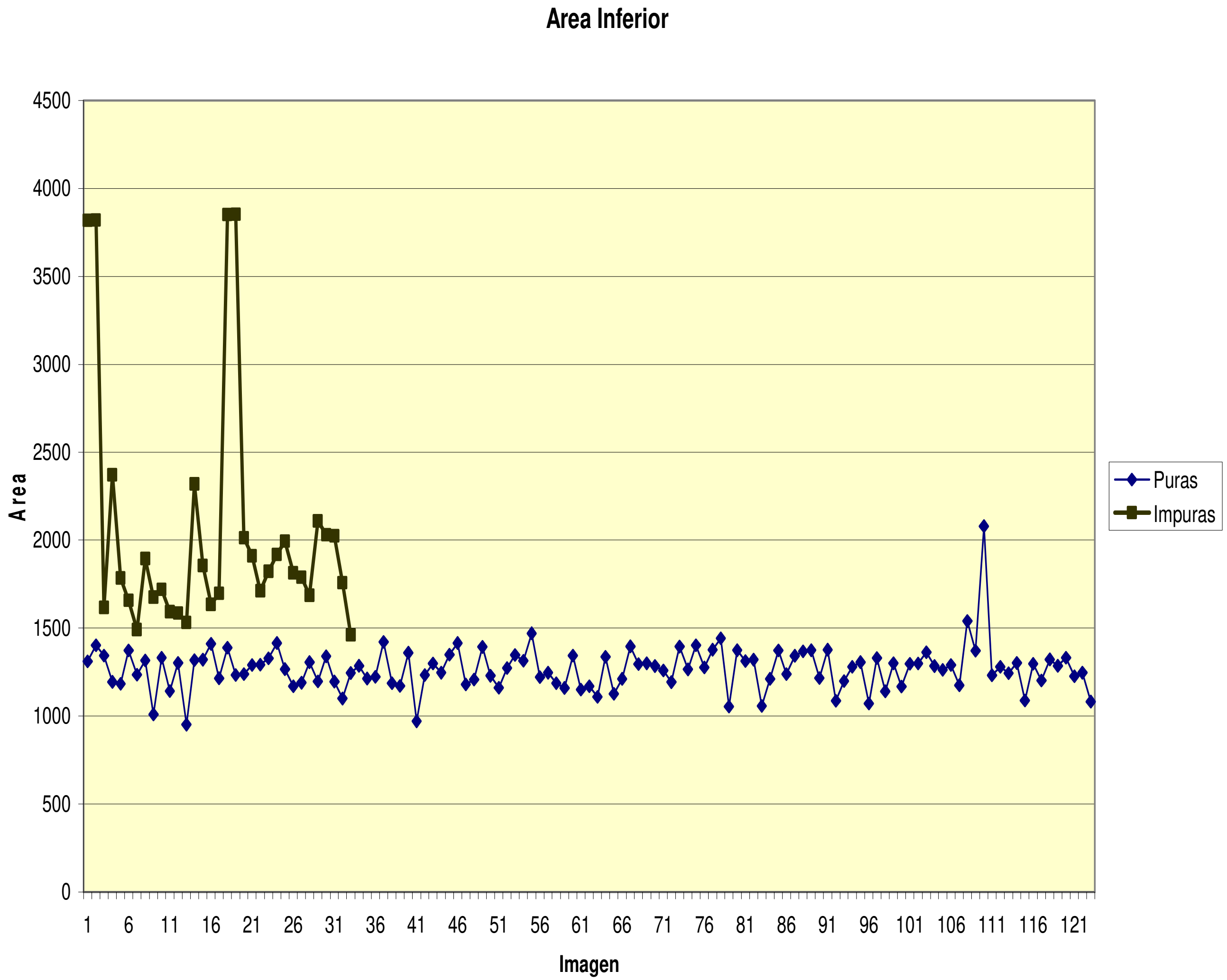
	RESULTADO ALGORITMOS DE ANÁLISIS				Resultado Global Algoritmos de Análisis	ERRORES	
Imagen de Análisis #	**Color**	**Superior**	**Central**	**Inferior**		**Falso Negativo**	**Falso Positivo**
143	X	X	O	O	O		
144	X	X	O	O	O		
145	X	X	X	X	X		
146	X	X	X	X	X		
147	X	X	X	X	X		
148	X	O	X	X	O		
149	X	X	X	X	X		
150	X	O	X	X	O		
151	X	O	X	X	O		
152	X	O	X	X	O		
153	O	X	O	O	O		
154	O	X	O	X	O		
155	X	O	X	X	O		

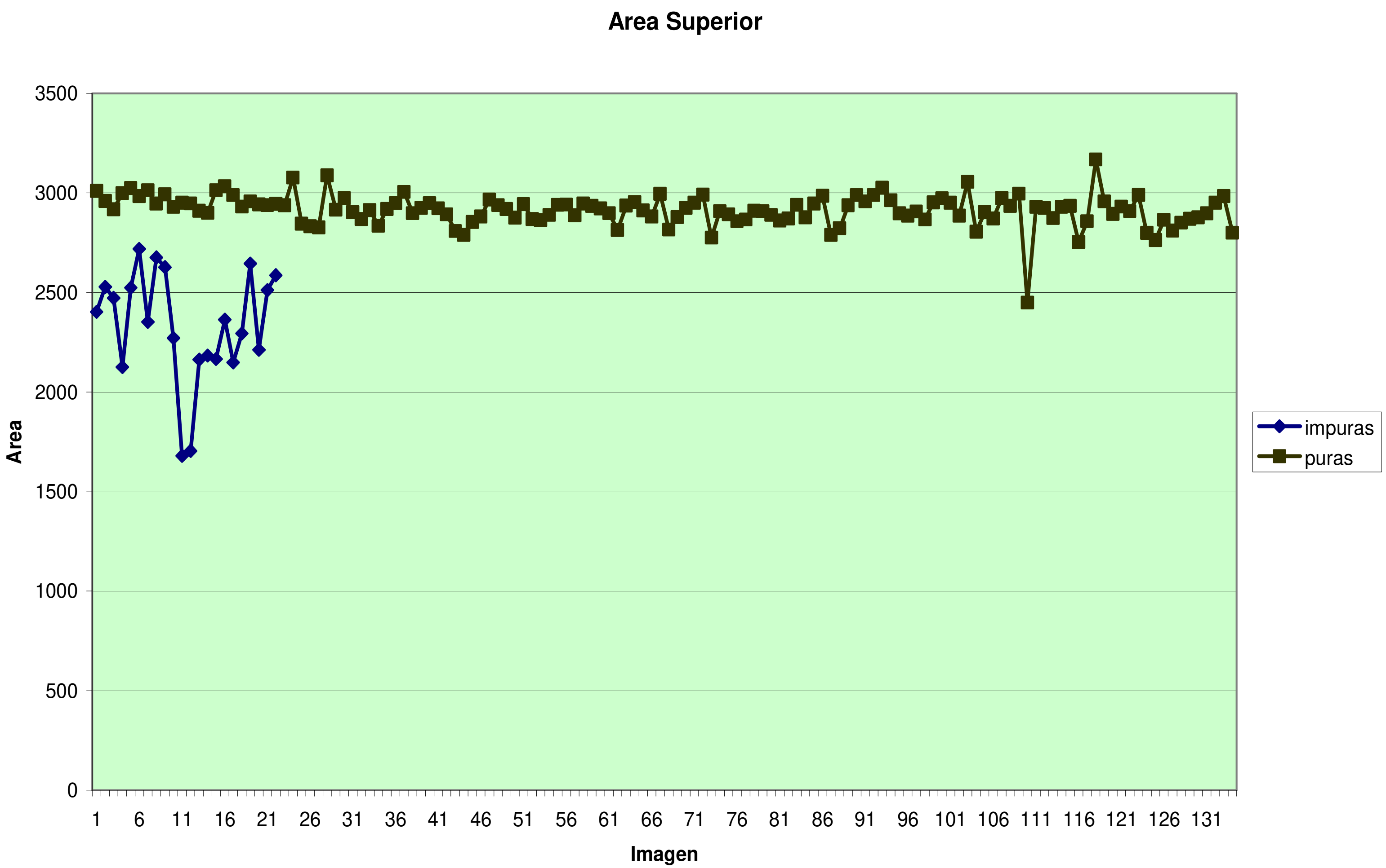
La eficiencia global la vemos en la siguiente tabla:

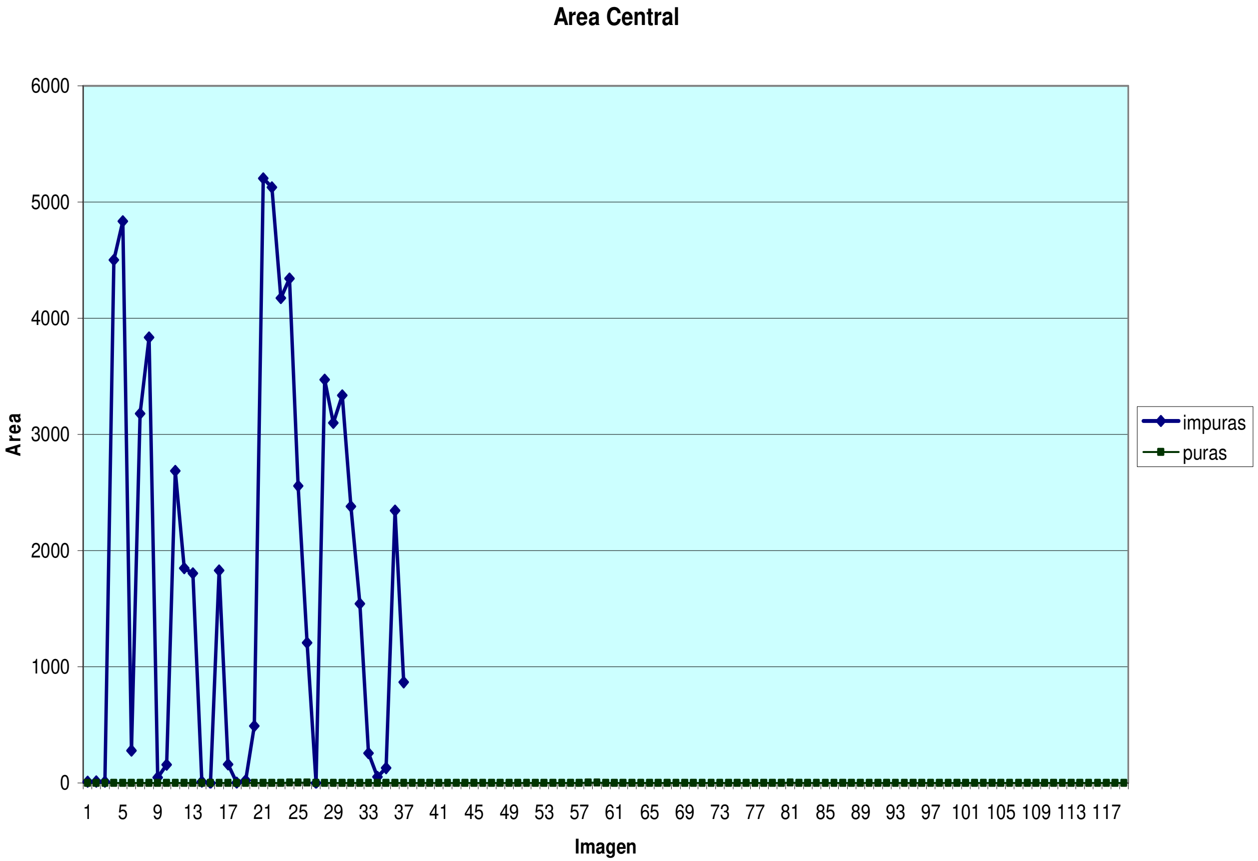
Número de Muestras:	156
Número de Errores	4
% de Eficiencia	97,4%

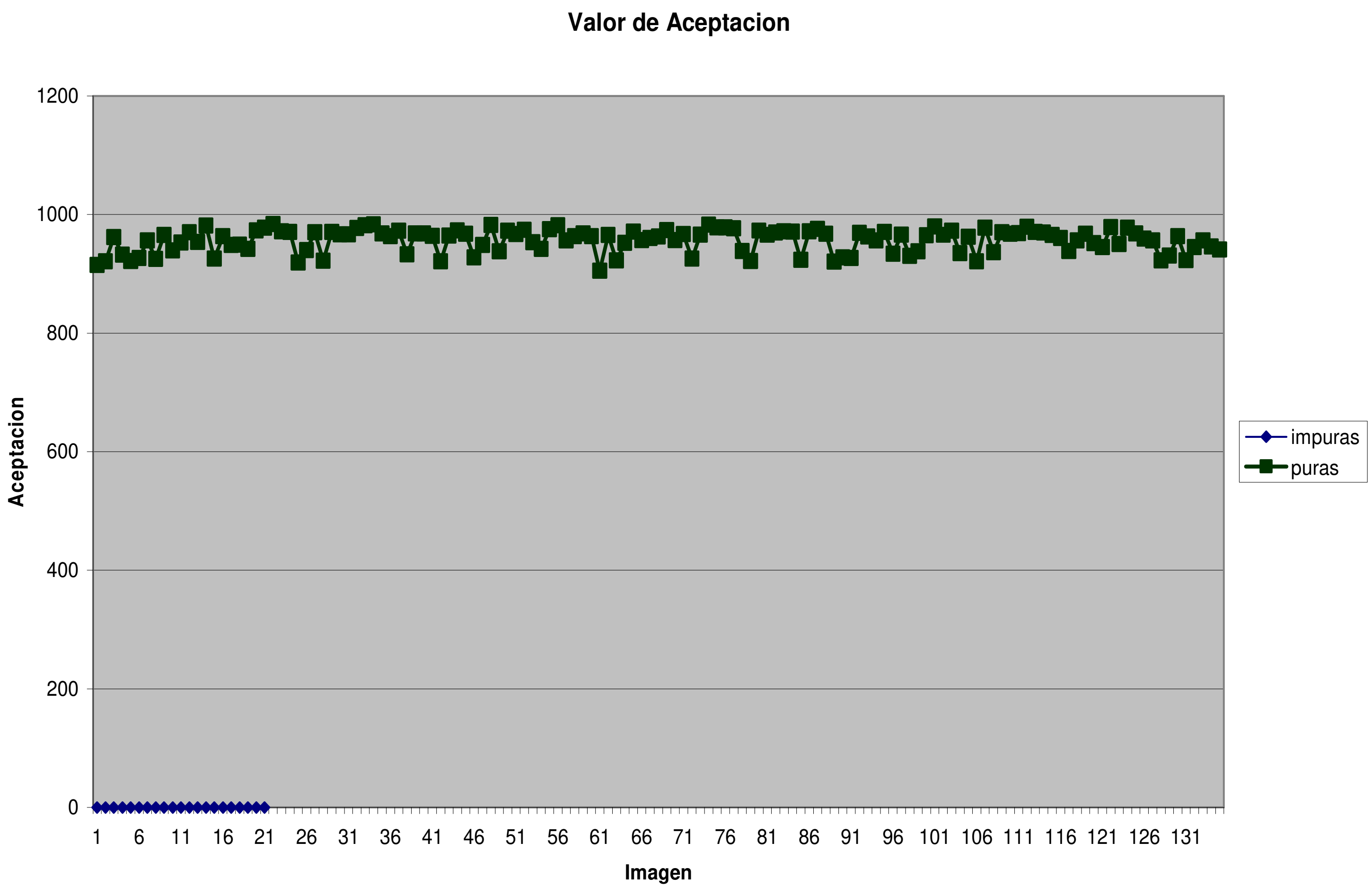
Anexo F

Gráficas de umbrales




Area Superior
Area
Imagen
impuras
puras
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1
6
11
16
21
26
31
36
41
46
51
56
61
66
71
76
81
86
91
96
101
106
111
116
121
126
131

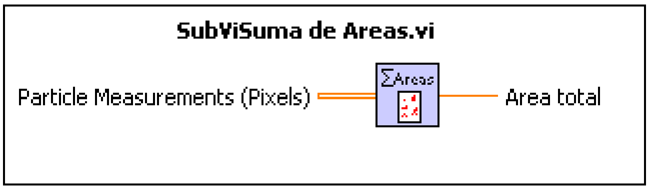

Area Central
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Area
1 5 9 13 17 21 25 29 33 37 41 45 49 53 57 61 65 69 73 77 81 85 89 93 97 101 105 109 113 117
Imagen
impuras
puras

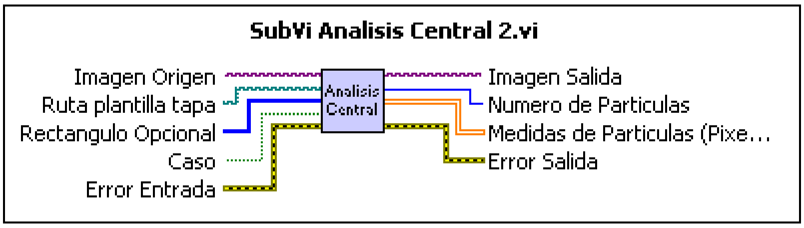


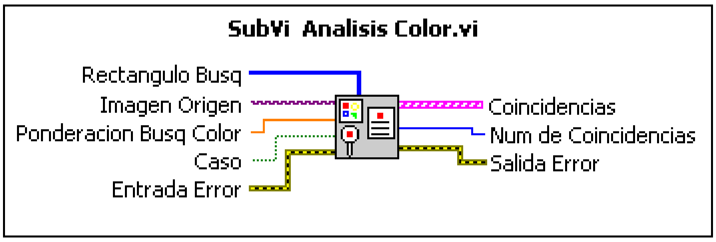
Valor de Aceptacion
Aceptacion
1200
1000
800
600
400
200
0
1 6 11 16 21 26 31 36 41 46 51 56 61 66 71 76 81 86 91 96 101 106 111 116 121 126 131
Imagen
impuras
puras

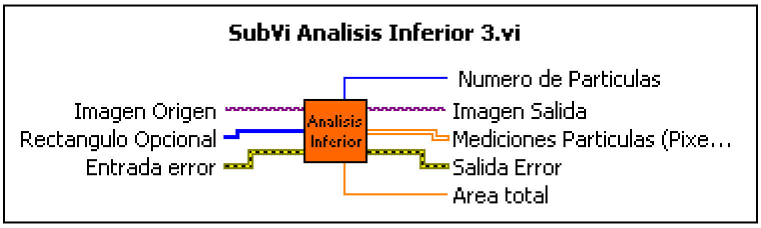
Anexo G

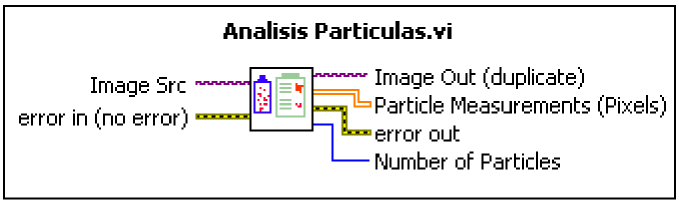
Listado de instrumentos virtuales diseñados



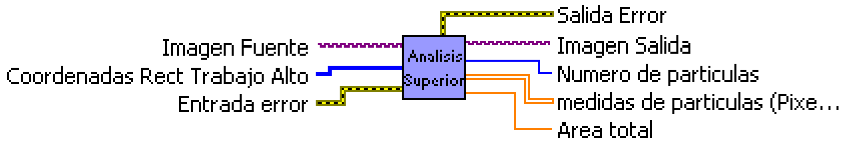




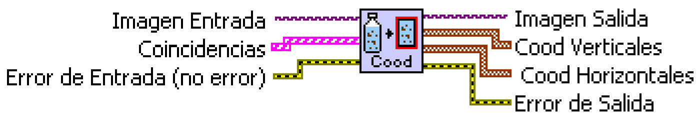




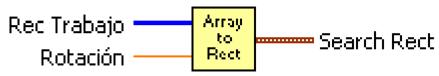
SubVi Analisis Superior4.vi



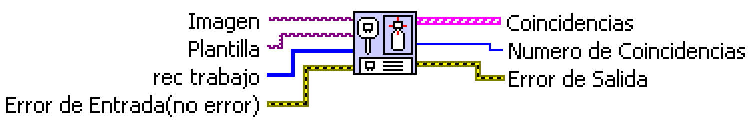
SubVi Area Central Cood.vi



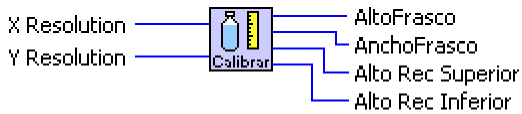
SubVi ArrayToRec DataConversion.vi



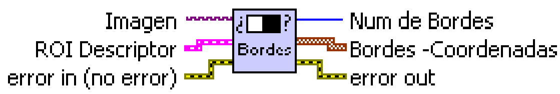
SubVi Buscar Tapa.vi

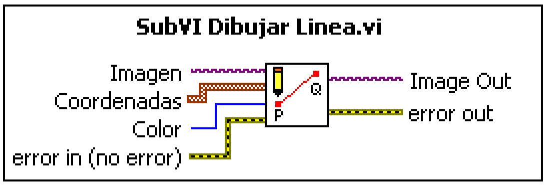


SubVi Calibracion.vi

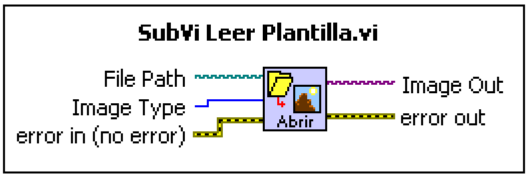


SubVi Deteccion de Bordes.vi

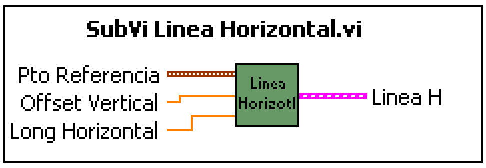




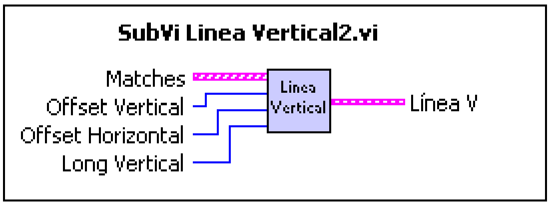
SubVI Dibujar Linea.vi



SubVi Leer Plantilla.vi

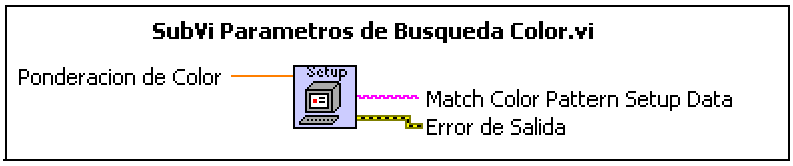


SubVi Linea Horizontal.vi

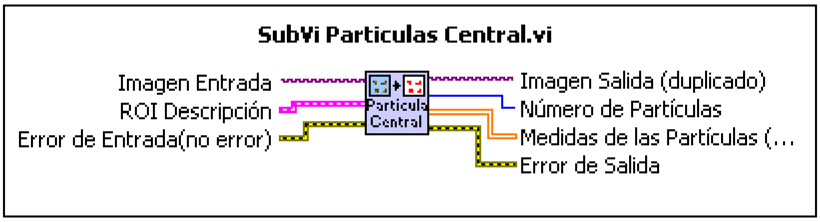


SubVi Linea Vertical2.vi

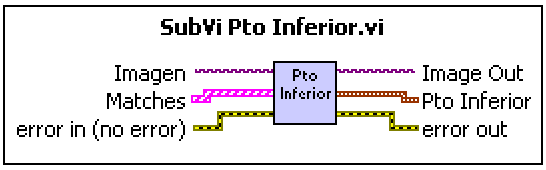
Mejoramiento de Bordes.vi

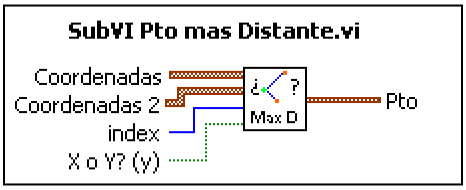


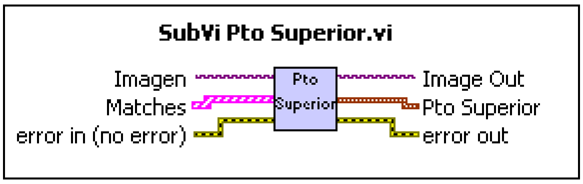
SubVi Parametros de Busqueda Color.vi


SubVi Particulas Central.vi
Imagen Entrada
ROI Descripción
Error de Entrada(no error)
Particula Central
Imagen Salida (duplicado)
Número de Partículas
Medidas de las Partículas (…
Error de Salida

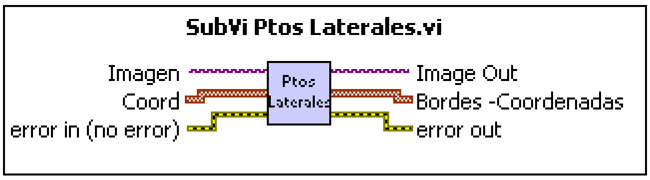

SubVI PlantillaColor.vi
Plantilla
Plantilla Color
Direccion


SubVi Pto Inferior.vi
Imagen
Matches
error in (no error)
Pto Inferior
Image Out
Pto Inferior
error out

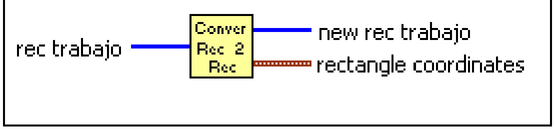

SubVI Pto mas Distante.vi
Coordenadas
Coordenadas 2
index
X o Y? (y)
Max D
Pto


SubVi Pto Superior.vi
Imagen
Matches
error in (no error)
Pto Superior
Image Out
Pto Superior
error out

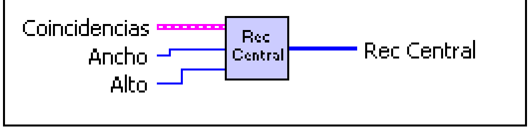

SubVi Ptos Alineados V.vi
Pto Superior
Pto Inferior
Linea Final


SubVi Ptos Laterales.vi
Imagen
Coord
error in (no error)
Ptos Laterales
Image Out
Bordes -Coordenadas
error out

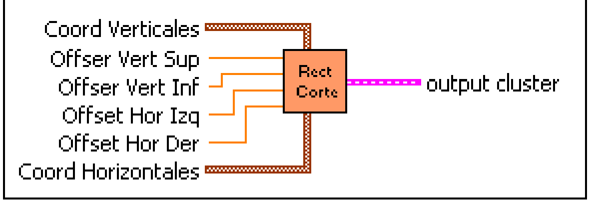
SubVi Rec2Rec.vi



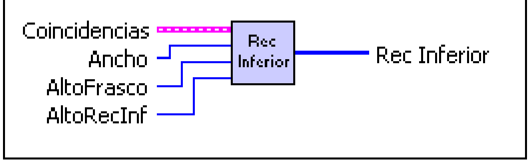
SubVi Rec Central.vi



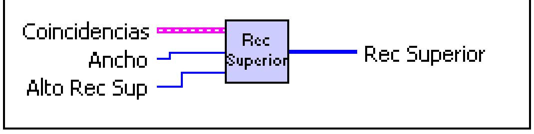
SubVi Rec Corte.vi



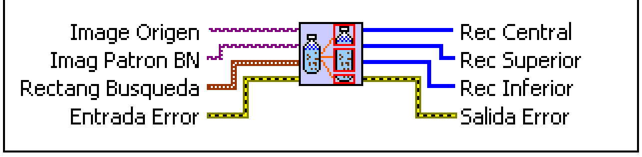
SubVi Rec Inferior.vi



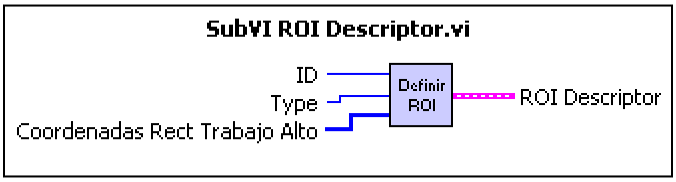
SubVi Rec Superior.vi

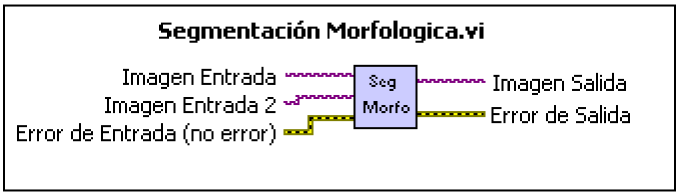


SubVi Recs de Trabajo.vi




SubVi Reserva y Copia 2.vi
Image Src
Nombre
Tipo Imagen
error in (no error)
Copia
Image Dst Out
error out


SubVI ROI Descriptor.vi
ID
Type
Coordenadas Rect Trabajo Alto
Definir ROI
ROI Descriptor


Segmentación Morfologica.vi
Imagen Entrada
Imagen Entrada 2
Error de Entrada (no error)
Seg Morfo
Imagen Salida
Error de Salida

BIBLIOGRAFÍA

1. CELIS M. E.,Fisiología Humana, GANONG, 1999, 50-57.

2. Cha K., Horch K. W. y Normann R. A., Mobility performance with a pixelized vision system, Vision Research, 1992, 1367-1372.

3. AUTIS Ingenieros, Visión Artificial, http://www.autis.es/descargas/Ficha009.pdf

4. Lynx Visión, Introducción a la Visión Artificial, http://www.lynxvision.net/?pagina=vision

5. Universidad Politécnica de Madrid, Introducción a la Visión Artificial, http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf

6. Panasonic Electric Works Europe AG, Catálogo Resumen 2007/2008 Visión Artificial, http://www.panasonic-electric-works.es/pewes/es/downloads/sf_x633_vision_artificial_es_0707.pdf

7. Centro De Visión Y Robótica – CVR, http://www.cvr.espol.edu.ec/

8. Universidad Técnica Particular de Loja, Brochure de Soluciones de Integración, http://sig.utpl.edu.ec/download/data/ Integracion_Soluciones_Industriales.pdf

9. Universidad Técnica del Norte, http://200.107.59.54/index.php?option=com_content&task=view&id=18 6&Itemid=261

10. Graf H., Intelligent Cameras-The future is here, 1997, 28-32.

11. Universidad Nacional de Quilmes, Iluminación para las aplicaciones de Visión Artificial, http://iaci.unq.edu.ar/Materias/vision/ archivos/apuntes/Tipos%20de%20Iluminaci%C3%B3n.pdf

12. DCM SISTEMES, S.L, Iluminación para Visión Artificial, http://www.dcmsistemes.com/

13. Burke M.W., Handbook of Machine Vision Engineering Vol. I: Image Acquisition, Chapman & Hall, 1996, 98-102.

14. NeoTeo, CCD vs. CMOS, http://www.neoteo.com/ccd-vs-cmos.neo

15. Darmouth College, Fundamentals of Image Processing, http://www.cs.dartmouth.edu/farid/tutorials/fip.pdf

16. Alberto Claveria, CCD vs. CMOS, http://www.albertoclaveriafoto.com.ar/docs/grales/CCD%20versus%20CMOS.pdf

17. Litwiller D., CCD versus CMOS: Facts and Fiction, Photonic Spectra, 2001,154-158.

18. DALSA Corporation, CCD vs. CMOS, http://www.dalsa.com/markets/ccd_vs_cmos.asp

19. DALSA Corporation, CCD vs. CMOS: Facts and Fiction, http://www.dalsa.com/shared/content/Photonics_Spectra_CCDvsCMOS_Litwiller.pdf

20. Kocaeli University, An Introduction to Digital Image Processing, http://mf.kou.edu.tr/elohab/kemalg/imge_web/kaynaklar/An%20Introduction%20To%20Digital%20Image%20Processing.pdf

21. National Instruments Corporation, Concepts Manual, http://forums.ni.com/ni/board/message?board.id=170&view=by_date_ascending&message.id=326246

22. Schowengerdt R. A., Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Academic Press, New York 1983, 77-84.

23. University of Maryland, Edge Detection, www.cfar.umd.edu/~fer/cmsc426/lectures/edge1.ppt

24. Waltz F. M., An efficient algorithm for Gaussian blur using finite-state machines, Paper, Boston 1994, 2-4.

25. Pratt W. K., Digital Image Processing, John Wiley & Sons, New York 1978,16-27.

26. Universidad Autómata de Ciudad Juárez, Procesamiento Digital de Imágenes, http://www.uacj.mx/Publicaciones/GeneracionImagenes/imagenesCap8.pdf

27. National Instruments Corporation, 10 Things to Consider When Choosing Vision Software, http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2957

28. Tampere University of Technology, Image Segmentation, http://www.cs.tut.fi/~karen/Segmentation.pdf

29. Tampere University of Technology, Digital Image Processing, http://www.cs.tut.fi/courses/SGN-3056/

30. University of Maryland, Digital Image and Video Processing-And Introduction, http://www.ece.umd.edu/class/enee631/lecture/631F01_lec1.pdf

31. Umbaugh, S. E., Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing CRC Press, Florida 2005, 67-79.

32. Shapiro L.G. y Stockman G.C., Computer Vision, Prentice Hall, New York, 34-47.