

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**



**DESARROLLO DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE VISIÓN  
ARTIFICIAL**

**MANUEL ARTURO NAVARRETE ROSSEL**

Profesor Patrocinante: Dr. Roberto Bernal  
Tesis Para Optar Al Título Profesional De Ingeniero Físico

Santiago, Chile

2015

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE VISIÓN ARTIFICIAL**

**MANUEL ARTURO NAVARRETE ROSSEL**

Este trabajo de Graduación fue elaborado bajo la supervisión del profesor patrocinante Dr. Roberto Bernal y ha sido aprobado por los miembros de la comisión calificadora

Dr. Roberto Bernal \_\_\_\_\_

Dr. Francisco Vivanco \_\_\_\_\_

Dr. Belfor Galaz \_\_\_\_\_

---

Dra. Yolanda Vargas Hernández  
Directora del Departamento de Física

© Manuel Arturo Navarrete Rossel

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica.

## **Dedicatoria**

A mis padres, hermano y seres muy queridos.

¿Qué sabes, que no hayas leído o escuchado?

## **Agradecimientos**

Agradezco de todo corazón a todos mis seres queridos y en especial a mis padres, por su amor y apoyo infinito. A mi hermano, la persona más importante en mi vida, eres la alegría más grande.

Agradezco muy especialmente a todo el personal de National Instruments Chile, don Rodrigo, señora Elizabeth, Joanna, Klaus, Santiago y Patricio. Hago una mención muy especial en respuesta a su apoyo y excelente disposición, tanto en el ámbito profesional como en lo personal, agradezco muy sinceramente a mi amigo Luis Elías.

Inicialmente fui por una carrera y resultó ser una fuente de muchas amistades, agradezco a cada uno de ellos, su apoyo, su ayuda y su alegría. Especialmente a un conjunto de personas muy destacadas, Claudia, Eduardo, Cristian, Nicolás, Rodrigo, Manuel, Fernando, José y Claudio.

Al profesor Raúl Labbé, agradezco muy gratamente el conocimiento proporcionado durante todas sus clases, por sobre todo su gran disposición y compromiso con sus alumnos, muchísimas gracias.

Finalmente agradezco el apoyo brindado por el profesor Roberto Bernal, quién desde el curso de técnicas experimentales I y hasta el último momento de mi titulación sostuvo una muy buena disposición, empatía y apoyo para lograr este gran objetivo final.

A cada uno de ustedes, muchísimas gracias.

## TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1	Sistemas de visión integrados .....	4
2.2	Cámaras Inteligentes .....	4
2.3	Sistemas embebidos .....	5
3	DEFINICIONES ASOCIADAS .....	6
3.1	Repetibilidad.....	6
3.2	Cluster .....	6
3.3	Región de Interés (ROI) .....	6
3.4	Filtrado Digital .....	7
-	- Vision Assistant (Plataforma para confeccionar filtros digitales).....	7
3.5	Definición de funciones utilizadas (Vision Assistant) .....	8
4	DESCRIPCIÓN VARIABLES DE ANÁLISIS .....	10
4.1	Análisis Off-Line .....	11
4.1.1.	DESCRIPCIÓN VARIABLES DE ANÁLISIS .....	11
4.1.1.1.	TIPO DE CÁMARA.....	11
4.1.1.2.	TIPO DE FIGURA .....	13
4.1.1.3.	TIPO DE FILTRADO DIGITAL .....	13
4.1.1.3.1.	FILTRO 1.....	14
4.1.1.3.2.	FILTRO 2.....	15
4.1.1.3.3.	FILTRO 3.....	16
4.1.1.3.4.	FILTRO 4.....	17
4.1.1.4.	FILTRO 5.....	18
4.1.1.5.	FILTRO 6.....	19
4.1.1.6.	FILTRO 7.....	20
4.1.1.7.	FILTRO 8.....	21
4.1.2.	VELOCIDAD DE ROTACIÓN .....	22
4.1.3.	COLOR DEL TIPO DE FIGURA .....	23
4.1.4.	COLOR DEL FONDO CIRCULAR .....	24
4.1.5.	DESPLIEGUE DE IMAGEN .....	26
4.1.5.1.	CONSIDERANDO EL DESPLIEGUE DE IMAGEN .....	27
4.1.5.2.	SIN CONSIDERAR EL DESPLIEGUE DE IMAGEN .....	27
4.1.6.	REGIÓN DE INTERÉS (ROI).....	28
4.1.6.1.	ÁREA 1.....	29
4.1.6.2.	ÁREA 2.....	29
4.1.6.3.	ÁREA 3.....	30
4.1.6.4.	ÁREA 4.....	30
4.1.6.5.	ÁREA 5.....	31
4.1.7.	TIPO DE PROCESADOR .....	31
4.1.7.1.	COMBINACIÓN USB-QUADCORE .....	31
4.1.7.2.	COMBINACIÓN USB-COREI7 .....	31

4.1.7.3.	COMBINACIÓN PIXELINK-QUADCORE .....	32
4.1.7.4.	COMBINACIÓN PIXELINK -COREI7.....	32
4.2	Análisis On-Line .....	33
5	PROGRAMACIÓN SECUENCIAL Y ANÁLISIS DE COORDENADAS .....	34
5.1	Máquina de Estados .....	34
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	42
6.1	Análisis Off-Line .....	43
6.2	Análisis On-Line .....	60
7	APLICACIONES .....	66
7.1.	CONTROL DE CALIDAD TARJETAS CLARO .....	66
7.2.	CONTEO DE POLLOS (PLANTA ARIZTÍA) .....	69
7.3.	CARACTERIZACIÓN FUENTES DE TEMPERATURA.....	73
8	CONCLUSIONES .....	75
9	REFERENCIAS .....	77

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema integrado de visión.....	4
Figura 2 Cámaras inteligentes. ....	5
Figura 3 Sistemas embebidos.....	5
Figura 3.1 Región de Interés (ROI).....	7
Figura 3.2 Interfaz Vision Assistant .....	8
Figura 4.1 Variables de análisis, sistema de visión. ....	10
Figura 4.2 Tipos de análisis del sistema de visión. ....	11
Figura 4.1.1.1.1 Tipos de análisis del sistema de visión .....	12
Figura 4.1.1.1.2 Cámara USB-VIZUR.....	12
Figura 4.1.1.1.3 Cámara FireWire Pixelink .....	12
Figura 4.1.1.2.1 Figuras tipo, utilizadas para evaluar su reconocimiento .....	13
Figura 4.1.1.3.1 Enumeración filtros digitales.....	13
Figura 4.1.1.3.1.1. Secuencia basado en Brillo, extracción de plano y umbral de color. ....	14
Figura 4.1.1.3.2.1 Secuencia basado en extracción de plano, inversión de color y umbral de color.....	15
Figura 4.1.1.3.3.1 Secuencia basado en extracción de plano, inversión de color, umbral de color y análisis morfológico. ....	16
Figura 4.1.1.3.4.1 Secuencia basado en extracción de plano e inversión de color. ....	17
Figura 4.1.1.4.1 Secuencia basado en brillo y extracción de plano. ....	18
Figura 4.1.1.5.1 Secuencia basado en umbral de color. ....	19
Figura 4.1.1.6.1 Secuencia basado en reconocimiento de patrones de color.....	20
Figura 4.1.1.7.1 Secuencia basado en reconocimiento de patrones en tono monocromático. ....	21
Figura 4.1.2.1 Velocidades de rotación, superficie circular, basada en programación PWM. ....	22
Figura 4.1.3.1 Descripción color de las figuras tipo, color negro y rojo. ....	23
Figura 4.1.3.2 Descripción de las figuras tipo circular, color negro y rojo. ....	23
Figura 4.1.3.3 Descripción de las figuras tipo aleatorio, color negro y rojo. ....	23
Figura 4.1.3.4 Descripción de las figuras tipo cuadrado, color negro y rojo.....	23
Figura 26 Descripción de los colores de la superficie circular, correspondientes a cada tipo de figura. ....	24
Figura 27 Figuras aleatorias negras, distribuidas sobre las tres superficies utilizadas.....	24
Figura 28 Figuras aleatorias rojas, distribuidas sobre las tres superficies utilizadas. ....	24
Figura 29 Figuras circulares negras, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.....	25
Figura 30 Figuras circulares rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas. ....	25
Figura 31 Figuras cuadradas rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.....	25
Figura 32 Figuras cuadradas rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.....	26
Figura 33 Variable de visualización, considerando el despliegue de imagen. ....	26
Figura 34 Panel frontal y diagrama de bloques, secuencia con despliegue de imagen. ....	27
Figura 35 Panel frontal y diagrama de bloques, secuencia sin despliegue de imagen.....	27
Figura 36 Región de interés.....	28
Figura 37 Área de interés 1.....	29
Figura 38 Segunda área de interés. ....	29



Figura 39 Tercera área de interés. ....	30
Figura 40 Cuarta área de interés. ....	30
Figura 41 Quinta área de interés. ....	31
Figura 42 NI myRIO-1900. ....	33
Figura 43 NI 1772C Smart Camera .....	33
Figura 44 Estados del sistema de visión .....	34
Figura 45 Sistema flexible de visión, panel frontal (interfaz de usuario) .....	35
Figura 46 Máquina de estados, descripción de todos los estados. ....	35
Figura 47 Máquina de estados, estado To. ....	36
Figura 48 Máquina de estados, adquisición de imagen. ....	36
Figura 49 Máquina de estados, filtro digital (SubVI). ....	37
Figura 50 Máquina de estados, análisis de coordenadas (SubVI). ....	38
Figura 51 Primera función, "Base Coordenadas" (SubVI). ....	39
Figura 52 Segunda función, "Arreglo comparativo" (SubVI). ....	39
Figura 53 Tercera función, "Cuadros comparativos" (SubVI). ....	40
Figura 54 Máquina de estados, función cuenta (SubVI). ....	41
Figura 55 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	44
Figura 56 Resumen valores límites respecto al conteo de figuras para todos los filtros digitales. ....	44
Figura 57 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	45
Figura 58 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	46
Figura 59 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	47
Figura 60 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	47
Figura 61 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	48
Figura 62 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	49
Figura 63 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	50
Figura 64 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	50
Figura 65 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	51
Figura 66 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	52
Figura 67 Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales. ....	53
Figura 68 Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales. ....	53
Figura 69 Tiempo de análisis, combinación 1 en función del área de interés. ....	54
Figura 70 Tiempo de análisis, combinación 2 en función del área de interés. ....	55
Figura 71 Conteo de figuras, combinación 1 en función del área de interés. ....	55
Figura 72 Conteo de figuras, combinación 2 en función del área de interés. ....	56
Figura 73 Tiempo de análisis, combinación 1 en función de la Velocidad. ....	57
Figura 74 Tiempo de análisis, combinación 2 en función de la Velocidad. ....	58
Figura 75 Conteo de figuras, combinación 1 en función de la Velocidad. ....	58
Figura 76 Conteo de figuras, combinación 2 en función de la Velocidad. ....	59
Figura 77 Tiempo de análisis área 3, filtro F5 en función de la Velocidad. ....	61
Figura 78 Conteo de figuras área 3, filtro F5 en función de la Velocidad. ....	61
Figura 79 Tiempo de análisis área 3, filtro F7 en función de la Velocidad. ....	62

Figura 80	Conteo de figuras área 3, filtro F7 en función de la Velocidad.....	63
Figura 81	Tiempo de análisis área 3, filtro F8 en función de la Velocidad .....	64
Figura 82	Conteo de figuras área 3, filtro F8 en función de la Velocidad.....	64
Figura 83	Diagrama sistema de montaje, cámara SICK. ....	66
Figura 84	Tarjeta tipo, utilizada para la evaluación. ....	67
Figura 85	Secuencia de filtrado digital, plataforma Vision Builder.....	67
Figura 86	Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder. ....	68
Figura 87	Evaluación positiva, secuencia de análisis plataforma Vision Builder .....	68
Figura 88	Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder. ....	69
Figura 89	Visualización imagen RGB, pollos faenados (sala limpia). ....	70
Figura 90	Secuencia de filtrado digital, plataforma vision builder. ....	70
Figura 91	Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder. ....	71
Figura 92	Evaluación positiva, secuencia de análisis plataforma Vision Builder. ....	71
Figura 93	Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder. ....	72
Figura 94	Interfaz de usuario, sistema de caracterización. ....	73
Figura 95	Volúmenes caracterizados, Fluke-7103, Fluke-6331 e ISOTECH 1200. ....	74
Figura 98	Baños y horno, Fluke-7103, Fluke-6331y ISOTECH 1200. ....	74

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1.2-1:</b> Velocidades de rotación superficie circular e incertidumbre por repetibilidad .....	22
<b>Tabla 4.1.6-1:</b> Áreas de interés (ROI).....	28
Tabla 2 Combinaciones, filtro digital. ....	43
Tabla 3 Combinaciones, color de figura.....	45
Tabla 4 Combinaciones, color de fondo.....	46
Tabla 5 Combinaciones, tipo de figura.....	48
Tabla 6 Combinaciones, despliegue de imagen.....	49
Tabla 7 Combinaciones, tipo de procesador.....	51
Tabla 8 Combinaciones, tipo de cámara.....	52
Tabla 9 Combinaciones, región de interés.....	54
Tabla 10 Combinaciones velocidad de rotación.....	57
Tabla 11 Conversión área de interés entre ambos tipos de análisis.....	60
Tabla 12 Conversión velocidad de rotación entre ambos tipos de análisis.....	60
Tabla 13 Combinaciones análisis On-Line.....	60

## 1 RESUMEN

En esta memoria se presenta el desarrollo y evaluación de un sistema flexible de visión artificial, el cual se basa en una programación secuencial y modular, a través de un lenguaje de programación gráfico. El sistema se ha ideado para contabilizar figuras tipo (cinco figuras impresas en forma alineada, 2D) que giran sobre una superficie circular rotatoria, respecto de una región de interés especificada (ROI). La superficie rotatoria en conjunto con la región de interés permiten establecer una cantidad finita de figuras visualizadas a través de una secuencia límite de giros continuos (nueve giros completos, estableciendo 45 cuentas de figuras). Este escenario de análisis permite evaluar y resaltar las características necesarias respecto al tipo de hardware requerido para brindar un procesamiento efectivo, basado en la evaluación de diversas plataformas de procesamiento (procesadores de nivel comercial e industrial y una cámara inteligente). Además se incluye el análisis de la respuesta del sistema de visión en función del tiempo de análisis requerido para efectuar el proceso completo (adquisición, filtrado, análisis de coordenadas y conteo de figuras). La modularidad de la programación permite evaluar un conjunto de filtros digitales, por lo cual, el conteo de figuras y tiempo de análisis requerido se basa principalmente en las propiedades de cada filtro digital además del hardware utilizado para su procesamiento.

Se establecen dos tipos de análisis para evaluar el sistema, por un lado se realizan mediciones directas (Online) a través de imágenes adquiridas en tiempo real desde la plataforma rotatoria. Por el contrario se establecen mediciones indirectas (Offline), las cuales se llevan a cabo mediante una visualización basada en imágenes previamente almacenadas.

La evaluación del sistema de visión concluye que los filtros digitales que presentan un mejor rendimiento respecto al conteo de figuras y tiempo de análisis se basan principalmente en secuencias de filtrado reducido, es decir, filtros que se constituyen a partir de una cantidad de etapas comparativamente menor. Específicamente los filtros con mejor rendimiento se basan en reconocimiento de patrones, filtrado de brillo y extracción de plano.

## **OBJETIVO GENERAL**

Confeccionar un sistema flexible de visión, con capacidad de reconocimiento de figuras tipo (2D), dispuestas y visualizadas sobre una superficie circular rotatoria.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Configurar el sistema de visión a través de la programación en base a máquinas de estados, utilizando la plataforma de programación LabVIEW.
2. Confeccionar un arreglo de análisis de coordenadas en LABVIEW, con la capacidad discriminar diferentes figuras, reconocidas dentro de una región de interés (ROI) de forma simultánea y/o consecutiva.
3. Analizar la respuesta temporal y conteo eficiente del sistema respecto a las siguientes variables de análisis; tipo de figura (círculo, cuadrado, forma aleatoria), tipo de filtro digital, plataforma de procesamiento digital (Core i7, QuadCore, SmarCamera, NI-myRIO), región de interés, color de superficie y color de figura, velocidad de rotación (superficie circular), despliegue de imagen y tipo de cámara. Basado un análisis Off-Line y On-Line, es decir, a partir de imágenes almacenadas en una unidad remota y mediante un análisis en tiempo real, respectivamente.

## 2 INTRODUCCIÓN

El control de los primeros procesos industriales se basó principalmente en la habilidad de los operadores (control manual), posteriormente y con el paso de los años la aparición de los controladores locales permitió al operador manejar varios lazos de control. En esta misma línea el desarrollo de los dispositivos de control operados neumáticamente marcó un mayor avance en el control de procesos, la ventaja estaba en que el operador podía controlar una serie de procesos desde una sala de control y realizar los cambios necesarios en forma sencilla. Sin embargo, las limitaciones radicaban en la lentitud de la respuesta del sistema de control frente a cambios rápidos, frecuentes y a su inadecuada aplicación en situaciones en que los instrumentos estén demasiado alejados (pérdidas de señal). Alrededor de los 60, los dispositivos electrónicos aparecieron como alternativa de reemplazo a los controladores neumáticos. Algún tiempo después de la aparición de los sistemas de control electrónicos analógicos, el desarrollo de los microprocesadores permitió el surgimiento de los transmisores y controladores digitales, así como de los controladores lógicos programables (PLC), además de sistemas especializados como por ejemplo, las máquinas de control numérico computarizado. El empleo de las computadoras digitales no se hizo esperar, aparecen los sistemas de control digital directo, hasta los sistemas de supervisión y control actuales, con los cuales se logra manejar un gran número de procesos y variables, recopilar datos en gran cantidad, analizar y optimizar diversas unidades y plantas e incluso, realizar otras actividades, como planificación de mantenimiento, control de calidad, inventario, etc. [1]

En la actualidad debido a los altos estándares establecidos por normas internacionales, partiendo por el tratamiento de insumos hasta la fabricación final de un producto requieren sistemas de inspección que abarcan nuevas fronteras de control, partiendo por el típico control de procesos de variables que involucran estrictamente la fabricación de un producto hasta llegar finalmente al control de calidad del producto final, incluyendo registros de cantidades fabricadas, velocidad de producción, productos insatisfactorios, etc. En este sentido el aporte de la visión artificial juega un papel principal y protagónico en la actualidad, potenciado por su propiedad de funcionamiento **no invasivo**, lo cual permite asegurar un control en base a un estándar definido, eliminando cualquier tipo de subjetividad en la interpretación de la información recopilada.

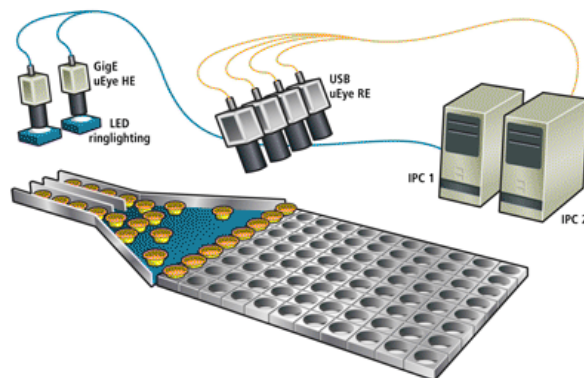
Actualmente las aplicaciones industrializadas que se basan en sistemas de visión artificial son capaces de inspeccionar cualquier producto, guiar cualquier automatización e identificar cualquier pieza. En diversas industrias del mundo entero los sistemas de visión optimizan la

calidad y disminuyen los costos. Cada día en diversas aplicaciones se inspeccionan millones de productos, desde comprobación de calidad hasta seguimiento de un lote de objetos, incluyendo inspección de montaje y orientación por robot. La visión artificial puede inspeccionar cualquier producto, guiar cualquier automatización e identificar cualquier pieza, todo esto es posible de realizar gracias a los avances tecnológicos reflejados en dos factores fundamentales para estos sistemas, velocidad de procesamiento de información y sensores multi-espectrales. [2]

Dentro de todas las propiedades mencionadas resulta muy relevante describir los sistemas de visión artificial disponibles hoy en día en el mercado, podemos establecer tres niveles:

### 2.1 Sistemas de visión integrados

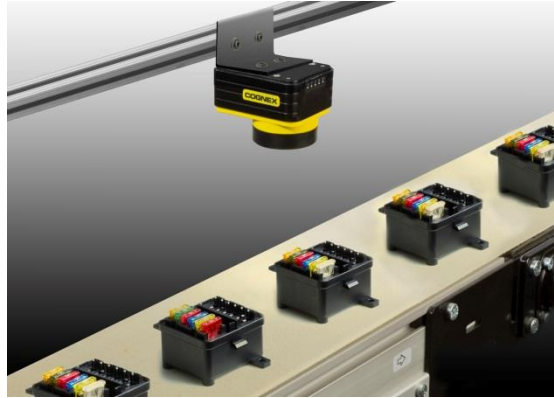
Este tipo de sistemas representa una de las familias compuestas principalmente por un sensor digital de captura (cámara), conectado con un procesador externo además de un sistema de iluminación fijo, típicamente de nivel comercial con capacidad funcionamiento estable bajo condiciones de laboratorio.



**Figura 1** Sistema integrado de visión.

### 2.2 Cámaras Inteligentes

Sensores de captura digital con procesamiento interno incluido, con la capacidad de procesar la información digital registrada en tiempo real a partir del análisis y filtrado digital de imágenes, adaptable mediante programación para una gama de soluciones tipo. Típicamente incluyen conectividad múltiple (Ethernet, Serial, FireWire, USB, VGA). Estos dispositivos presentan índices de protección elevados, abarcando escenarios adversos de alta complejidad (altas y bajas temperaturas).



**Figura 2** Cámaras inteligentes.

### **2.3 Sistemas embebidos**

Los dispositivos embebidos de control y adquisición integran los tres componentes principales de un sistema; procesador, arreglo de compuerta programable en campo (FPGA) y E/S, en una tarjeta de circuito impreso (PCB). Estos dispositivos están diseñados para robustez, fiabilidad, flexibilidad y rango de temperatura de operación de nivel industrial (estándar entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $85^{\circ}\text{C}$ ), con lo cual se amplían las posibilidades de aplicaciones en escenarios muy adversos y de difícil operación. Las herramientas de programación flexible para este tipo de sistemas permiten personalizar más fácil su hardware y E/S con temporización personalizada, procesamiento en línea y control avanzado. Para crear aplicaciones confiables, determinísticas, registro de datos y comunicación en red.



**Figura 3** Sistemas embebidos.

En este sentido este trabajo consta del análisis y desempeño de un sistema flexible de visión, mediante el cual se analizan figuras tipo (2D), impresas en una superficie circular de velocidad regulada, con la finalidad de establecer el tiempo de análisis y conteo a partir de una



programación modular sobre diversas plataformas de análisis (computadores de nivel comercial, procesadores de nivel industrial y cámaras inteligentes). Estableciendo la respuesta para cada plataforma en función de cada una de las variables relevantes, tales como velocidad de rotación, área de interés (ROI), color de figura y fondo, tipo de figura (circulo, cuadrado y forma aleatoria), tipo de procesador, tipo de filtro digital. Todo esto con la finalidad de establecer un análisis detallado respecto a la funcionalidad del sistema y requerimiento de capacidades para contabilizar la cantidad exacta de figuras visualizadas durante el proceso establecido para su análisis.

### **3 DEFINICIONES ASOCIADAS**

#### **3.1 Repetibilidad**

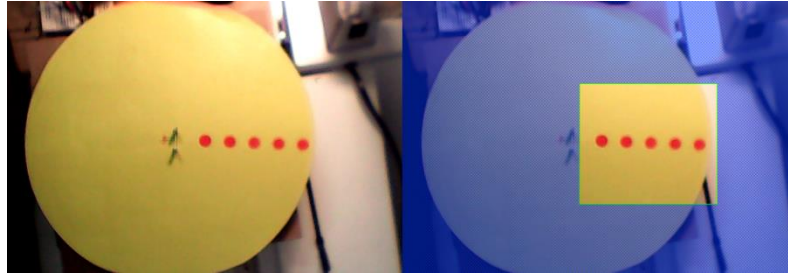
Grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones del mismo mensurando, realizadas bajo las mismas condiciones de medida, expresada cuantitativamente por medio de las características de dispersión de los resultados. [3]

#### **3.2 Cluster**

Los clusters agrupan elementos de datos de diferentes tipos. Un ejemplo de un cluster es el cluster de error de LabVIEW, el cual combina un valor Booleano, un valor numérico y uno de cadena de caracteres. Un cluster es similar a un registro o a una estructura en lenguajes de programación basados en texto. [4]

#### **3.3 Región de Interés (ROI)**

En aplicaciones de visión, una región de interés (ROI a menudo abreviado), es un subconjunto seleccionado dentro de una imagen para un propósito en particular. En la visión por computador y reconocimiento óptico de caracteres, la región de interés define las fronteras de un objeto bajo consideración. En visión es necesario utilizar la región de interés dentro de un VI, para enfocar el procesamiento y analizar una sección específica de una imagen.



**Figura 3.1** Región de Interés (ROI)

### **3.4 Filtrado Digital - Vision Assistant (Plataforma para confeccionar filtros digitales)**

El Módulo Vision Development está diseñado para desarrollar aplicaciones de visión artificial y procesamiento de imágenes usando el entorno de desarrollo gráfico de LabVIEW, tanto para Windows como sistemas en tiempo real, C, C++ y C#. Dispone de algoritmos de procesamiento de imágenes incluyendo filtros, morfologías, identificación de patrones, imágenes en 3D, clasificación, etc. El módulo Vision Development Module incluye IP para procesadores y FPGA, junto con la extensa biblioteca de funciones de visión artificial y procesamiento de imágenes, este módulo incluye Vision Assistant, un entorno interactivo para generación de prototipos de aplicaciones de inspección.

Además incluye el Software Vision Acquisition, el cual tiene capacidad para adquirir, mostrar, guardar y monitorear imágenes desde dispositivos GigE Vision, IEEE 1394 y USB DirectShow, además de dispositivos Camera Link, cámaras paralelas digitales y Smart Cameras.

Vision Assistant es una herramienta que permite crear prototipos y pruebas de aplicaciones de procesamiento de imágenes. Este software contiene la característica de scripting, es decir, registra cada paso del algoritmo de procesamiento, permitiendo visualizar secuencialmente cada modificación efectuada sobre la imagen original, internamente Vision Assistant puede convertir a código NET, C y LabVIEW VI. [5]

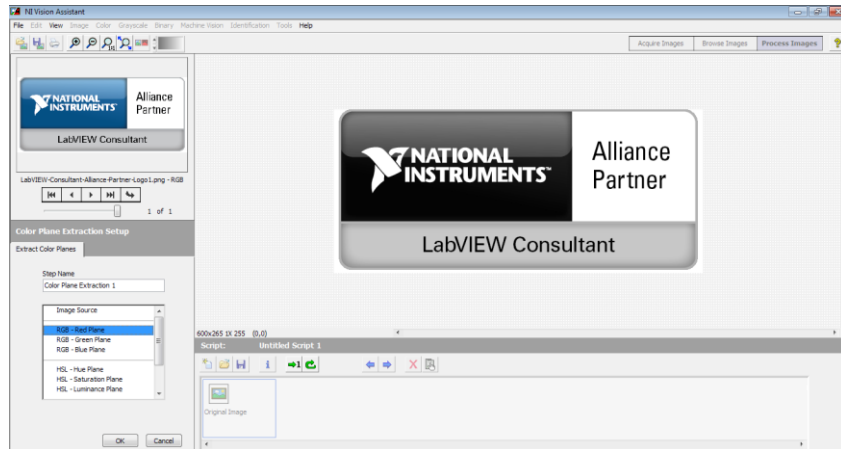


Figura 3.2 Interfaz Vision Assistant

### 3.5 Definición de funciones utilizadas (Vision Assistant)

A continuación se describen y enumeran cada una de las funciones internas del software Vision Assistant, las cuales han sido utilizadas para confeccionar cada uno de los filtros digitales del sistema flexible de visión.



Brightness

- **1-Brillo:** función basada en filtrado de imagen en base a brillo, contraste y filtrado Gamma.



Color Plane  
Extraction

- **2-Color Plane Extraction:** Extrae un tipo de plano específico a partir de la imagen de entrada (RGB, HSL, HSV y HSI)



Threshold

- **3-Threshold:** Esta función utiliza métodos de segmentación por umbral. A partir de una imagen en escala de grises, esta función permite establecer imágenes binarias.



Shape  
Detection

- **4-Shape Detection:** Esta función permite reconocer figuras tipo dentro de una imagen, tales como círculos, elipses, rectángulos o líneas. Proporcionando un **Cluster** de información de cada figura reconocida.



Lookup  
Table

- **5-Lookup Table:** Esta función tiene la capacidad de aplicar transformaciones para resaltar detalles de la imagen en las áreas que contienen información significativa a expensas de otras áreas.



Basic  
Morphology

- **6-Basic Morphology:** Esta función permite resaltar propiedades del nivel de gris de regiones características de una imagen en función de operaciones tales como dilatación, erosión, apertura y cierre de regiones de tonalidades comunes.



Color  
Threshold

- **7-Color Threshold:** Esta función utiliza métodos de segmentación mediante discriminación por umbral (threshold), utilizando el modelo de color RGB. Esta función permite establecer imágenes binarias



Color Pattern  
Matching

- **8-Color Pattern Matching:** Esta función tiene la capacidad de reconocer patrones dentro de una imagen en color.



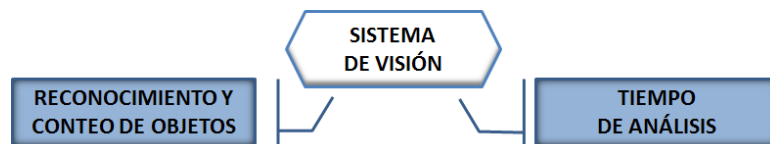
Pattern  
Matching

- **9-Pattern Matching:** Esta función tiene la capacidad de reconocer patrones dentro de una imagen en escala de grises.

#### 4 DESCRIPCIÓN VARIABLES DE ANÁLISIS

El sistema de visión tiene por objetivo reconocer y contabilizar figuras en dos dimensiones, para lo cual se ha desarrollado un análisis en base a imágenes digitales, las cuales han sido adquiridas y procesadas utilizando diferente hardware.

La siguiente figura describe las variables de rendimiento y evaluación de este sistema de visión.



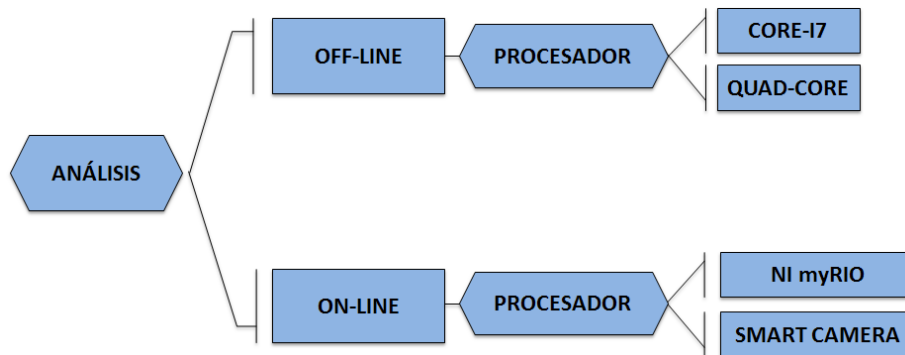
**Figura 4.1** Variables de análisis, sistema de visión.

1. Por un lado está el requerimiento de reconocimiento y conteo efectivo de las figuras sobre la superficie circular.
2. El tiempo de procesamiento, constituido por el filtrado de imagen y procesamiento de información de coordenadas.

La evaluación y análisis de este sistema de visión se subdivide en dos tipos, análisis On-line y análisis Off-line. El análisis On-Line recoge los mejores resultados obtenidos a partir del análisis Off-Line, es decir, se realiza un listado de resultados mejores tres filtros digitales.

- **Análisis Off-Line:** Utiliza imágenes previamente adquiridas y recopiladas en dispositivos de almacenamiento masivo.
- **Análisis On-Line:** Utiliza imágenes directamente adquiridas de la visualización de la superficie rotatoria, permitiendo analizar la respuesta temporal y reconocimiento de figuras del sistema directamente.

La siguiente figura describe ambos tipos de análisis para la evaluación este sistema de visión.



**Figura 4.2** Tipos de análisis del sistema de visión.

#### 4.1 Análisis Off-Line

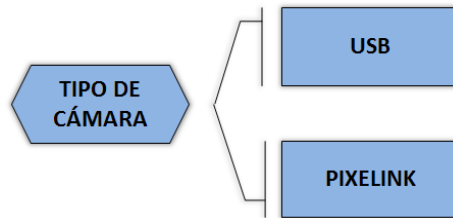
##### 4.1.1. Descripción Variables de Análisis

A continuación se describen las variables de análisis, utilizadas para evaluar el rendimiento del sistema flexible de visión. Dando pie a un análisis que involucra, reconocimiento de figuras contabilizadas y cuantificando el tiempo de análisis requerido por el sistema en función de las variables de análisis, enlistadas a continuación.

1. Tipo de cámara utilizada
2. Tipo de figura
3. Tipo de filtrado digital utilizado para reconocer los objetos
4. Velocidad de rotación de la superficie
5. Color de figura
6. Color de fondo
7. Desplegando la imagen a través de una visualización por medio de una interfaz
8. Región de interés
9. Tipo de procesador

##### 4.1.1.1. Tipo de cámara

Para este tipo de análisis se dispone de dos tipos de cámaras digitales, descritas a continuación.



**Figura 4.1.1.1.1** Tipos de análisis del sistema de visión

- Cámara con transmisión USB, marca VIZUR y resolución 640 x 480.



**Figura 4.1.1.1.2** Cámara USB-VIZUR

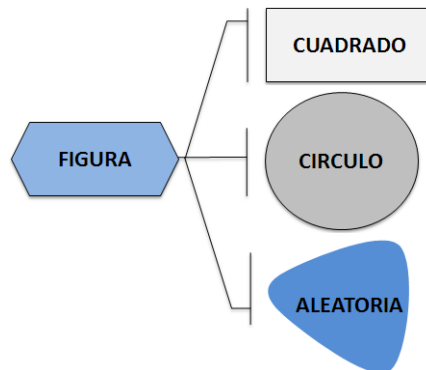
- Cámara con transmisión FireWire, marca Pixelink, modelo PL-B778 y resolución 640 x 512.



**Figura 4.1.1.1.3** Cámara FireWire Pixelink

#### 4.1.1.2. Tipo de figura

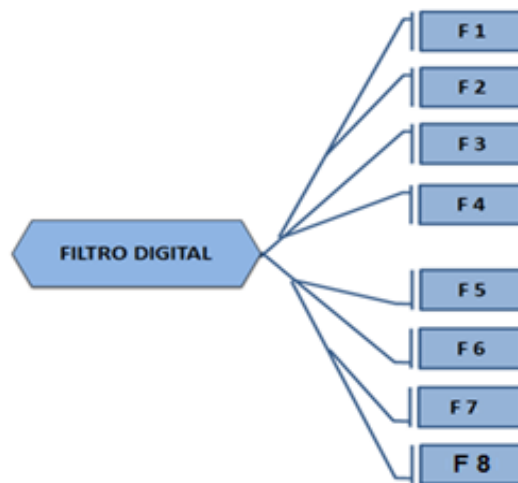
La siguiente figura describe los tres tipos de figuras utilizadas.



**Figura 4.1.1.2.1** Figuras tipo, utilizadas para evaluar su reconocimiento

#### 4.1.1.3. Tipo de filtrado digital

La siguiente figura describe la cantidad de filtros digitales utilizados para el análisis Off-Line.



**Figura 4.1.1.3.1** Enumeración filtros digitales

A continuación se definen cada uno de los filtros utilizados, describiendo cada una de las funciones utilizadas para su confección individual.



#### 4.1.1.3.1. Filtro 1

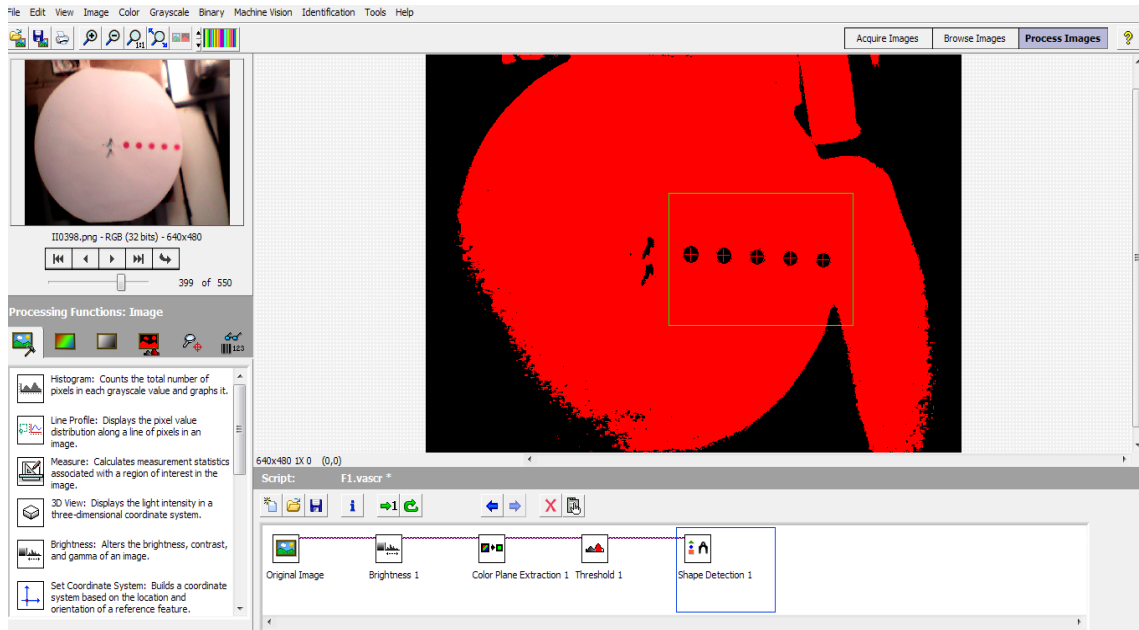


Figura 4.1.1.3.1.1. Secuencia basado en Brillo, extracción de plano y umbral de color.

- **Brightness** - El filtrado de *brillo* se utiliza saturando el brillo y el contraste, la función *gamma* sólo se utiliza en un 50% (escala lineal).
- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano *HSL– Luminance Plane*, resaltando el color de la figura reconocida respecto del fondo.
- **Threshold** - Esta sección aplica *Manual-threshold*, con un valor de corte de 125 niveles de grises, destacando los objetos respecto del fondo de la imagen.
- **Shape Detection** - Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 píxeles.

#### 4.1.1.3.2. Filtro 2

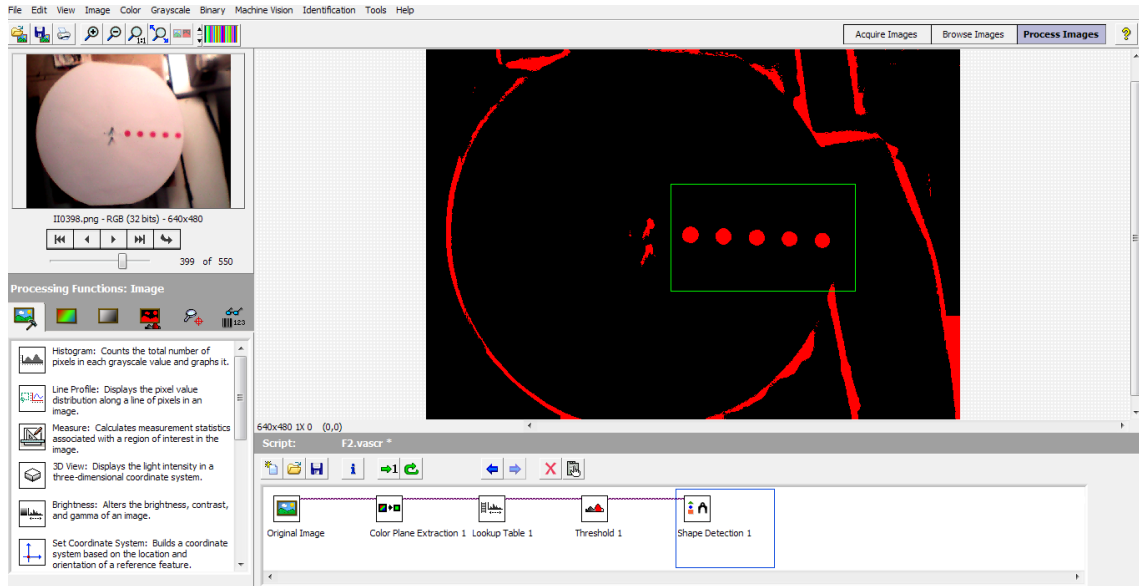


Figura 4.1.1.3.2.1 Secuencia basado en extracción de plano, inversión de color y umbral de color.

- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano verde, formato RGB, resaltando el color de la figura respecto del fondo.
- **Lookup Table** - Este filtro establece una inversión del color, permitiendo resaltar con máxima intensidad de color los objetos por sobre el fondo.
- **Threshold** - Esta sección aplica *Local-threshold-Background-Correction*, con un ROI-SIZE de 32 x 32, destacando los objetos respecto del fondo de la imagen.
- **Shape Detection**: Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 píxeles.

#### 4.1.1.3.3. Filtro 3

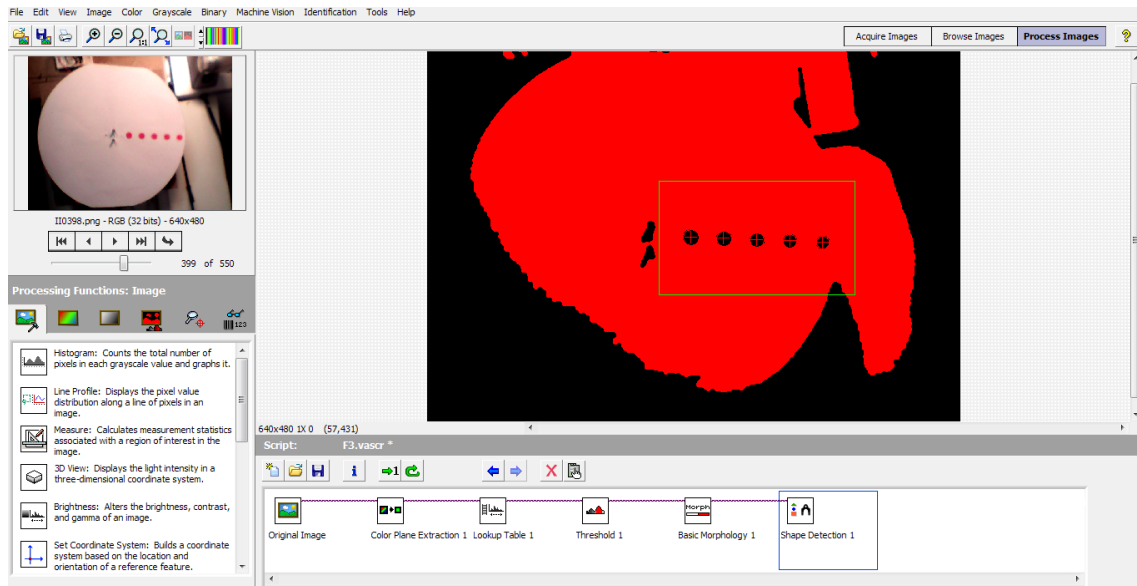


Figura 4.1.1.3.3.1 Secuencia basado en extracción de plano, inversión de color, umbral de color y análisis morfológico.

- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano verde, formato *RGB*, resaltando el color de la figura respecto del fondo.
- **Lookup Table** - Se aplica la función *Power-X*, atenuando las diferencias de tonalidades entre objeto y fondo, permitiendo suavizar el borde de las figuras en cada imagen adquirida.
- **Threshold** - Esta sección aplica *Manual-threshold*, con un valor de corte de 75 niveles de grises, destacando los objetos respecto del fondo de la imagen.
- **Basic Morphology** - Se aplica la función *Auto-Median*, suavizando las curvas de los objetos presentes en la imagen.
- **Shape Detection**: Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 pixeles.

#### 4.1.1.3.4. Filtro 4

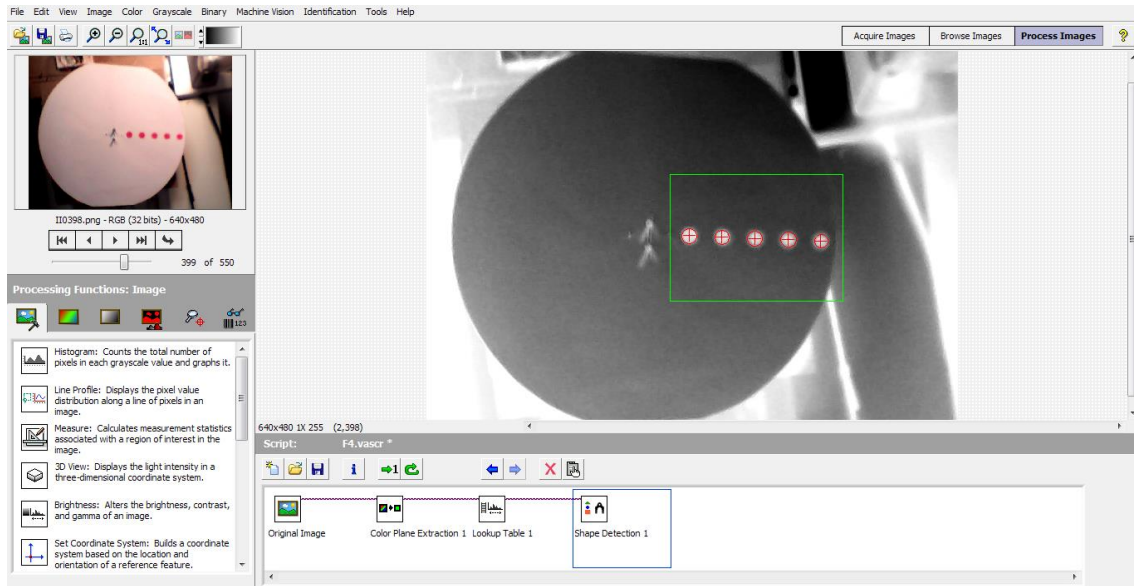


Figura 4.1.1.3.4.1 Secuencia basado en extracción de plano e inversión de color.

- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano verde, formato *RGB*, resaltando el color de la figura respecto del fondo.
- **Lookup Table** - Se aplica la función *Reverse*, invirtiendo todas las tonalidades de la imagen, destacando con el mayor nivel de gris los objetos dentro de la imagen.
- **Shape Detection**: Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 pixeles.

#### 4.1.1.4. Filtro 5

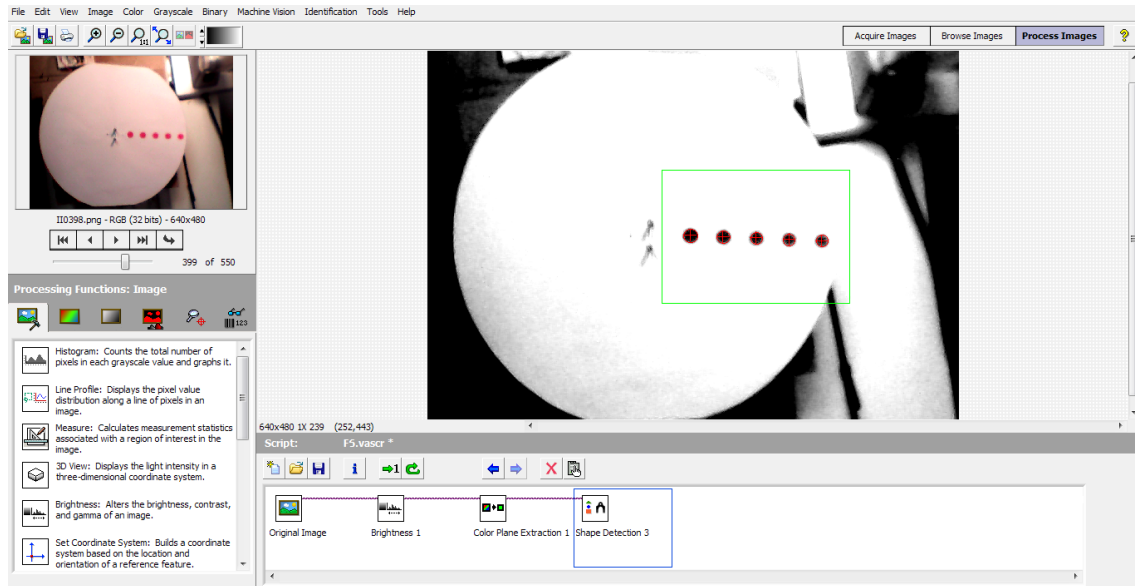


Figura 4.1.1.4.1 Secuencia basado en brillo y extracción de plano.

- **Brightness** - El filtrado el brillo en un tercio del rango total, saturando el contraste y la función *gamma* sólo se utiliza en un 50% (escala lineal).
- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano verde, formato *RGB*, resaltando el color de la figura respecto del fondo.
- **Shape Detection**: Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 píxeles.

#### 4.1.1.5. Filtro 6

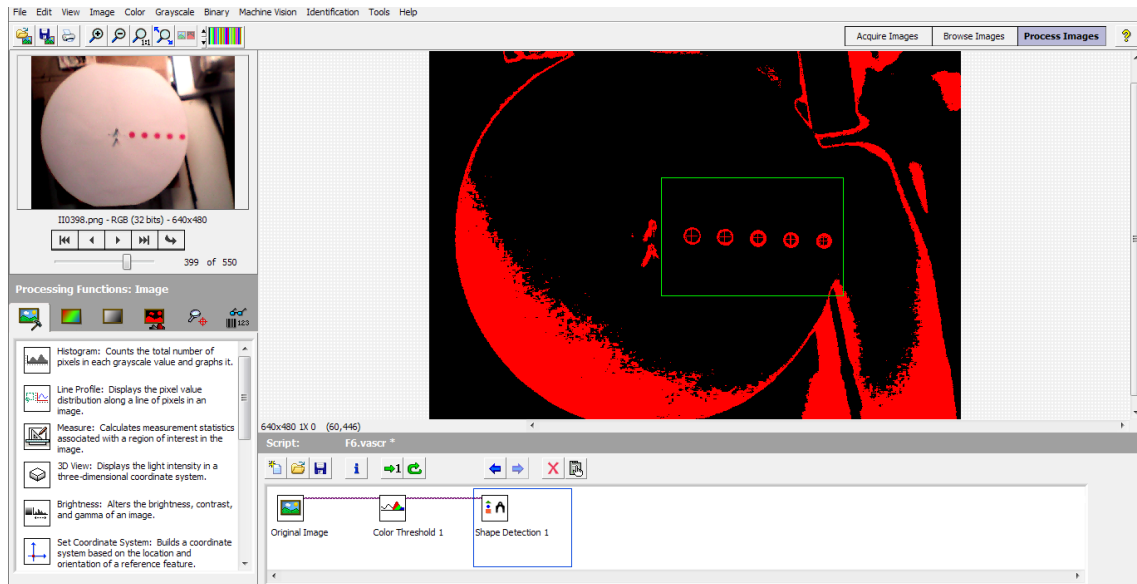


Figura 4.1.1.5.1 Secuencia basado en umbral de color.

- **Color Threshold** – Esta función filtra por umbrales de niveles de grises en cada plano (RGB), el plano rojo y azul se han configurado con un rango de niveles entre 0 a 255, por el contrario el plano verde sólo permite niveles con valores entre 80 y 200 niveles de grises.
- **Shape Detection** – Reconocimiento de figuras circulares, con un score mínimo de 70% y radio de figuras entre 5 a 20 pixeles.

#### 4.1.1.6. Filtro 7

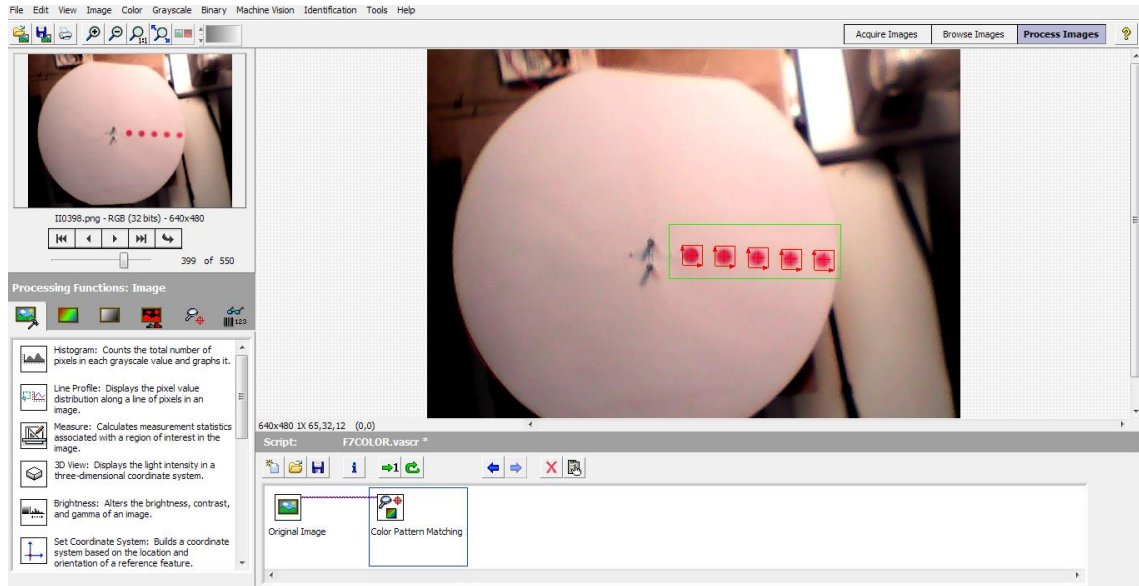


Figura 4.1.1.6.1 Secuencia basado en reconocimiento de patrones de color.

- **Color Pattern Matching** – Se utiliza esta función reconocimiento de patrones en imágenes de color.

### 4.1.1.7. Filtro 8

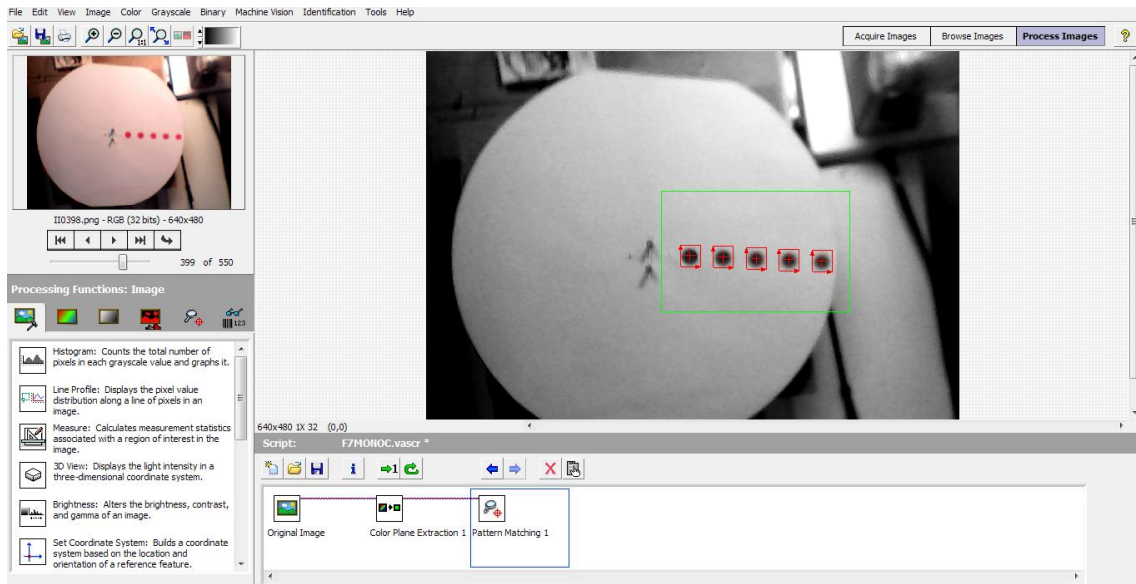


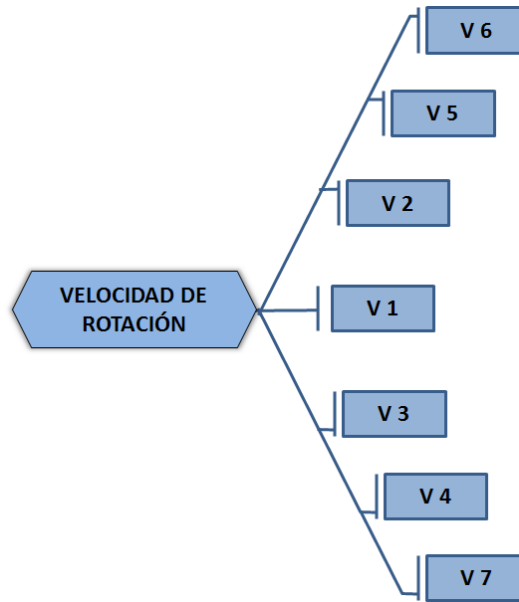
Figura 4.1.1.7.1 Secuencia basado en reconocimiento de patrones en tono monocromático.

- **Color Plane Extraction** - Este filtrado extrae el plano verde, formato *RGB*, resaltando el color de la figura respecto del fondo.
- **Pattern Matching** – Se utiliza esta función reconocimiento de patrones en imágenes de niveles de grises.



#### 4.1.2. Velocidad de Rotación

La siguiente figura describe las velocidades de rotación de la superficie circular.



**Figura 4.1.2.1** Velocidades de rotación, superficie circular, basada en programación PWM.

La siguiente tabla describe las siete velocidades de rotación de la superficie circular, considerando la incertidumbre asociada.

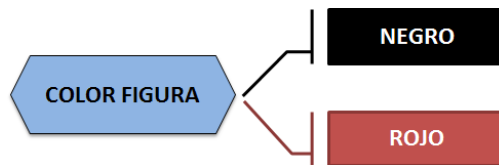
**Tabla 4.1.2-1:** Velocidades de rotación superficie circular e incertidumbre por repetibilidad.

VELOCIDAD	RPM	U(K=2)
V1	35	0,58
V2	39	0,36
V3	42	0,35
V4	45	0,57
V5	48	0,58
V6	51	0,20
V7	54	0,13

U(k=2) corresponde al cálculo de incertidumbre por repetibilidad, considerando un nivel de confianza aproximado al 95%.

### 4.1.3. Color del tipo de figura

La siguiente figura describe ambos colores utilizados para cada una de las figuras.



**Figura 4.1.3.1** Descripción color de las figuras tipo, color negro y rojo.

A continuación se describen las figuras tipo utilizadas, las cuales se distinguen entre color y forma.



**Figura 4.1.3.2** Descripción de las figuras tipo circular, color negro y rojo.



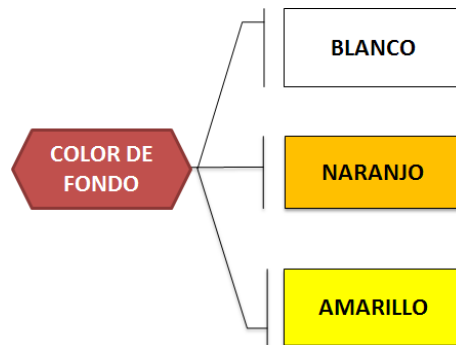
**Figura 4.1.3.3** Descripción de las figuras tipo aleatorio, color negro y rojo.



**Figura 4.1.3.4** Descripción de las figuras tipo cuadrado, color negro y rojo.

#### 4.1.4. Color del fondo circular

La siguiente figura describe los tres colores de fondo, utilizados para el análisis Off-Line.



**Figura 5** Descripción de los colores de la superficie circular, correspondientes a cada tipo de figura. A continuación se describen las figuras tipo, las cuales se disponen sobre las distintos tipos de superficies circulares.



**Figura 6** Figuras aleatorios negras, distribuidas sobre las tres superficies utilizadas.



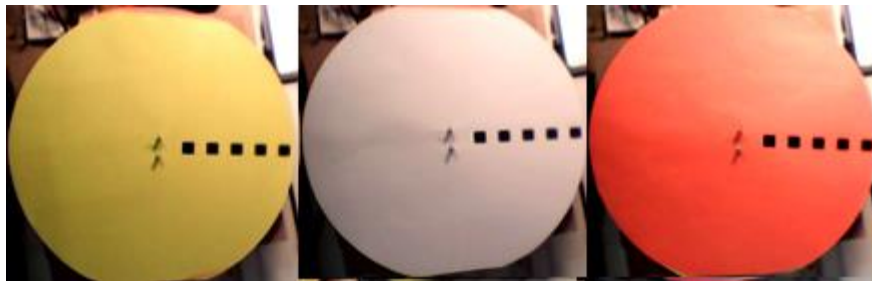
**Figura 7** Figuras aleatorios rojas, distribuidas sobre las tres superficies utilizadas.



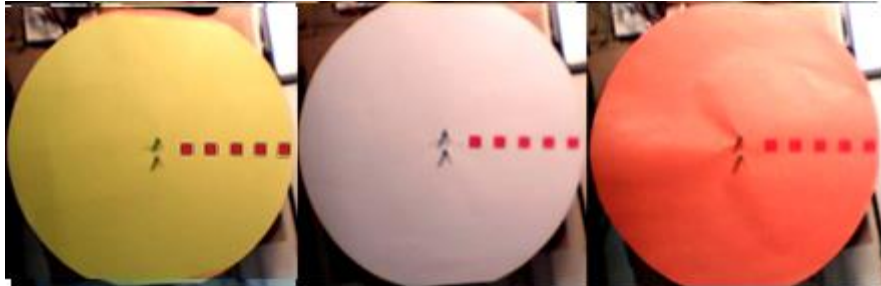
**Figura 8** Figuras circulares negras, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.



**Figura 9** Figuras circulares rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.



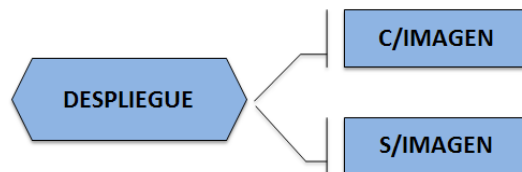
**Figura 10** Figuras cuadradas rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.



**Figura 11** Figuras cuadradas rojas, distribuidos sobre las tres superficies utilizadas.

#### 4.1.5. Despliegue de imagen

La siguiente figura describe ambos perfiles del sistema de visión, los cuales consideran una interfaz con despliegue y otra sin despliegue de imagen (panel frontal).



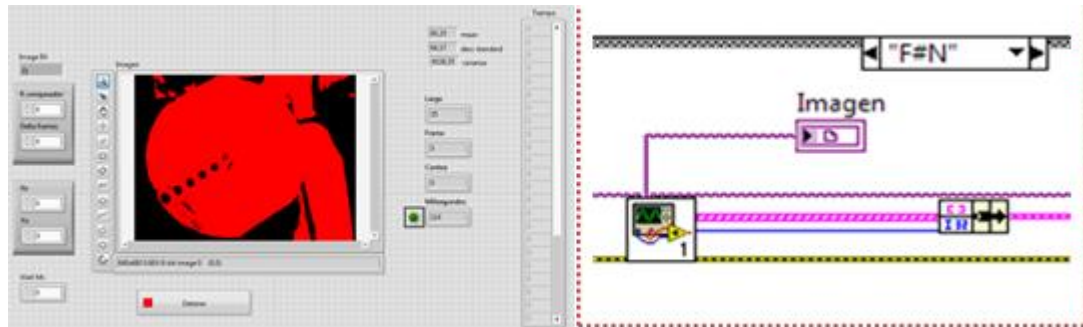
**Figura 12** Variable de visualización, considerando el despliegue de imagen.

La visualización de la imagen capturada ha sido considerada como una variable de análisis para el sistema de visión, basado en dos razones fundamentales, la cuales dicho de paso son muy relevantes para todo sistema de visión.

- Visualización directa del proceso bajo análisis (interfaz de usuario)
- Tiempo de procesamiento adicional, requerido por el sistema para desplegar la imagen

#### 4.1.5.1. Considerando el despliegue de Imagen

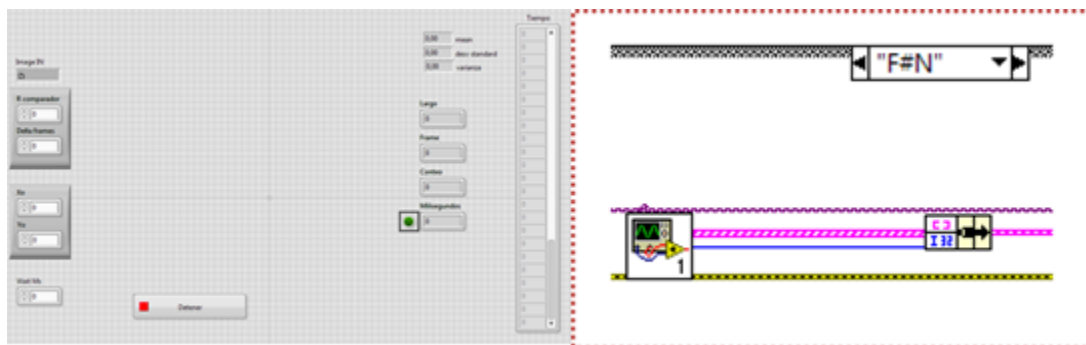
La siguiente figura describe la visualización del despliegue de imagen en el panel frontal, además del indicador dentro del diagrama de bloques.



**Figura 13** Panel frontal y diagrama de bloques, secuencia con despliegue de imagen.

#### 4.1.5.2. Sin considerar el despliegue de Imagen

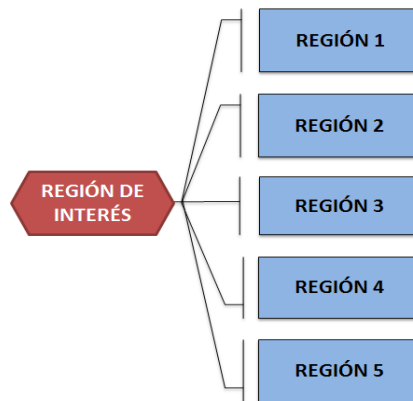
La siguiente figura describe la visualización del panel frontal sin despliegue de imagen, además del diagrama de bloques sin el indicador.



**Figura 14** Panel frontal y diagrama de bloques, secuencia sin despliegue de imagen.

#### 4.1.6. Región de interés (ROI)

La siguiente figura describe la cantidad de regiones de interés utilizadas para la evaluación del sistema.



**Figura 15** Región de interés.

Se han establecido cinco regiones de interés (ROI), en función de cubrir la mínima región requerida para establecer un reconocimiento de objetos en movimiento hasta la máxima región, la cual cubre una porción significativa de la imagen total, permitiendo que el sistema pueda reconocer figuras y analizar secuencias correlativas de imágenes.

**Tabla 4.1.6-1:** Áreas de interés (ROI).

Área(s)	pixel <sup>2</sup>
1	9776
2	13520
3	24336
4	34528
5	49920

#### 4.1.6.1. Área 1

La siguiente figura representa el área mínima establecida para el sistema de visión, la cual comprende un área de 9776 píxeles cuadrados.



**Figura 16** Área de interés 1.

#### 4.1.6.2. Área 2

La siguiente figura representa el área secundaria establecida para el sistema de visión, la cual comprende un área de 13520 píxeles cuadrados.



**Figura 17** Segunda área de interés.



#### 4.1.6.3. Área 3

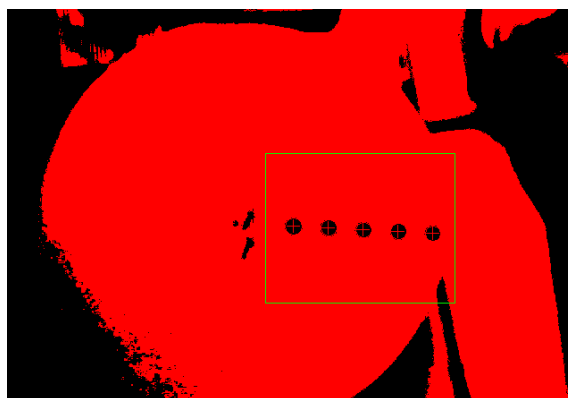
La siguiente figura representa la tercera área establecida para el sistema de visión, la cual comprende un área de 24336 pixeles cuadrados.



**Figura 18** Tercera área de interés.

#### 4.1.6.4. Área 4

La siguiente figura representa la cuarta área establecida para el sistema de visión, la cual comprende un área de 34528 pixeles cuadrados.



**Figura 19** Cuarta área de interés.

#### 4.1.6.5. Área 5

La siguiente figura representa la quinta área establecida para el sistema de visión, la cual comprende un área de 49920 pixeles cuadrados.



**Figura 20** Quinta área de interés.

#### 4.1.7. Tipo de Procesador

A continuación se describen los tipos de procesadores utilizados y descritos en función del sensor (cámara).

##### 4.1.7.1. Combinación USB-QuadCore

- Almacenamiento de imágenes provenientes de la cámara con transmisión USB, marca VIZUR y resolución 640 x 480.
- Procesador Quad-Core (A8-7410-Dell), velocidad de procesamiento (2,2 a 2,5) GHz.

##### 4.1.7.2. Combinación USB-Corei7

- Almacenamiento de imágenes provenientes de la cámara con transmisión Usb, marca VIZUR y resolución 640 x 480.
- Procesador Core i7(6500U-Dell), velocidad de procesamiento (hasta 3,10)GHz

#### **4.1.7.3. Combinación Pixelink-QuadCore**

- Almacenamiento de imágenes provenientes de la cámara con transmisión FireWire, marca Pixelink, modelo PL-B778 y resolución 640 x 512.
- Procesador Quad-Core (A8-7410-Dell), velocidad de procesamiento (2,2 a 2,5) GHz.

#### **4.1.7.4. Combinación Pixelink -Corei7**

- Almacenamiento de imágenes provenientes de la cámara con transmisión FireWire, marca Pixelink, modelo PL-B778 y resolución 640 x 512.
- Procesador Core i7(6500U-Dell), velocidad de procesamiento (hasta 3,10)GHz

## 4.2 Análisis On-Line

A continuación se describen los procesadores y cámaras utilizados para la evaluación del sistema de visión.

### 4.2.1. Combinación USB-Myrio

- Adquisición de imágenes cámara USB, marca VIZUR y resolución 640x480.
- Procesador NI myRIO-1900, procesador dual-core ARM Cortex-A9 (667) MHz

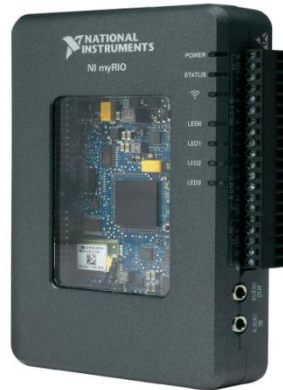


Figura 21 NI myRIO-1900.

### 4.2.2. Smart Camera 1772C

- Cámara con transmisión Gigabit Ethernet, marca National Instruments, modelo NI-1772C y resolución 640x480. Procesador interno de alto rendimiento Intel Atom de 1.6 GHz.



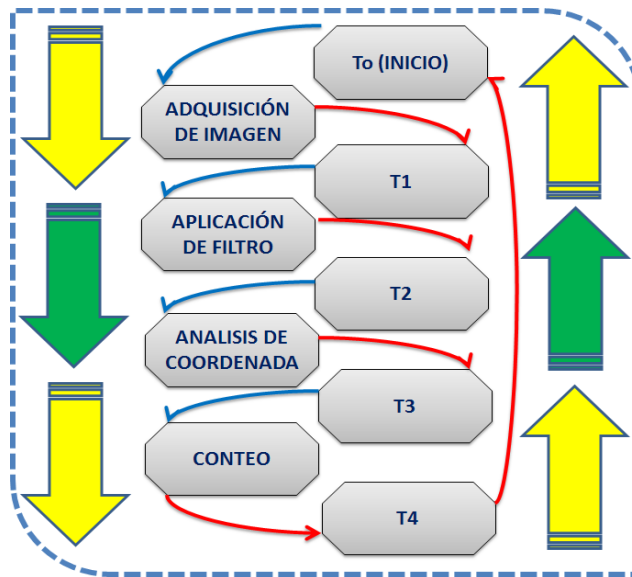
Figura 22 NI 1772C Smart Camera

## 5 Programación Secuencial y Análisis de Coordenadas

A continuación se describe la programación desarrollada para este sistema de visión, la cual utiliza la plataforma de programación LabVIEW 2013 en conjunto con el software Vision Assistant.

### 5.1 Máquina de Estados

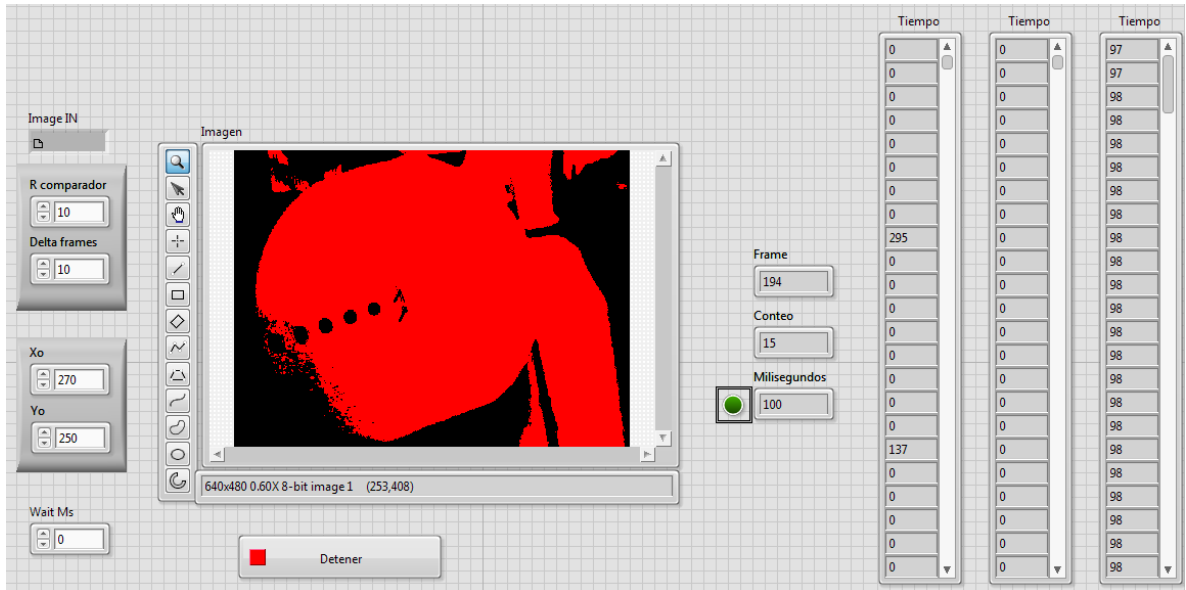
La siguiente figura describe la secuencia de programación, se establecen cuatro estados de análisis, adquisición de imagen (digitalización del escenario visualizado), aplicación del filtro digital (se establecen las coordenadas correspondiente a las figuras visualizadas), análisis de coordenadas (conversión y comparación de coordenadas) y conteo (se actualiza el conteo de figuras).



**Figura 23** Estados del sistema de visión

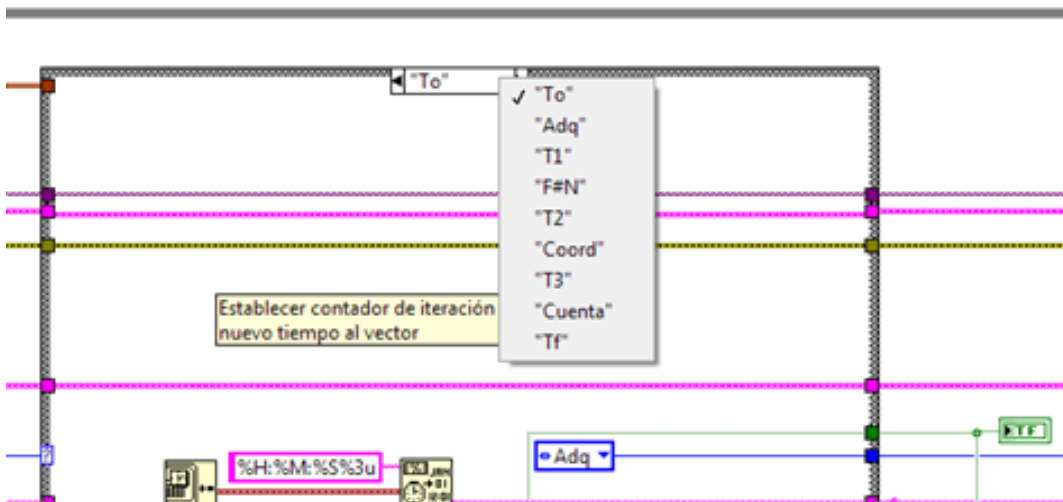
Además se establecen cinco estados equivalentes, los cuales proporcionan disponibilidad de estados intermedios a la programación del sistema en sí.

La siguiente figura describe la interfaz de usuario del sistema flexible de visión, esta imagen corresponde al panel frontal.

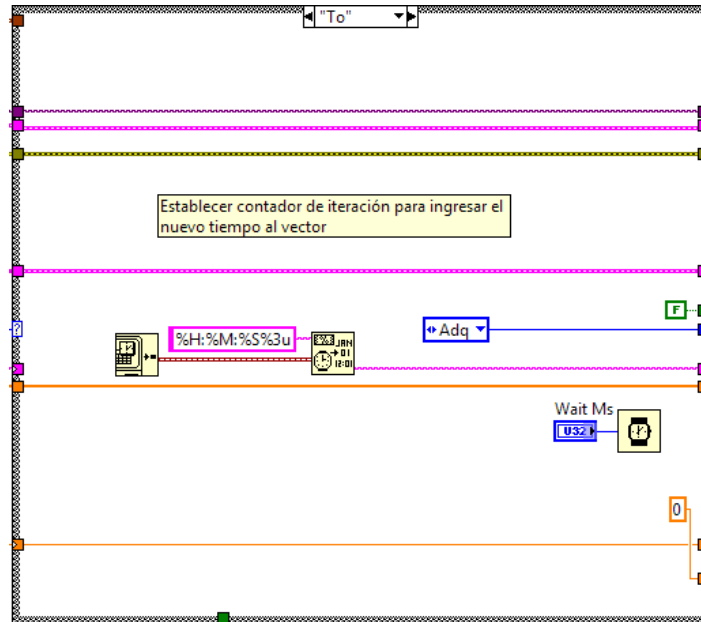


**Figura 24** Sistema flexible de visión, panel frontal (interfaz de usuario)

La figura a continuación describe el listado de estados disponibles para esta máquina de estados.

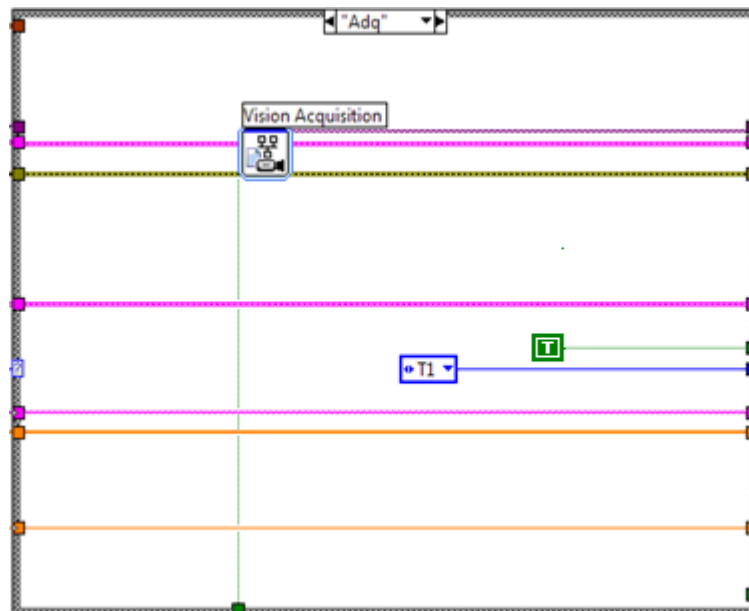


**Figura 25** Máquina de estados, descripción de todos los estados.



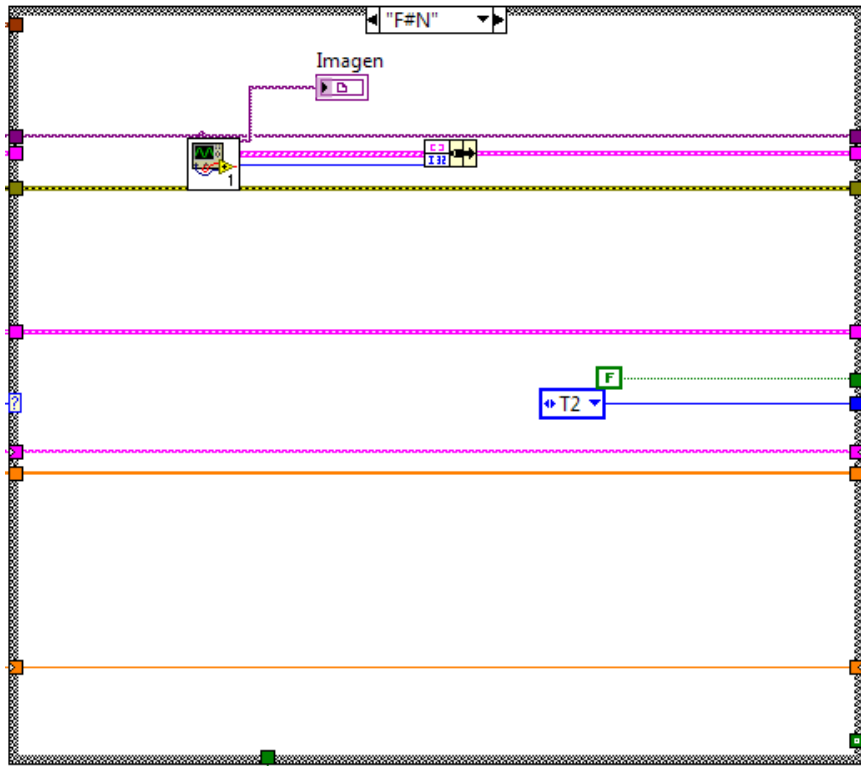
**Figura 26** Máquina de estados, estado To.

El estado "To" da inicio a la secuencia de programación, internamente esta función activa la estampa de tiempo del procesador utilizado para la ejecución del sistema de visión.



**Figura 27** Máquina de estados, adquisición de imagen.

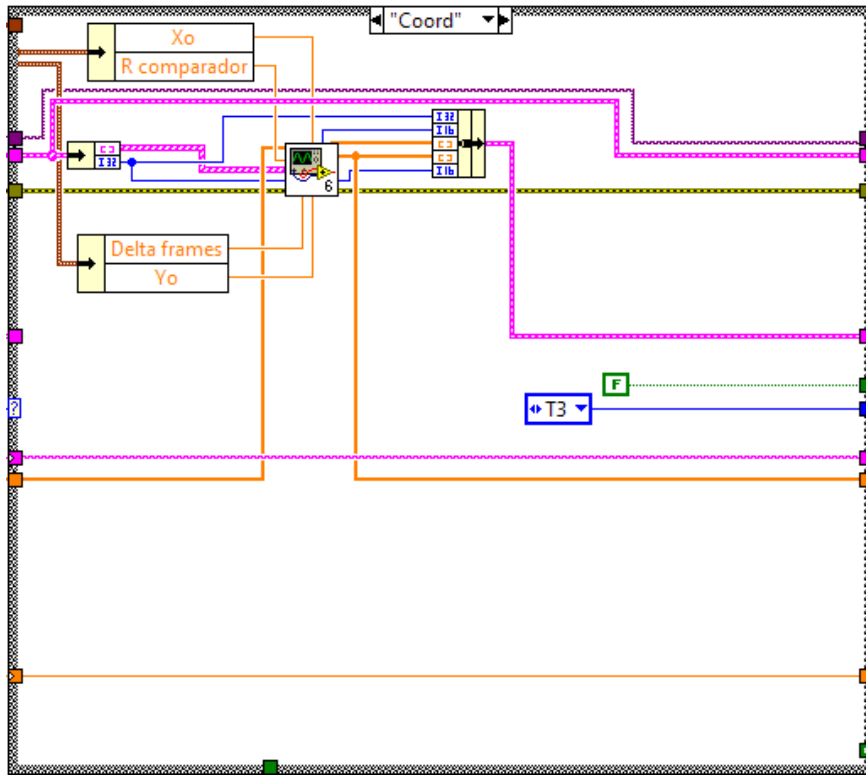
El estado “adq” (adquisición de imagen) realiza la función de ingresar la imagen al sistema, además de establecer una constante positiva para la estructura de casos correspondiente al cálculo del tiempo de análisis.



**Figura 28** Máquina de estados, filtro digital (SubVI).

El estado “F#N” (filtrado digital) corresponde a la cuarta etapa de la secuencia de programación, internamente esta función filtra digitalmente la imagen disponible, proporcionando información al sistema de coordenadas, a través de la cantidad de figuras reconocidas.





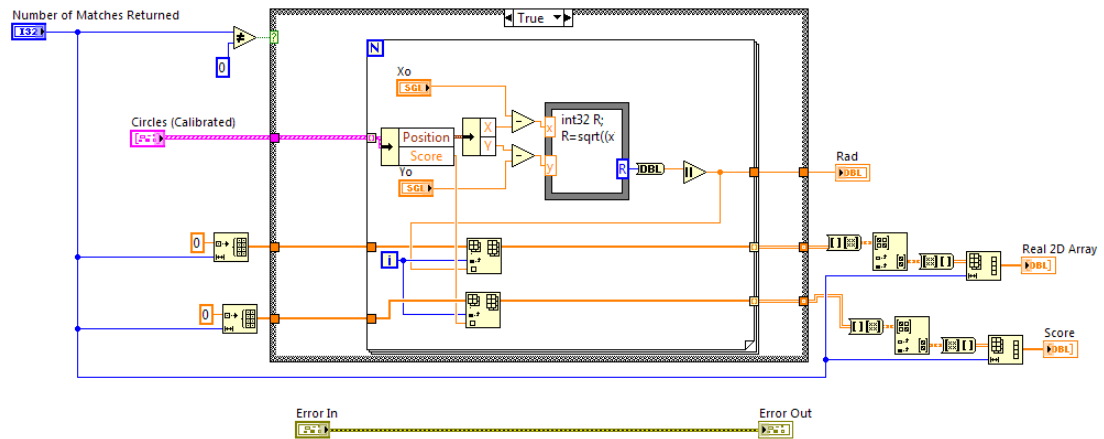
**Figura 29** Maquina de estados, análisis de coordenadas (SubVI).

El estado "Coord" (análisis de coordenadas) corresponde a la sexta etapa de la secuencia de programación, este contiene **tres** funciones principales.

La primera función establece una conversión respecto a las coordenadas asignadas a cada figura(s) reconocida(s), es decir, transforma cada par de coordenadas  $(x, y)$  a una coordenada radial  $(r)$ , a través de un arreglo basado en su posición relativa respecto al eje de rotación de la superficie  $(x_0, y_0)$ .

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

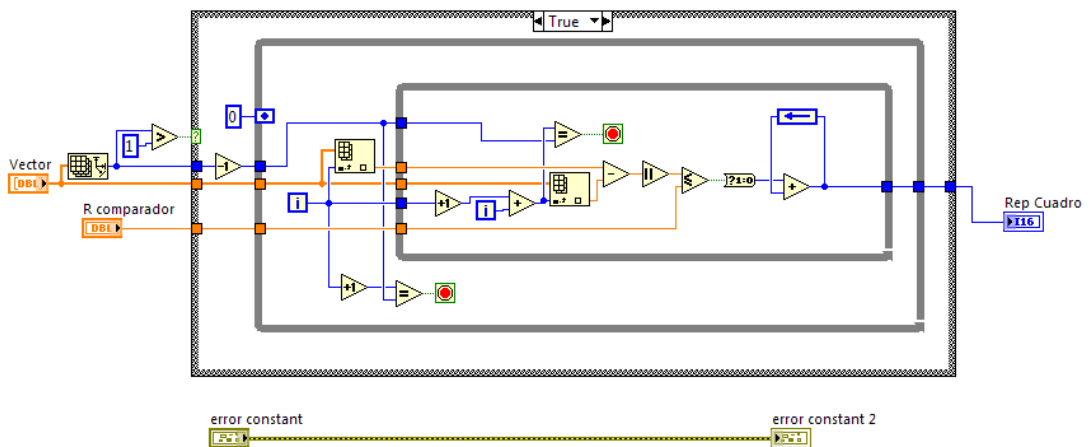
La siguiente figura describe la primera función "análisis de coordenadas".



**Figura 30** Primera función, “Base Coordenadas” (SubVI).

La segunda función establece un arreglo comparativo respecto a cada coordenada reconocida dentro de una imagen única, es decir, esta función tiene la capacidad de reconocer las posibles repeticiones de una misma figura dentro de una imagen, para lo cual se utiliza una constante comparativa “R comparador”.

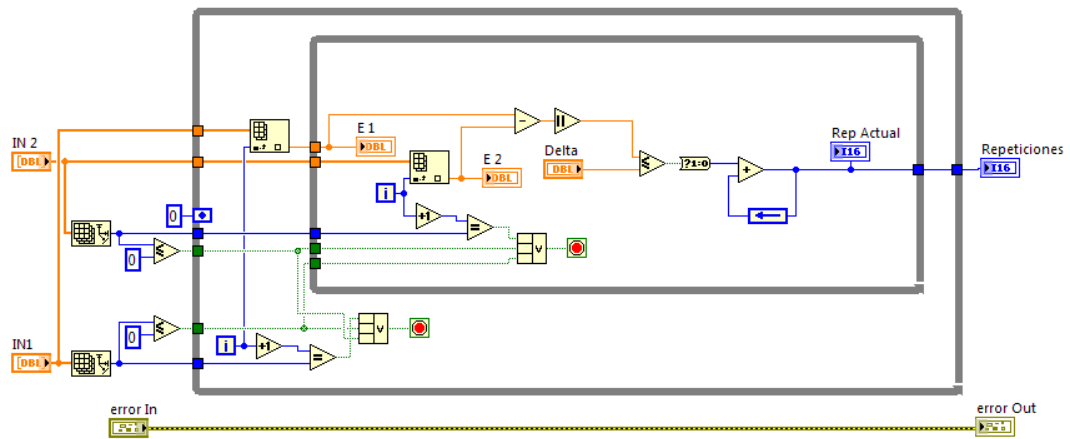
La siguiente figura describe la segunda función respecto del análisis de coordenadas.



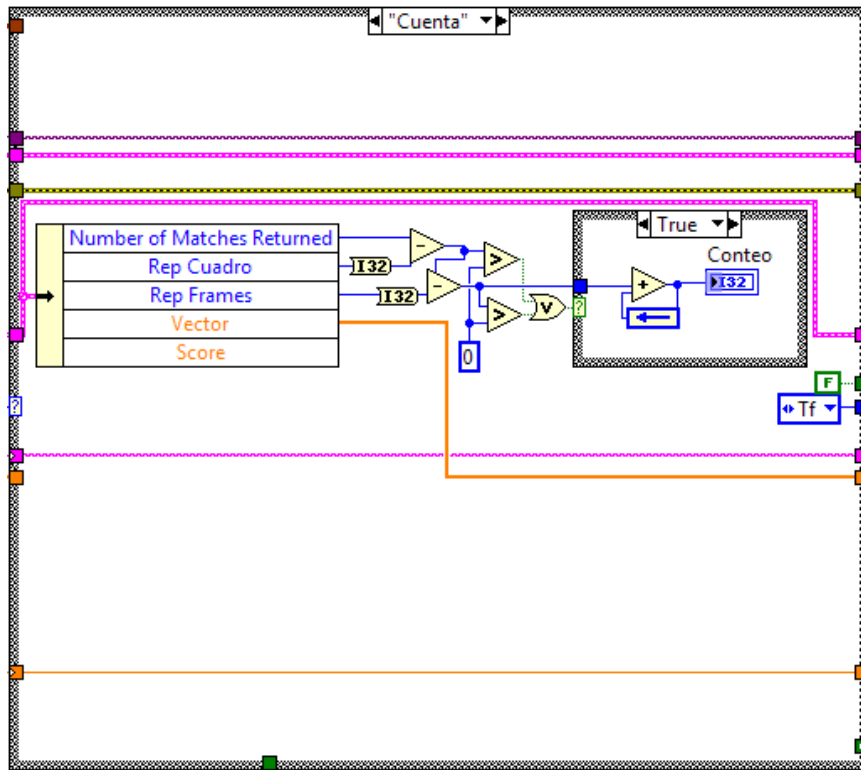
**Figura 31** Segunda función, “Arreglo comparativo” (SubVI).

La tercera función establece un arreglo comparativo entre imágenes consecutivas respecto a cada coordenada de reconocimiento, esto se realiza comparando cada par de arreglos de coordenadas, tarea que se realiza a través de la constante comparativa “Delta”.

La siguiente figura describe la tercera función respecto del análisis de coordenadas.



**Figura 32** Tercera función, “Cuadros comparativos” (SubVI).



**Figura 33** Maquina de estados, función cuenta (SubVI).

El estado “Cuenta” (conteo de figuras) corresponde a la octava etapa de la secuencia de programación, este estado realiza la función de contabilizar la cantidad de figuras que ingresan dentro del área de interés, considerando cualquier tipo de repetición.

## 6 Análisis de resultados

El análisis de resultados se subdivide en dos secciones, análisis **Off-Line** y **On-Line**. Debido a la gran cantidad de variables que conforman el análisis Off-Line, se ha establecido realizar un análisis acotado, con la finalidad de alinear la evaluación en función de cada una de las variables que involucra directamente el conteo y el tiempo de análisis. Es por esto que cada sección perteneciente al análisis Off-Line presenta una tabla descriptiva, la cual establece el conjunto de combinaciones evaluadas.

A continuación se describen las consideraciones utilizadas para este análisis.

- Con el objetivo de realizar un análisis práctico de cada una de las variables se establece como referencia de evaluación utilizar el área máxima (área 5) y velocidad de rotación mínima (34rpm) para cada variable de análisis diferente de ambas. Estableciendo los requerimientos mínimos de funcionamiento para el sistema de visión.
- Las imágenes almacenadas tienen un formato PNG.

## 6.1 Análisis Off-Line

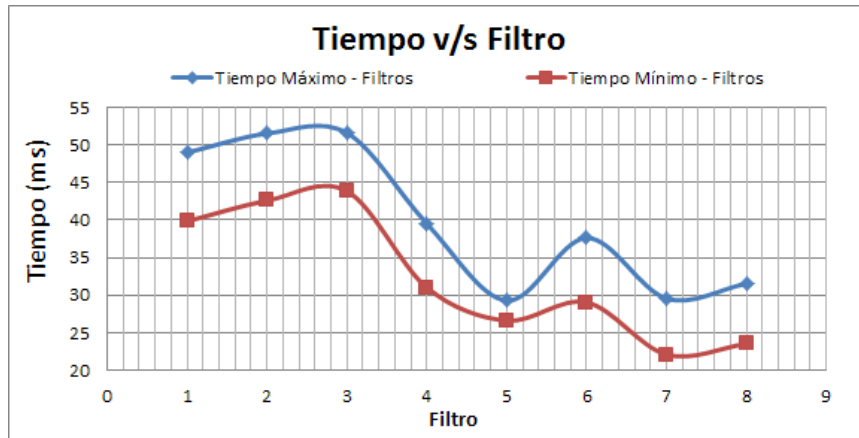
A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación de cada una de las variables de análisis Off-Line.

La tabla 3 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del tipo de filtrado digital.

**Tabla 2** Combinaciones, filtro digital.

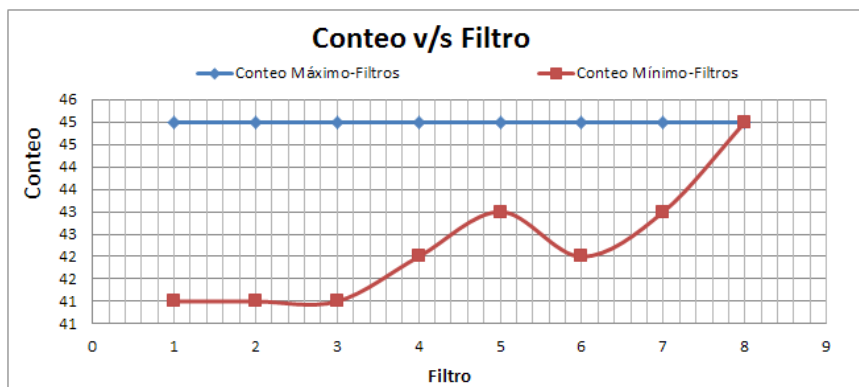
COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CÁMARA
1	ALEATORIO	ROJO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
3	CUADRADO	ROJO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
4	ALEATORIO	NEGRO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
5	CIRCULO	NEGRO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
6	CUADRADO	NEGRO	AMARILLO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
7	ALEATORIO	ROJO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
8	CIRCULO	ROJO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
9	CUADRADO	ROJO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
10	ALEATORIO	NEGRO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
11	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
12	CUADRADO	NEGRO	BLANCO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
13	ALEATORIO	ROJO	NARANJO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
14	CIRCULO	ROJO	NARANJO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
15	CUADRADO	ROJO	NARANJO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
16	ALEATORIO	NEGRO	NARANJO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
17	CIRCULO	NEGRO	NARANJO	CORE I7	C / DESPLIEGUE	USB
18	CUADRADO	NEGRO	NARANJO	CORE I7	C / DELIEGUE	USB

A continuación se presentan dos figuras, las cuales corresponden a la respuesta temporal y conteo de figuras de cada uno de los filtros utilizados para cada una de las combinaciones descritas en la tabla previa. Estas figuras proporcionan los valores límites obtenidos por cada filtro digital.



**Figura 34** Resumen valores limites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

Visualizando la figura 55 es posible establecer que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación, respecto del tiempo de análisis, es decir, estos filtros presentan un tiempo de análisis más estable en comparación con los otros filtros digitales. Las diferencias para los filtros 5, 7 y 8 alcanzan un valor de 2,7ms, 7,5ms y 8ms respectivamente. Además estos filtro presentan valores de tiempo de análisis menores, por lo cual, el procesamiento de estos filtros utiliza un menor tiempo de análisis por parte del sistema de visión.



**Figura 35** Resumen valores limites respecto al conteo de figuras para todos los filtros digitales.

A través de la figura 56 es posible establecer que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales para cada una de las combinaciones evaluadas.

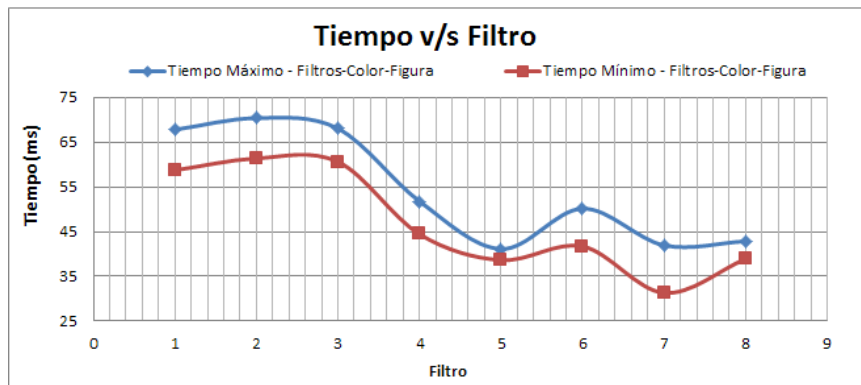
Por lo cual, el análisis en función del tipo de filtro digital se puede establecer que los filtros 5, 7 y 8 presentan resultados destacados a partir del análisis realizado para cada una de las combinaciones, estos filtros digitales presentan tiempos de análisis menores y conteos más eficientes respecto a los demás filtros digitales.

La tabla 4 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del color de figura.

**Tabla 3** Combinaciones, color de figura.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CIRCULO	ROJO	NARANJO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
3	CIRCULO	ROJO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
4	CIRCULO	NEGRO	NARANJO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
5	CIRCULO	NEGRO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
6	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB

A continuación se presentan dos figuras, las cuales corresponden a la respuesta temporal y conteo de figuras de cada uno de los filtros utilizados considerando combinaciones en función del tipo de color de figura.

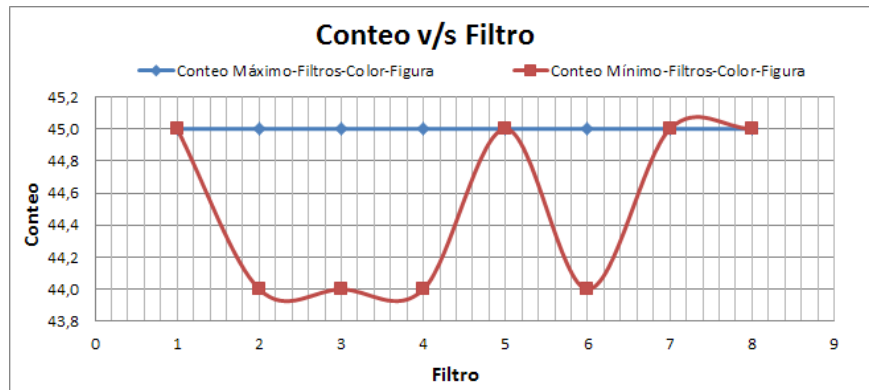


**Figura 36** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

A través de la figura 57 es posible establecer que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5 y 8 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de



análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 2,49ms y 3,95ms respectivamente.



**Figura 37** Resumen valores limites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

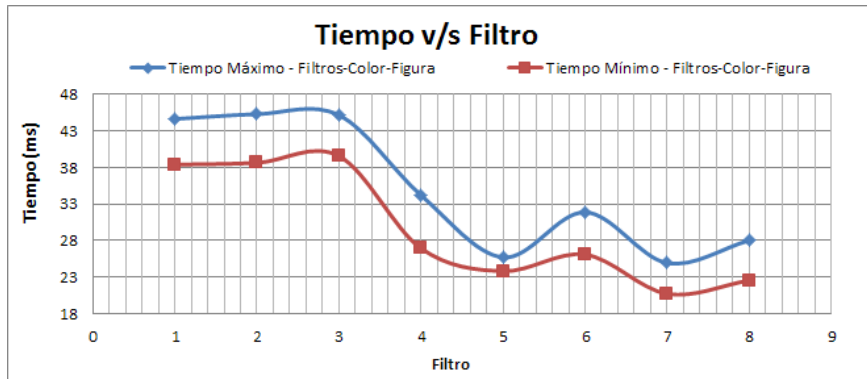
A través de la figura 58 se puede establecer que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 1, 5, 7 y 8 presentan valores límites sin variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

La tabla 5 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del color de fondo.

**Tabla 4** Combinaciones, color de fondo.

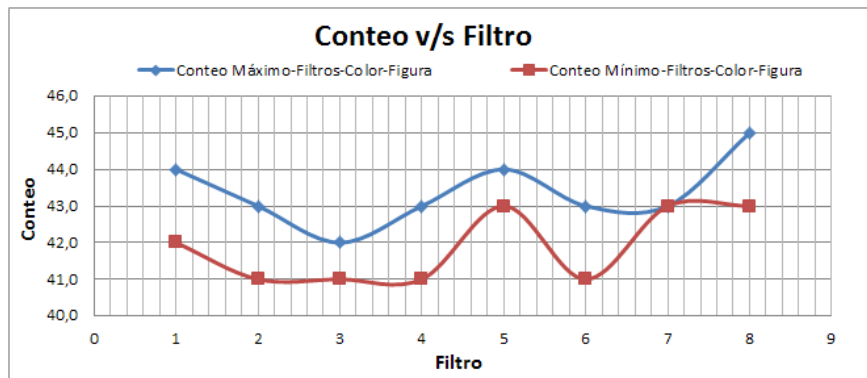
COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA	ROI
1	CUADRADO	ROJO	AMARILLO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V
2	CUADRADO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V
3	CUADRADO	ROJO	NARANJO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V
4	CUADRADO	NEGRO	AMARILLO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V
5	CUADRADO	NEGRO	BLANCO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V
6	CUADRADO	NEGRO	NARANJO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB	V

A continuación se presentan dos figuras, las cuales corresponden a la respuesta temporal y conteo de figuras de cada uno de los filtros utilizados considerando combinaciones en función del tipo de color de fondo.



**Figura 38** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

La figura 59 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 1,9ms, 4,2ms y 5,5ms respectivamente.



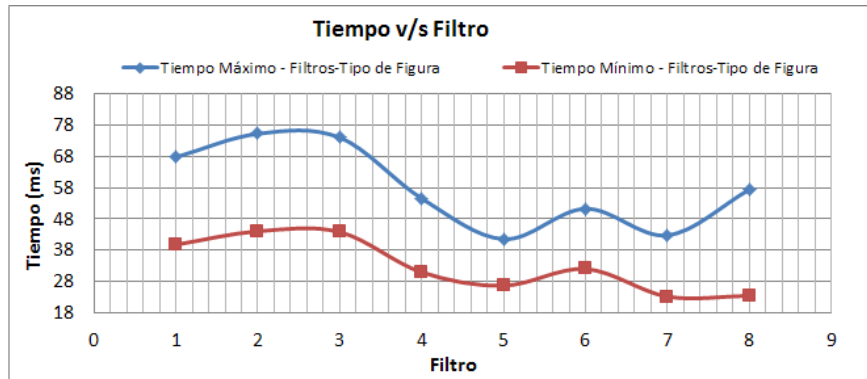
**Figura 39** Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

La figura 60 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 3, 5 y 7 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

La tabla 6 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del tipo de figura.

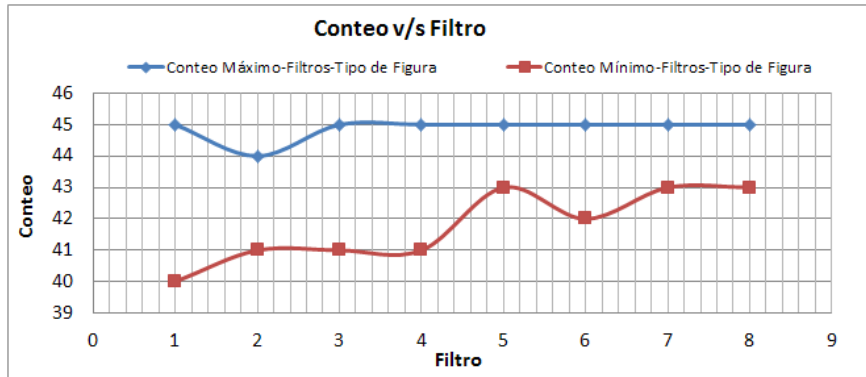
**Tabla 5** Combinaciones, tipo de figura.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CIRCULO	ROJO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB
3	CUADRADO	ROJO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
4	CUADRADO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB
5	ALEATORIO	ROJO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
6	ALEATORIO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB



**Figura 40** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

La figura 61 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5 y 7 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 14,3ms y 18,3ms respectivamente.



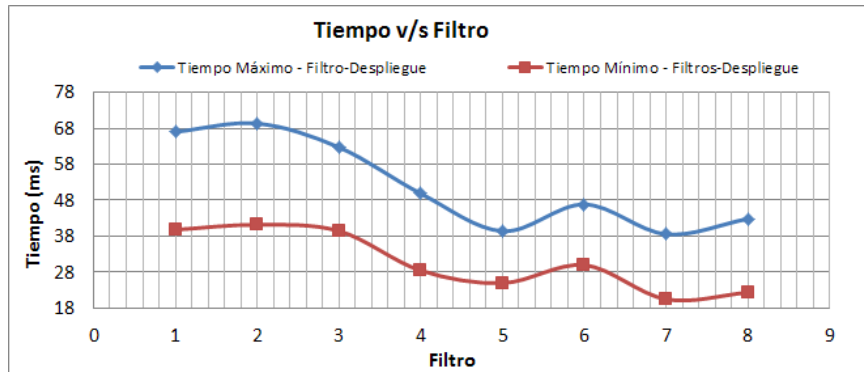
**Figura 41** Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

La figura 62 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

La tabla 7 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del despliegue de imagen.

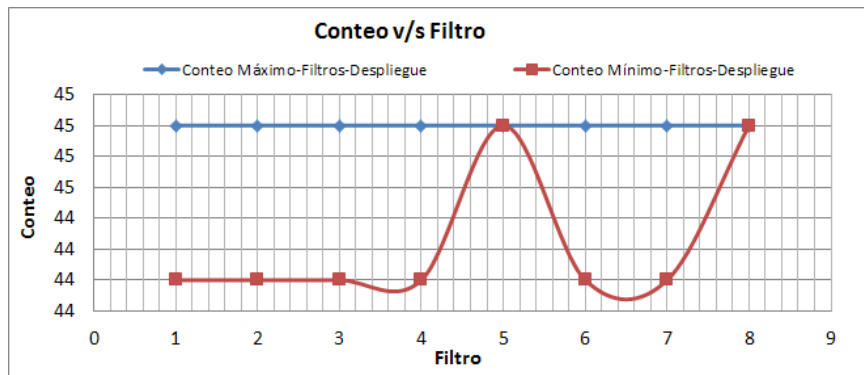
**Tabla 6** Combinaciones, despliegue de imagen.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CIRCULO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
3	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
4	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
5	CIRCULO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	USB
6	CIRCULO	ROJO	BLANCO	COIRE I7	S / DESPLIEGUE	PIXELINK
7	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	S / DESPLIEGUE	USB
8	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	S / DESPLIEGUE	PIXELINK



**Figura 42** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

La figura 63 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 6 y 7 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 14,4ms, 16,9ms y 18,1ms respectivamente.



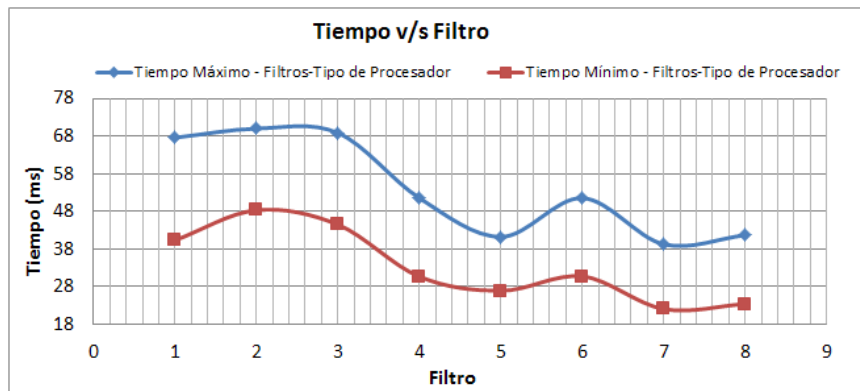
**Figura 43** Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

La figura 64 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5 y 8 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

La tabla 8 describe las combinaciones utilizadas para evaluar el sistema en función del tipo de procesador.

**Tabla 7** Combinaciones, tipo de procesador.

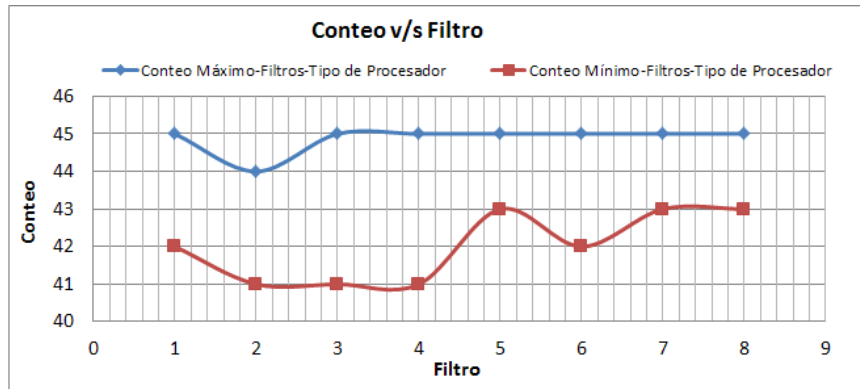
COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CUADRADO	ROJO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
2	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
3	ALEATORIO	ROJO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
4	CUADRADO	ROJO	AMARILLO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
5	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
6	ALEATORIO	ROJO	AMARILLO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	PIXELINK



**Figura 44** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

La figura 65 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 14,3ms, 17,2ms y 18,3ms respectivamente.

Todos los filtros digitales presentan diferencias considerables respecto al tipo de procesador, Core i7 presenta tiempos de análisis menores en comparación al procesador QuadCore. Todas las combinaciones evaluadas se evidencian diferencias respecto a los valores límites, estableciendo diferencias superiores a los 7 ms de tiempo de análisis.



**Figura 45** Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

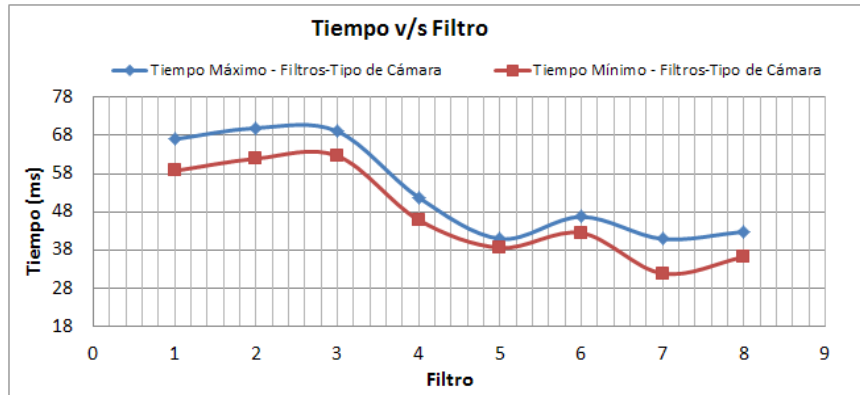
La figura 66 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 5, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

Las combinaciones evaluadas destacan los filtros 5, 7 y 8 con un rendimiento comparativamente destacable respecto al conteo de figuras y tiempo de análisis para ambos tipos de procesadores.

La tabla a continuación describe las combinaciones utilizadas para la evaluación del tipo de cámara.

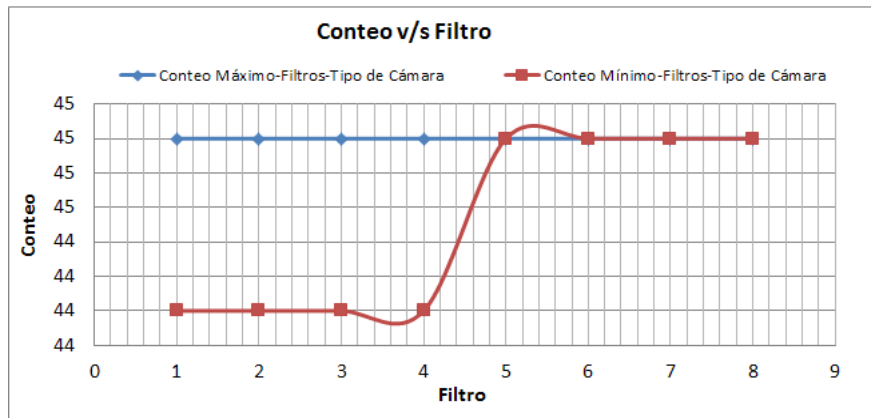
**Tabla 8** Combinaciones, tipo de cámara.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CIRCULO	NEGRO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
3	CIRCULO	NEGRO	NARANJO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB
4	CIRCULO	NEGRO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
5	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK
6	CIRCULO	NEGRO	NARANJO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	PIXELINK



**Figura 46** Resumen valores límites respecto al tiempo de análisis para todos los filtros digitales.

La figura 67 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección los filtros 4, 5 y 6 presentan valores límites con una menor variación de tiempo de análisis entre sus valores extremos, es decir, estos filtros presentan diferencias de 5,9ms, 2,3ms y 4,2ms respectivamente.



**Figura 47** Resumen valores límites respecto al conteo para todos los filtros digitales.

La figura 68 establece que cada una de las combinaciones evaluadas en esta sección, los filtros 5, 6, 7 y 8 presentan valores límites con una menor variación respecto al conteo de figuras, es decir, estos filtros presentan una respuesta más estable en comparación con los otros filtros digitales.

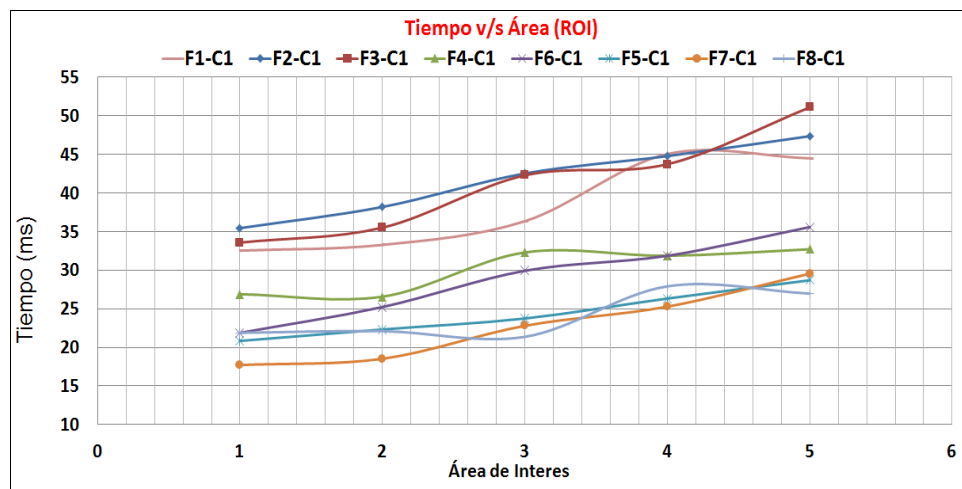
Las combinaciones evaluadas destacan los filtros 5, 7 y 8 con un rendimiento comparativamente destacable respecto al conteo de figuras y tiempo de análisis para ambos tipos de cámaras.



La tabla a continuación describe las combinaciones utilizadas para la evaluación de la región de interés (ROI), esta variable se analiza a partir de la velocidad 1 (34 rpm).

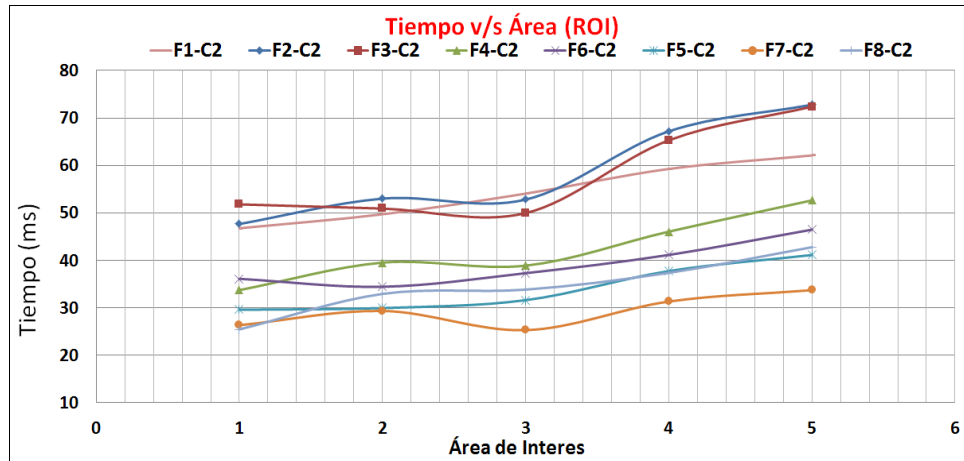
**Tabla 9** Combinaciones, región de interés.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CUADRADO	NEGRO	NARANJO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB
2	CUADRADO	NEGRO	NARANJO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB



**Figura 48** Tiempo de análisis, combinación 1 en función del área de interés.

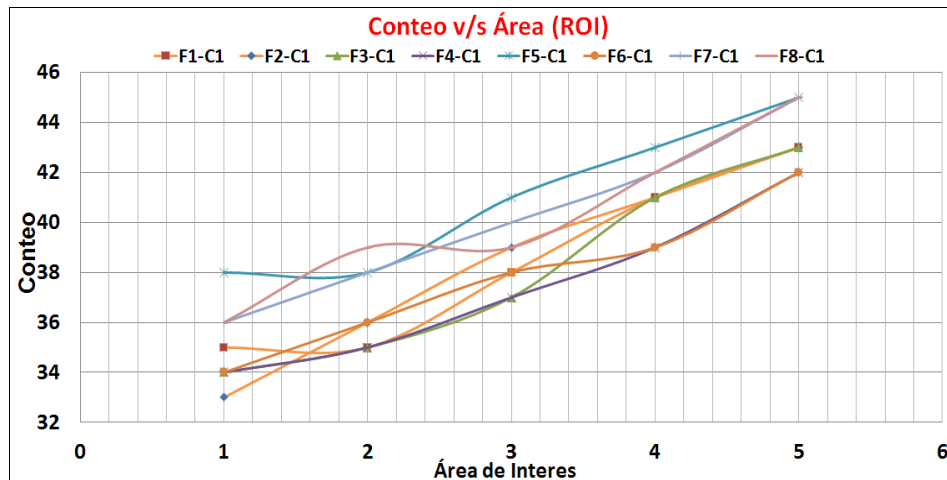
A partir de la figura 69 se puede visualizar la respuesta para la combinación 1 respecto de cada filtro digital en función de cada región de interés. Cada uno de los filtros presenta una tendencia proporcional en función del área de interés. Nuevamente los filtro 5, 7 y 8 presentan curvas con un menor tiempo de análisis en comparación a los otros filtros utilizados para evaluar el sistema.



**Figura 49** Tiempo de análisis, combinación 2 en función del área de interés.

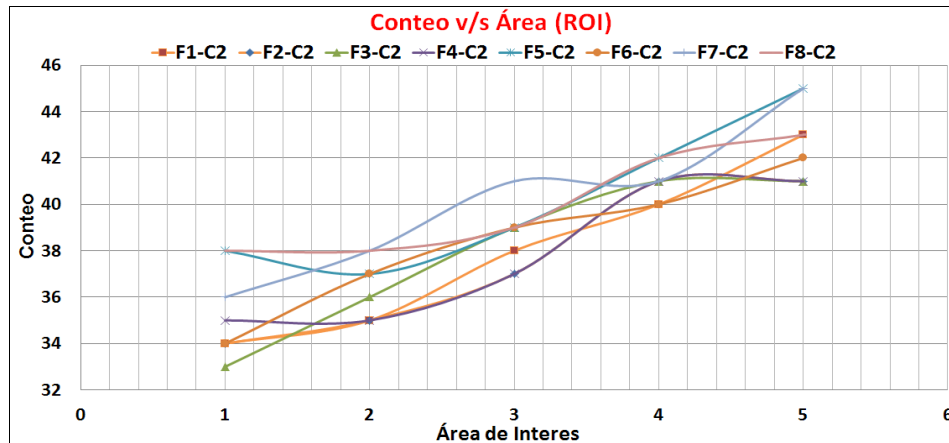
A partir de la figura 70 se puede visualizar la respuesta para la combinación 2 respecto de cada filtro digital en función de la región de interés, cada uno de los filtros presenta una tendencia proporcional en función del área de interés. Nuevamente los filtro 5, 7 y 8 presentan curvas con un menor tiempo de análisis en comparación a los demás filtros utilizados para evaluar el sistema.

La combinación 2 presenta una tendencia con tiempos de análisis mayores, esto se debe al tipo de procesador utilizado.



**Figura 50** Conteo de figuras, combinación 1 en función del área de interés.

La figura 71 establece que para la combinación 1 los filtros 5, 7 y 8 alcanzan los valores óptimos de conteo de figuras (5ta región), además cada filtro digital presenta una respuesta proporcional entre el conteo de figuras y la región de interés.



**Figura 51** Conteo de figuras, combinación 2 en función del área de interés.

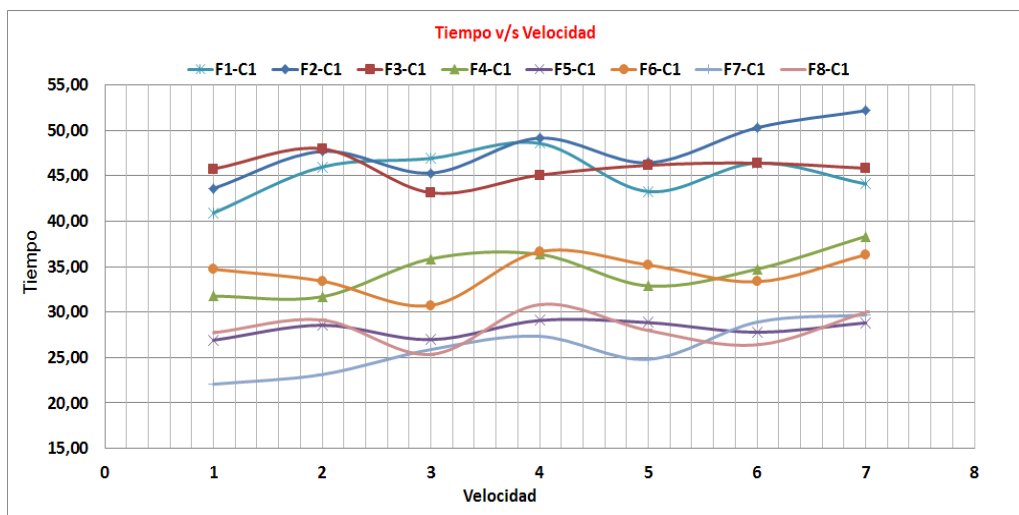
La figura 72 establece que para la combinación 2, nuevamente los filtros 5 y 7 presentan un conteo óptimo de figuras para la 5ta región de interés, además cada filtro digital presenta una respuesta proporcional entre el conteo de figuras y la región de interés.

Ambas combinaciones evaluadas en función de la región de interés destacan los filtros 5, 7 y 8 con un rendimiento comparativamente destacable respecto al conteo de figuras y tiempo de análisis.

La tabla a continuación describe las combinaciones utilizadas para la evaluación de la variable de análisis correspondiente a la velocidad de rotación, esta variable se analiza considerando la máxima región de interés (5ta región).

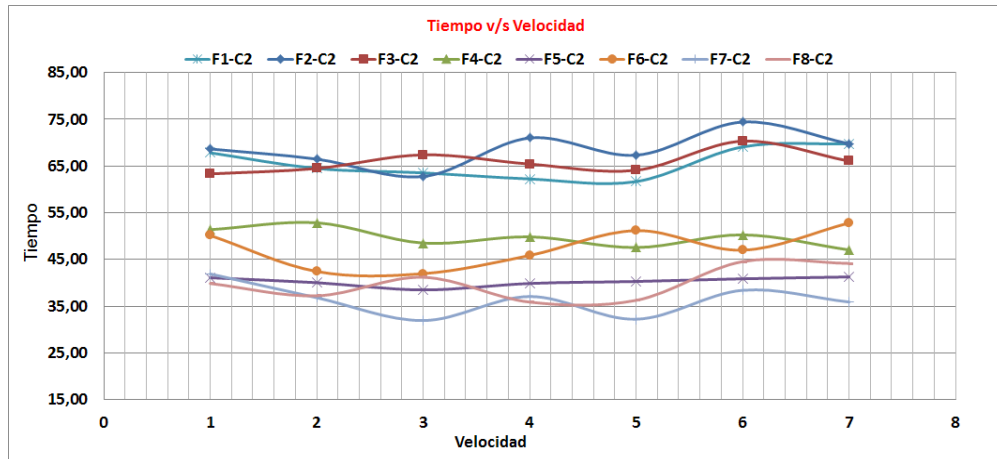
**Tabla 10** Combinaciones velocidad de rotación

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	DESPLIEGUE	CAMARA
1	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	COIRE I7	C / DESPLIEGUE	USB
2	CIRCULO	ROJO	AMARILLO	QUADCORE	C / DESPLIEGUE	USB



**Figura 52** Tiempo de análisis, combinación 1 en función de la Velocidad.

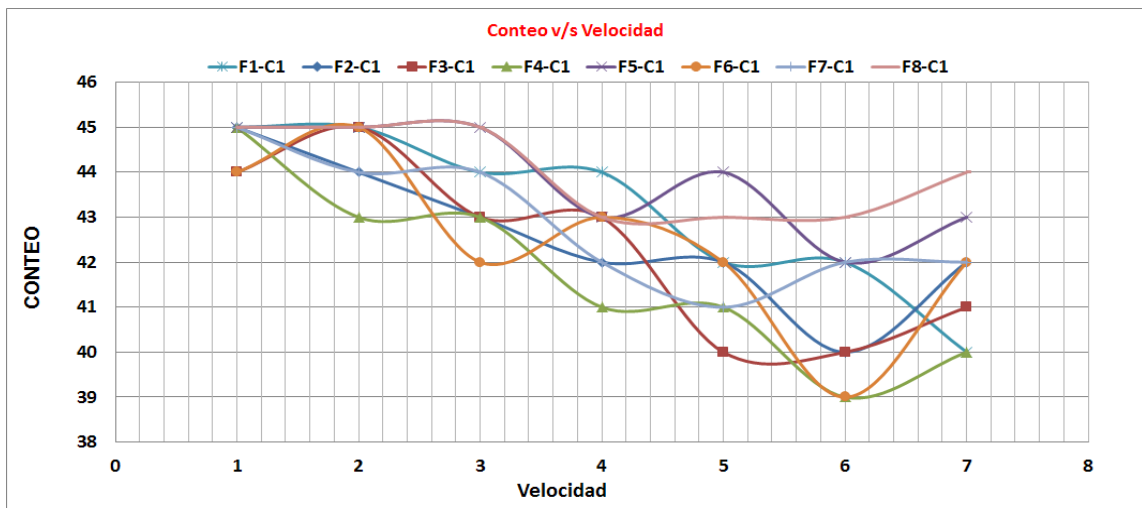
A partir de la figura 73 se puede visualizar la respuesta para la combinación 1 respecto de cada filtro digital en función de la velocidad de rotación, cada uno de los filtros presenta una tendencia proporcional en función de la velocidad de rotación. Los filtros 5, 7 y 8 presentan curvas con un menor tiempo de análisis en comparación a los demás filtros utilizados para evaluar el sistema.



**Figura 53** Tiempo de análisis, combinación 2 en función de la Velocidad.

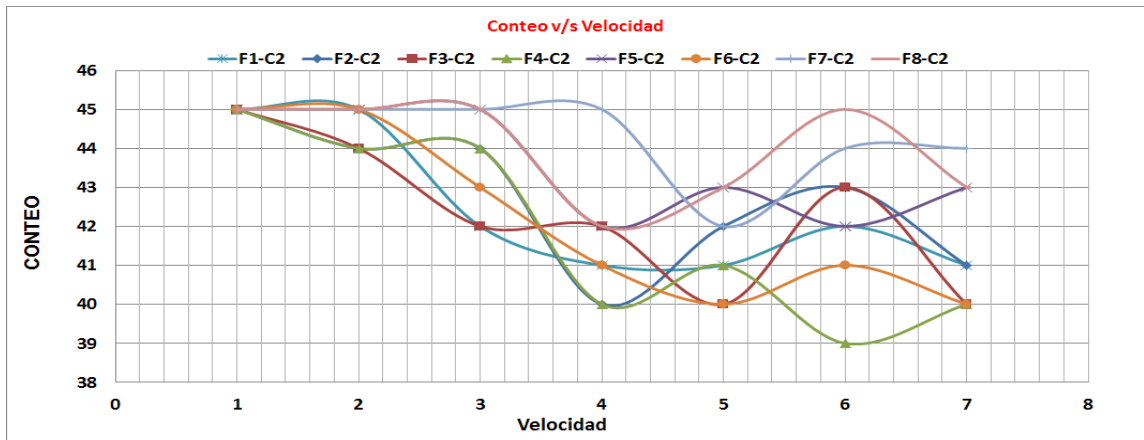
A partir de la figura 74 se puede visualizar la respuesta para la combinación 2 respecto de cada filtro digital en función de la velocidad de rotación, cada uno de los filtros presenta una tendencia proporcional en función de la velocidad de rotación. Nuevamente los filtro 5, 7 y 8 presentan curvas con un menor tiempo de análisis en comparación a los demás filtros utilizados para evaluar el sistema.

La combinación 2 presenta una tendencia con tiempos de análisis mayores, esto se debe al tipo de procesador utilizado.



**Figura 54** Conteo de figuras, combinación 1 en función de la Velocidad

La figura 75 establece que para la combinación 1, los filtros 1, 2, 4, 5, 7 y 8 presentan un conteo óptimo de figuras para la 1ra velocidad de rotación, además cada filtro digital presenta una respuesta inversamente proporcional entre el conteo de figuras y la velocidad de rotación. Los filtros 5, 7 y 8 presentan lo máximos valores de conteo para la velocidad 7.



**Figura 55** Conteo de figuras, combinación 2 en función de la Velocidad

La figura 76 establece que para la combinación 2, todos los filtros presentan un conteo óptimo de figuras para la 1ra velocidad de rotación, además cada filtro digital presenta una respuesta inversamente proporcional entre el conteo de figuras y la velocidad de rotación. Los filtros 5, 7 y 8 presentan lo máximos valores de conteo para la velocidad 7.

Ambas combinaciones evaluadas en función de la velocidad de rotación destacan los filtros 5, 7 y 8 con un rendimiento comparativamente destacable respecto al conteo de figuras y tiempo de análisis.

## 6.2 Análisis On-Line

Las siguientes tablas establecen las conversiones entre el área de análisis y velocidad de rotación para el análisis On-Line.

**Tabla 11** Conversión área de interés entre ambos tipos de análisis.

Off-Line	On-Line	pixel <sup>2</sup>
área 1	---	9.776
área 2	---	13.520
área 3	área 1	24.336
área 4	área 2	34.528
área 5	área 3	49.920

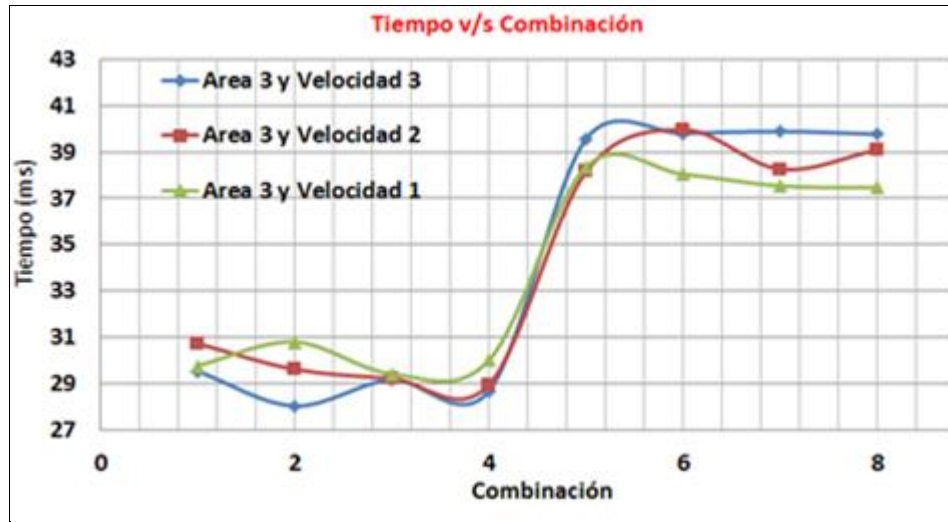
**Tabla 12** Conversión velocidad de rotación entre ambos tipos de análisis.

Off-Line	On-Line	Rpm
Velocidad 1	Velocidad 1	35
Velocidad 2	Velocidad 2	39
Velocidad 3	Velocidad 3	42
Velocidad 4	---	45
Velocidad 5	---	48
Velocidad 6	---	51
Velocidad 7	---	54

La tabla a continuación describe las combinaciones utilizadas para la evaluación del sistema a partir del análisis On-Line.

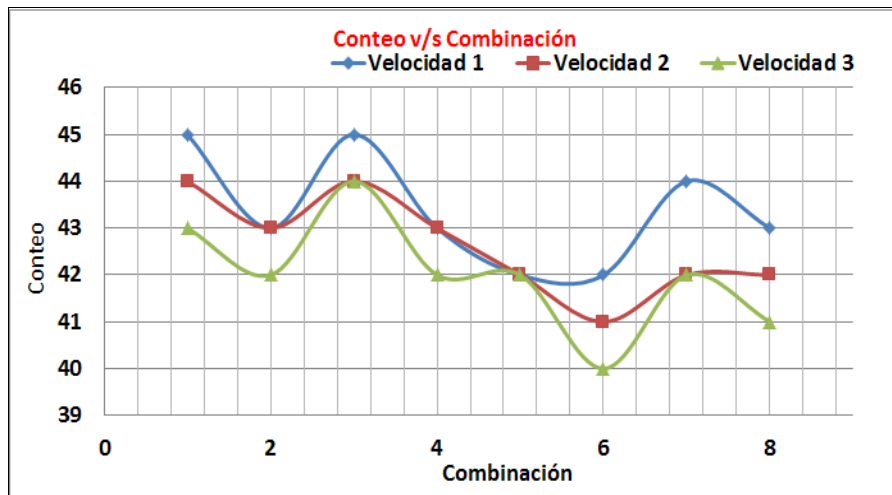
**Tabla 13** Combinaciones análisis On-Line.

COMBINACIÓN	FIGURA	COLOR	FONDO	PROCESADOR	CAMARA
1	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	SMARTCAMERA	SMARTCAMERA
2	CUADRADO	NEGRO	BLANCO	SMARTCAMERA	SMARTCAMERA
3	CIRCULO	ROJO	BLANCO	SMARTCAMERA	SMARTCAMERA
4	CUADRADO	ROJO	BLANCO	SMARTCAMERA	SMARTCAMERA
5	CIRCULO	NEGRO	BLANCO	myRIO	USB
6	CUADRADO	NEGRO	BLANCO	myRIO	USB
7	CIRCULO	ROJO	BLANCO	myRIO	USB
8	CUADRADO	ROJO	BLANCO	myRIO	USB



**Figura 56** Tiempo de análisis área 3, filtro F5 en función de la Velocidad

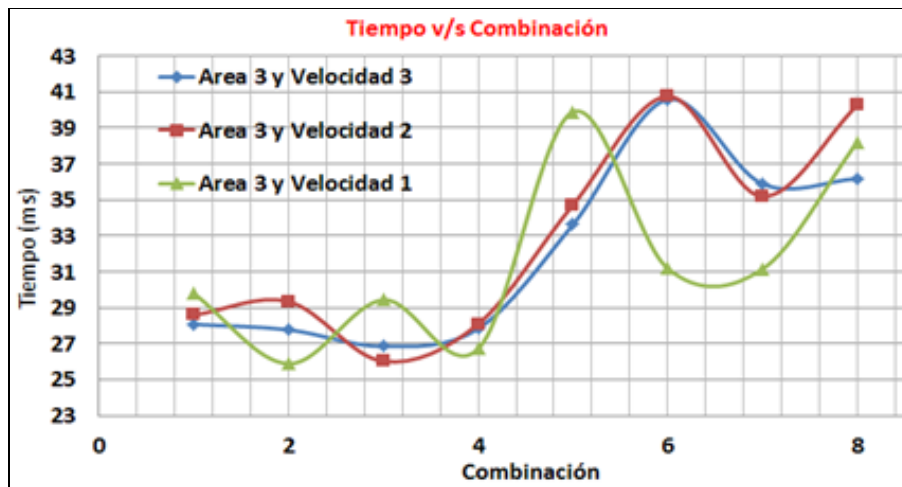
La figura 77 proporciona dos regiones definidas entre el tipo de procesador utilizado. Los resultados asociados al procesador Smart Camera utilizan un tiempo de procesamiento menor a los 31(ms), bordeando un promedio de 29(ms) para las primeras cuatro combinaciones, por su parte el procesador myRIO requiere tiempo de procesamiento mayor a los 37(ms), bordeando un promedio de 39(ms) para las cuatro combinaciones finales.



**Figura 57** Conteo de figuras área 3, filtro F5 en función de la Velocidad.

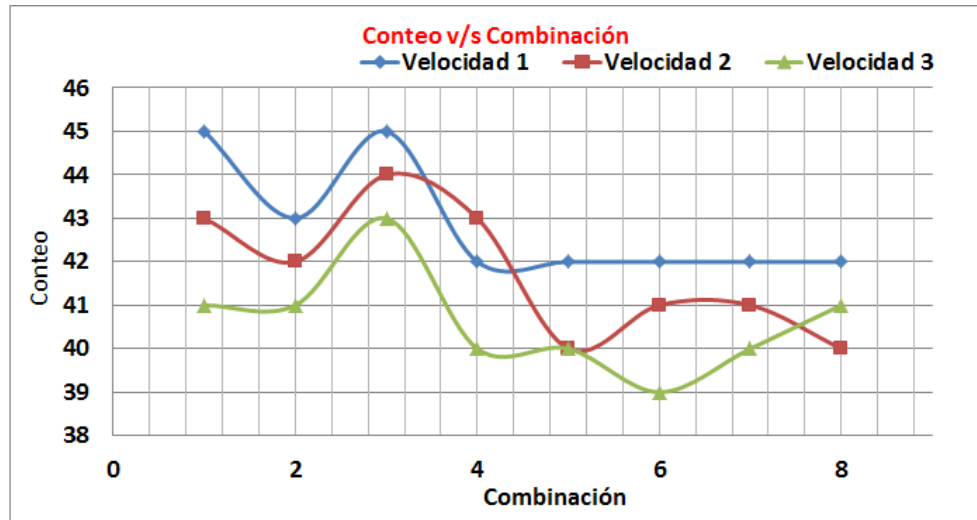


La figura 78 proporciona la tendencia del conteo por tipo de combinación, tal como se observa la curva del conteo en función de cada una de las tres velocidades presenta nuevamente una tendencia alternada y descendente. Se mantiene la tendencia generalizada por parte de las figuras circulares en comparación a las figuras cuadradas respecto de un conteo con mejores resultados. El área 3 presenta conteos óptimos, los cuales corresponde a las combinaciones 1 y 3, los cuales evalúan el círculo negro y rojo, ambos correspondientes al procesador Smart Camera y correspondientes a la velocidad de rotación 1.



**Figura 58** Tiempo de análisis área 3, filtro F7 en función de la Velocidad.

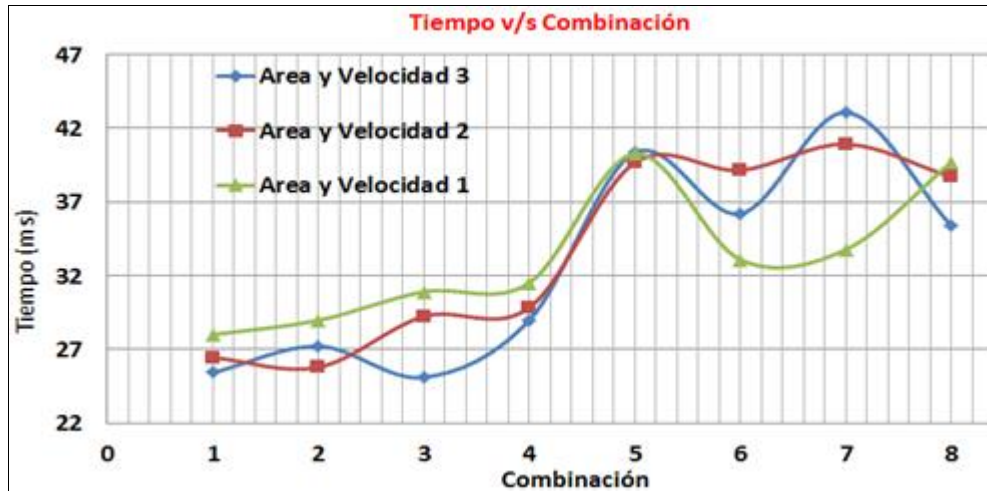
La figura 79 proporciona dos regiones definidas entre el tipo de procesador utilizado. Los resultados asociados al procesador Smart Camera utilizan un tiempo de procesamiento menor a los 31(ms), bordeando un promedio de 28(ms) para las primeras cuatro combinaciones, por su parte el procesador myRIO requiere tiempo de procesamiento mayor a los 31(ms), bordeando un promedio de 37(ms) para las cuatro combinaciones finales.



**Figura 59** Conteo de figuras área 3, filtro F7 en función de la Velocidad.

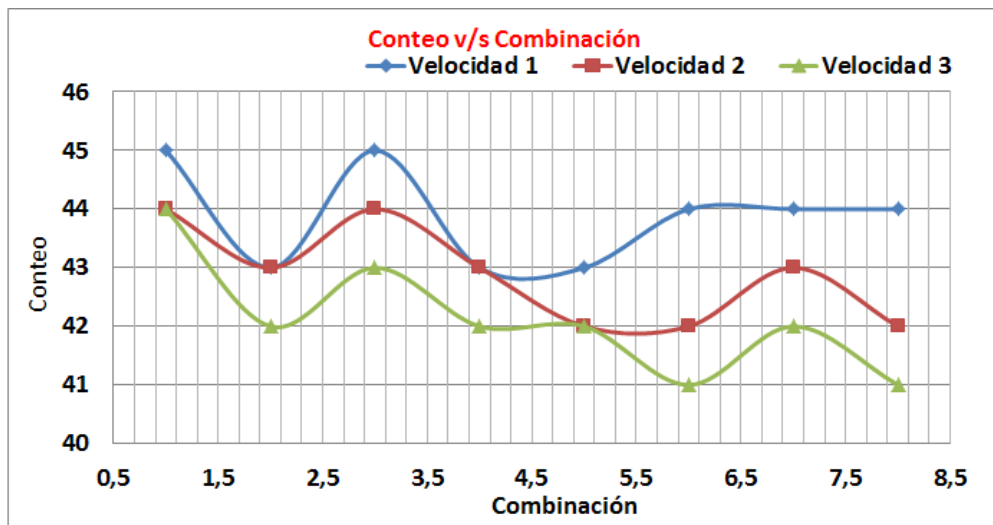
La figura 80 proporciona la tendencia del conteo por tipo de combinación, tal como se observa la curva del conteo en función de cada una de las tres velocidades presenta nuevamente una tendencia alternada y descendente, aunque esta tendencia varia para las combinaciones correspondientes al procesador myRIO. Este último presenta una tendencia plana para la velocidad 1.

El área 3 presenta conteos óptimos, los cuales corresponde a las combinaciones 1 y 3, los cuales evalúan el círculo negro y rojo, ambos correspondientes al procesador Smart Camera y correspondientes a la velocidad de rotación 1.



**Figura 60** Tiempo de análisis área 3, filtro F8 en función de la Velocidad

La figura 81 proporciona dos regiones definidas entre el tipo de procesador utilizado. Los resultados asociados al procesador Smart Camera utilizan un tiempo de procesamiento menor a los 32(ms), bordeando un promedio de 28(ms) para las primeras cuatro combinaciones, por su parte el procesador myRIO requiere tiempo de procesamiento mayor a los 32(ms), bordeando un promedio de 38(ms) para las cuatro combinaciones finales.



**Figura 61** Conteo de figuras área 3, filtro F8 en función de la Velocidad.

La figura 82 proporciona la tendencia del conteo por tipo de combinación, tal como se observa la curva del conteo en función de cada una de las tres velocidades presenta nuevamente una tendencia alternada y descendente, aunque esta tendencia varia para las combinaciones correspondientes al procesador myRIO. Este último presenta una tendencia plana para la velocidad 1(ultimas tres combinaciones).

El área 3 presenta conteos óptimos, los cuales corresponde a las combinaciones 1 y 3, los cuales evaluan el circulo negro y rojo, ambos correspondientes al procesador Smart Camera y correspondientes a la velocidad de rotación 1.

Todas las variables del análisis Online resaltan a modo generalizado un mejor rendimiento al momento de utilizar el procesador Smart Camera por sobre el procesador myRIO, respecto del conteo de figuras y tiempo de análisis requerido.

## 7 APLICACIONES

1. CONTROL DE CALIDAD TARJETAS CLARO
2. CONTEO DE POLLOS (PLANTA ARIZTÍA)
3. CARACTERIZACIÓN FUENTES DE TEMPERATURA

### 7.1. CONTROL DE CALIDAD TARJETAS CLARO

La empresa estrulam (Argentina) solicitó a National Instruments (Chile) una prueba de evaluación respecto al control de calidad de tarjetas de pregapo. Se estableció un requerimiento en base al desarrollo de un filtro digital con la capacidad de reconocer en cada visualización el simbolo de la marca, código de barra y número de serie.

**Problemática :** *El sistema de reconocimiento es ineficiente, no se logra reconocer el número de serie, marca (logo) y código de barras. Además el sistema tiene ajustes limitados.*

La figura a continuación describe el montaje previamente implementado a partir de una aplicación con una cámara inteligente, marca SICK.

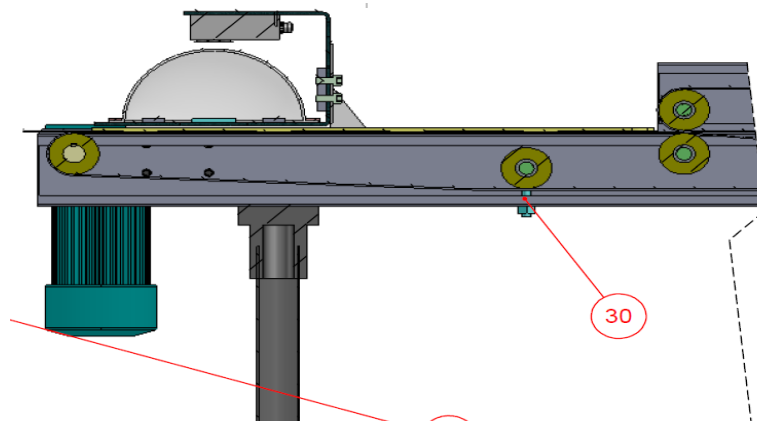


Figura 62 Diagrama sistema de montaje, cámara SICK.



Figura 63 Tarjeta tipo, utilizada para la evaluación.

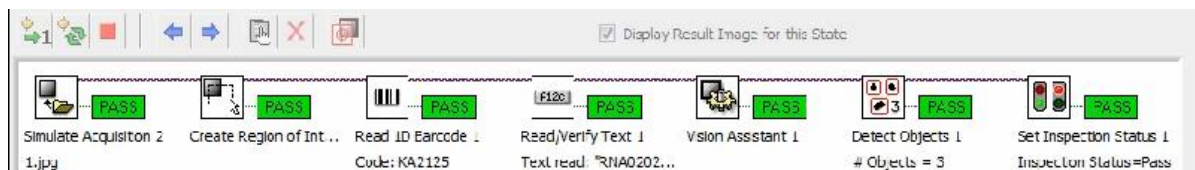
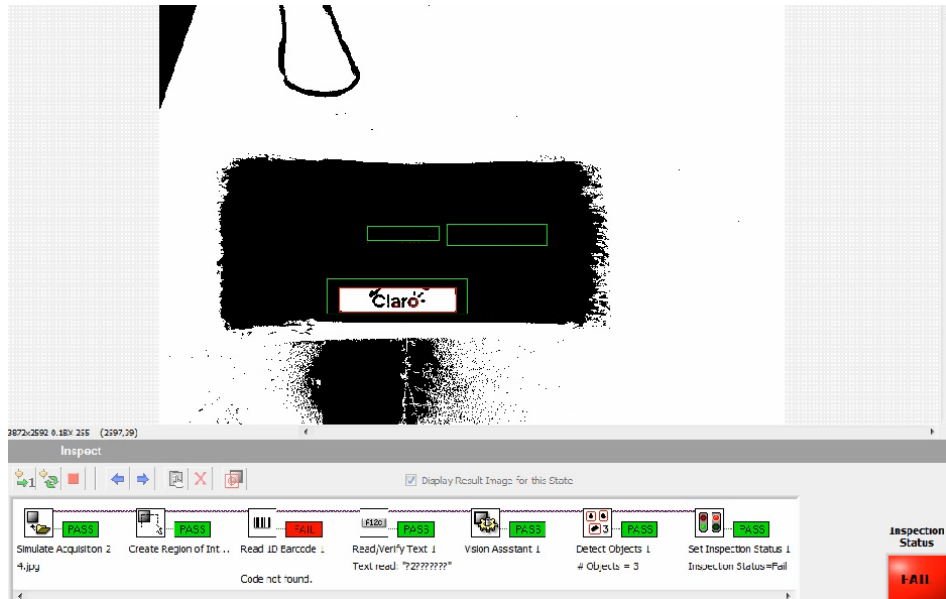


Figura 64 Secuencia de filtrado digital, plataforma Vision Builder.

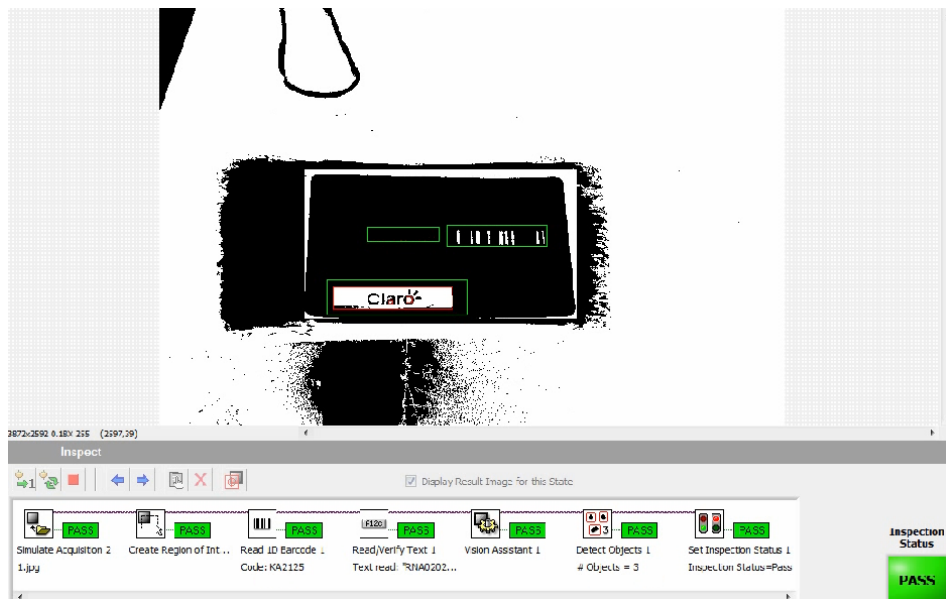
A continuación se realiza un listado de cada una de las funciones descritas a partir de la figura 85, posterior a la simulación de adquisición.

- Se establece una región general de interés (ROI), tarjeta.
- Se limita una subregión de interés (ROI) y se aplica la función de lectura de códigos de barra (función propia de vision builder)
- Se limita una subregión de interés (ROI) y se aplica la función de lectura de caracteres (función propia de vision builder)
- Se aplica una subrutina de Vision Assistant, estableciendo una extracción del plano verde, aplicando una inversión de color, limitando la visualización de objetos mediante un filtrado de threshold.
- Se aplica una detección de objetos requeridos a partir de la función Detect Objects.
- Estado de cumplimiento de cada paso de la secuencia (Set Inspection Status)

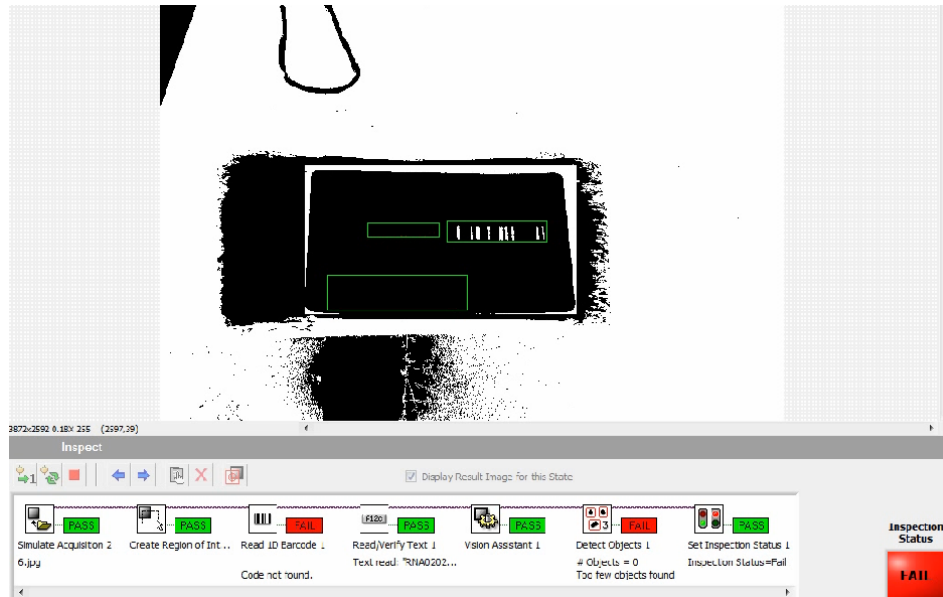
Las siguientes figuras evidencian tres escenarios diferentes; imagen sin número de serie (texto), imagen completa con los tres requerimientos, imagen sin código de barra ni símbolo de la marca.



**Figura 65** Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder.



**Figura 66** Evaluación positiva, secuencia de análisis plataforma Vision Builder



**Figura 67** Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder.

## 7.2. CONTEO DE POLLOS (PLANTA ARIZTÍA)

La empresa future and quality industrial systems (FyQ) proveedor de soluciones de la empresa Agroindustrial El Paico “Ariztía”, en función de un requerimiento basado en problemáticas con el sistema de contabilización mecánico de pollos faenados solicitó a National Instruments evaluar un sistema de conteo no invasivo.

***Problemática : Sistema de conteo actual ineficiente, sistema mecánico presenta fallas.***

Se realizó una visita técnica a la planta procesadora y se registraron secuencias de videos en diversas secciones de la cadena de proceso.

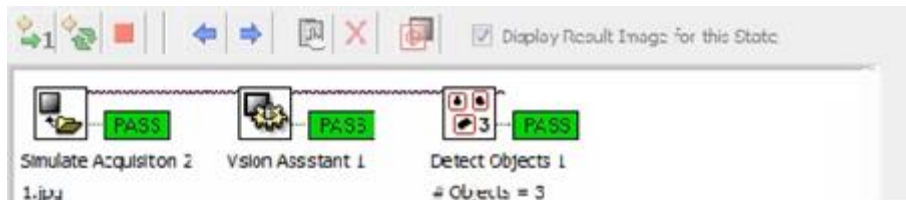
A partir de esta información se estableció un filtro digital con la capacidad de reconocimiento continuo, la figura 89 describe el montaje utilizado para el desarrollo.





**Figura 68** Visualización imagen RGB, pollos faenados (sala limpia).

La figura a continuación describe la secuencia de filtrado digital.



**Figura 69** Secuencia de filtrado digital, plataforma vision builder.

A continuación se realiza un listado de cada una de las funciones descritas a partir de la figura 90, posterior a la simulación de adquisición.

- Se aplica una subrutina de vision assistant, estableciendo un arreglo en base a brillo, contraste y filtro gamma. Posteriormente se realiza una extracción de plano HSL (Hue Plane).
- Se aplica una detección de objetos a partir de la función Detect Objects, estableciendo una cantidad mínima respecto al tamaño de los objetos visualizados.
- Estado de cumplimiento general respecto a cada paso de la secuencia (Set Inspection Status)

Las siguientes figuras evidencias tres escenarios de evaluación diferentes, con reconocimiento y sin reconocimiento del objeto a visualizar .

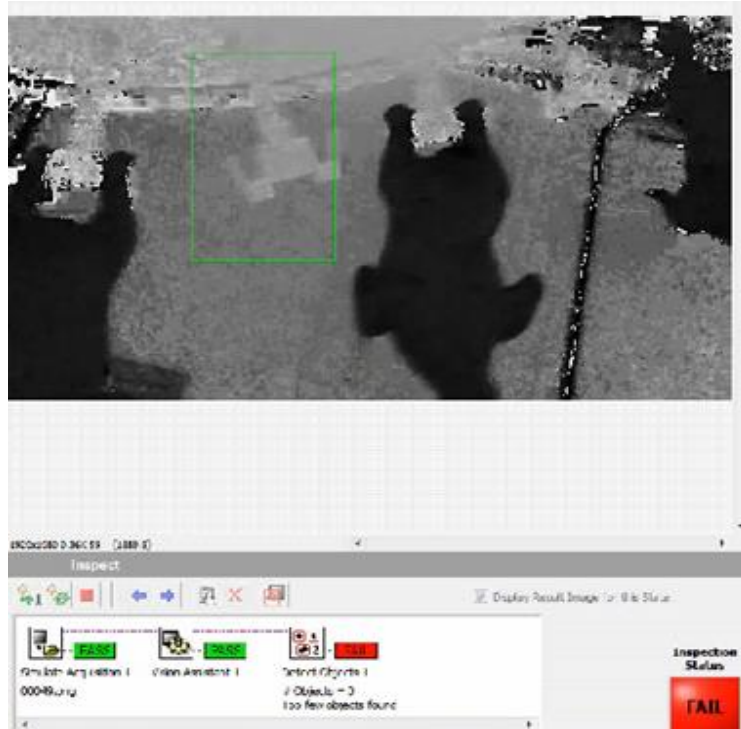


Figura 70 Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder.

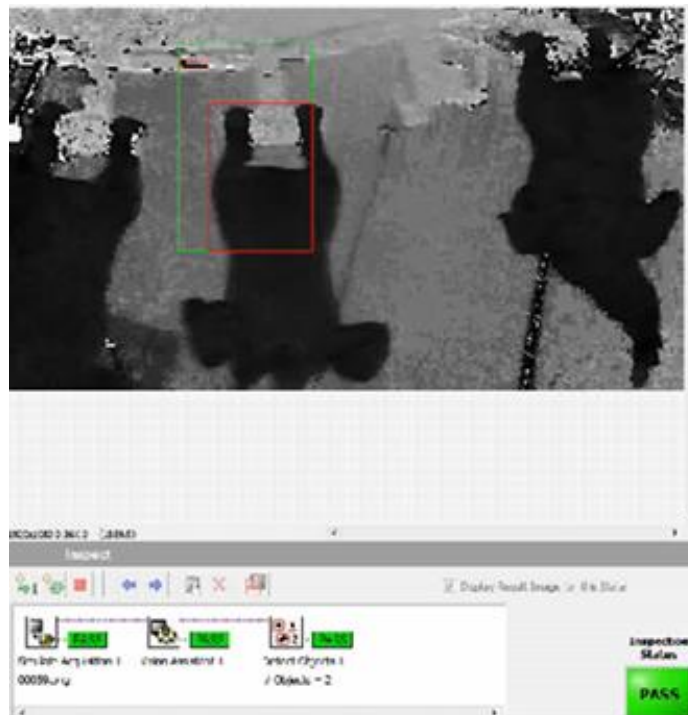


Figura 71 Evaluación positiva, secuencia de análisis plataforma Vision Builder.



Figura 72 Evaluación negativa, secuencia de análisis plataforma Vision Builder.

### 7.3. CARACTERIZACIÓN FUENTES DE TEMPERATURA

El laboratorio de calibración, perteneciente a la empresa Desarrollo de tecnologías y sistemas Ltda (DTS), en su calidad de laboratorio de calibración acreditado (INN) debe contar con la caracterización de cada una de las fuentes de temperatura utilizadas para la calibración de instrumentos, en función de una oportunidad de mejora el departamento de garantía de calidad autorizó idear un sistema de monitoreo continuo, con capacidad de registro simultáneo.

**Problemática : Mediciones registradas de forma manual, limitando el registro simultáneo, estableciendo caracterizaciones no representativas.**

La siguiente figuras describe la interfaz de usuario de esta aplicación

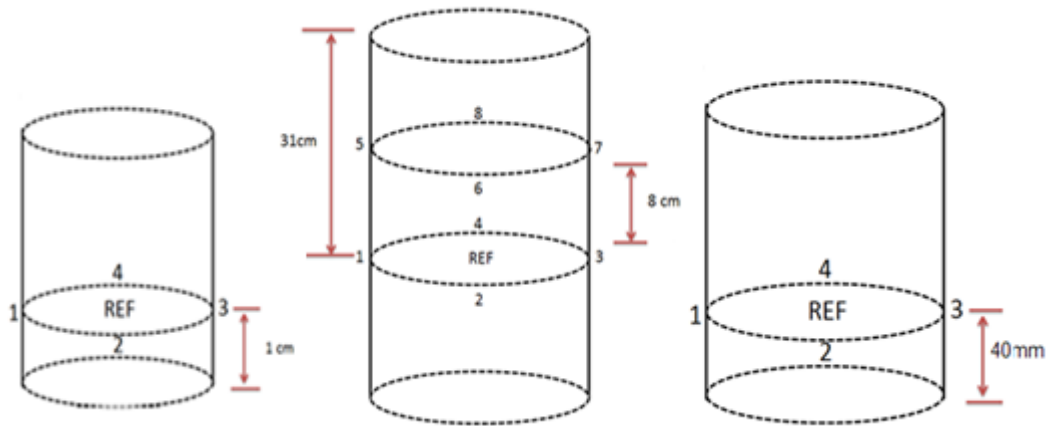


**Figura 73** Interfaz de usuario, sistema de caracterización.

La programación interna de este sistema se basa en una máquina de estados, la cual tiene tres funciones principales.

- Adquisición y filtrado de imagen, basado en reconocimiento de patrones numericos (indicación de cada instrumento patrón).
- Arreglo en base a la información numérica, proveniente del filtrado digital. Asignando cada valor a una etiqueta de reconocimiento (instrumento patrón asociado a cada medición).

- Arreglo final en base a una función Express para almacenar cada conjunto de valores en formato “.xls” a partir de sus respectivas columnas asignadas para cada instrumento patrón. Las siguientes figuras describen cada volumen caracterizado.



**Figura 74** Volúmenes caracterizados, Fluke-7103, Fluke-6331 e ISOTECH 1200.

La siguiente figura describe cada fuente de temperatura referenciada para esta aplicación.



**Figura 75** Baños y horno, Fluke-7103, Fluke-6331y ISOTECH 1200.

## 8 CONCLUSIONES

- **Análisis OffLine y OnLine**

La respuesta temporal, reconocimiento y conteo figuras presentan una tendencia proporcional en función del área de interés (ROI). Esta relación de proporcionalidad se aplica para cada una de las siguientes variables de análisis, tipo de procesador utilizado, tipo de filtrado, tipo de color (figura y fondo), tipo de cámara y despliegue de imagen.

La visualización de imagen (despliegue) siempre considera un tiempo adicional de procesamiento, aunque no se establece ninguna tendencia estándar respecto a este requerimiento temporal. Los valores obtenidos sí permiten concluir que al menos se requiere de un par de milisegundos adicionales para desplegar la imagen procesada a través de la interfaz de usuario.

El conteo de figuras presenta una respuesta directamente proporcional respecto del área de interés. La mayoría de las combinaciones analizadas a partir de las tres áreas de mayor dimensión alcanzan un conteo eficiente (mayor al 95% de exactitud), por el contrario sólo algunas combinaciones logran un conteo óptimo para las dos áreas menores (ambos análisis, OnLine y Offline), ahora bien es esta misma línea los mejores resultados corresponden a las figuras circulares (debido a su propiedad geométrica, invariante a la posición de visualización dentro del área de interés), por el contrario los resultados menos satisfactorios corresponden a la figura cuadrada.

Los filtros basados en reconocimiento de patrones establecen una herramienta de fácil confección, manipulación y reducido tiempo de análisis, sin embargo resulta estrictamente necesario destacar que este tipo de filtros digitales van de la mano con un escenario de visualización controlado, es decir, cualquier tipo de modificación afecta el reconocimiento, en esta misma línea resulta estrictamente necesario controlar y mantener el tipo de iluminación aplicada al escenario visualizado.

El mayor aporte de este trabajo radica en la metodología utilizada para evaluar el sistema de visión. Toda aplicación requiere de un análisis (offline) previo a su implementación, con la finalidad de destacar la factibilidad de evaluar diversos tipos de filtros digitales, permitiendo

establecer la mejor combinación respecto del escenario visualizado, tiempo de análisis requerido, objetos a destacar, velocidad y tipo de movimiento del proceso analizado (trayectoria), tipo de iluminación, tipo de cámara (funcionalidad, costo, índice de protección) y arreglo de coordenadas asociadas al tipo de movimiento descrito por los objetos bajo análisis.

- **Programación secuencial**

La flexibilidad que permite la programación secuencial y modular, en base al análisis de coordenadas, amplían los límites actualmente establecidos respecto de aplicaciones basadas en análisis estandarizados. Estos últimos responden a procesos con frecuencia de ocurrencia constante, lo cual sólo requiere sistemas de reconocimiento estáticos (frecuencia de adquisición fija), este tipo de sistemas no establecen comparaciones entre secuencia de imágenes analizadas. Es por esto que este sistema flexible de visión amplía el abanico de posibilidades de aplicaciones, ya que tiene la potencialidad de analizar procesos de frecuencia variable, a través del análisis de coordenadas. La única limitante considerable corresponde al tiempo de análisis (procesamiento de información), ya que para analizar procesos de mayor velocidad se requieren de cámaras de alta velocidad de adquisición, lo cual tiene una implicancia significativa respecto al tiempo de análisis requerido, ya que a mayor frecuencia de muestreo de imágenes menor es el tiempo disponible entre muestras para analizar y filtrar cada imagen.

A su vez la programación modular permite establecer pasos distinguibles y únicos para toda programación, permitiendo realizar una programación ordenada y de fácil comprensión. La programación basada en máquinas de estado permite establecer un orden lógico respecto al código de programación y establecer secuencias repetitivas a través de una programación desarrollada paso a paso.

Finalmente se aclara que si se establece una aplicación, la cual necesite utilizar muchos filtros de software, significa que la iluminación o posición de visualización (cámara) que se está utilizando no es la adecuada. Una óptima iluminación permitirá emplear menos filtros en la imagen y por lo tanto aumentar la velocidad de procesamiento de la aplicación, permitiendo dar cabida a nuevos análisis utilizando la información que se obtiene de la imagen, dando un valor agregado a la solución.

## 9 REFERENCIAS

- [1] <http://instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/213-introducci%C3%B3n-a-la-instrumentaci%C3%B3n-industrial-para-el-control-de-procesos.html?tmpl=component&print=1>
- [2] <http://www.cognex.com/products/machine-vision/in-sight-vision-systems/>
- [3] GUM- Evaluación de datos de medición, Guía para la expresión de la incertidumbre de medida
- [4] LabVIEW Core 1 Course Manual (2012)
- [5] NI Vision Assistant Tutorial 2013