

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,  
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACION Y SISTEMAS DE  
CONTROL**

**Tema:**

---

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN UN  
PROCESO DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL USANDO VISIÓN  
ARTIFICIAL.

---

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magister en  
Automatización y Sistemas de Control

**Autor:** Ingeniero, Jorge Enrique Salazar Castillo.

**Director:** Ingeniero, Darío Mendoza Chipantasi, Mg

Ambato – Ecuador

2019

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas,  
Electrónica e Industrial.**

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg., e integrado por los señores Ingeniero Geovanni Danilo Brito Moncayo, Mg., Ingeniero Franklin Wilfrido Salazar Noroña, Mg., Ingeniero Carlos Diego Gordon Gallegos, Dr., designados por la dirección de postgrado de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial.”, elaborado y presentado por el Ingeniero Jorge Enrique Salazar Castillo, para optar por el Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

---

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

**Presidente de Tribunal**

---

Ing. Geovani Danilo Brito Moncayo, Mg.

**Miembro de Tribunal**

---

Ing. Franklin Wilfrido Salazar Noroña, Mg.

**Miembro de Tribunal**

---

Ing. Carlos Diego Gordon Gallegos, Dr.

**Miembro de Tribunal**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Jorge Enrique Salazar Castillo, Autor bajo la Dirección de Ingeniero Darío Mendoza Chipantasi, Magister; Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing, Jorge Enrique Salazar Castillo

*cc 1718955238*

**AUTOR**

---

Ing, Darío Mendoza Chipantasi, Mg

*cc 0603110834*

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

---

Ing, Jorge Enrique Salazar Castillo  
*cc* 1718955238

## Índice general de contenidos

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	xiii
DEDICATORIA .....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
EXECUTIVE SUMMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Tema de investigación.....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Contextualización .....	3
1.2.2 Árbol del problema.....	4
1.2.3 Análisis crítico .....	4
1.2.4 Prognosis.....	4
1.2.5 Formulación del problema.....	5
1.2.6 Preguntas directrices.....	5
1.2.7 Delimitación del Problema: .....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos .....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
Antecedentes investigativos .....	8
2.2 Fundamentación filosófica.....	9
2.3 Fundamentación legal .....	10
2.4 Categorías fundamentales .....	10

2.5	Constelación de ideas.....	11
2.5	Fundamentación teórica.....	13
	Control de Calidad con Visión Artificial.....	13
	ESTADO DE ARTE DETECCION DE COLOR.....	14
	ESTADO DE ARTE DETECCION DE FORMA.....	16
	Estado de arte detección de defectos superficiales.....	18
	Estado de arte detección de medidas.....	22
2.6	Hipótesis.....	24
2.7	Señalamiento de variables de la hipótesis.....	24
	CAPÍTULO III.....	25
	MARCO METODOLÓGICO.....	25
3.1	Enfoque.....	25
3.2	Modalidad básica de la investigación.....	25
	3.2.1 Documentación Bibliográfica.....	25
	3.2.2 Documentación Experimental.....	26
3.3	Nivel o tipo de investigación.....	26
3.4	Población y muestra.....	26
	3.4.1 Población.....	26
	3.4.2 Muestra.....	27
3.5	Operacionalización de variables.....	28
	3.5.1 Variable independiente: técnicas de visión artificial.....	28
	3.5.2 Variable dependiente: sistemas de control que mejore la calidad final del producto.....	29
3.6	Recolección de información.....	30
3.7	Procesamiento y análisis.....	31
	CAPÍTULO IV.....	32
4.1	análisis e interpretación de resultados.....	32
4.2	Verificación de hipótesis.....	35
	4.2.1 Hipótesis planteada.....	35
	El error cuadrático medio RMSE.....	35
	CALCULO DEL RADIO DE LAS PIEZAS.....	36
	CALCULO DE LA DISTANCIA DE LAS PIEZAS.....	38

CAPÍTULO V .....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1 Conclusiones .....	40
5.1 Recomendaciones.....	40
CAPITULO VI.....	41
PROPUESTA.....	41
6.1 Datos informativos .....	41
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	41
6.3 Justificación.....	42
6.4 Objetivos .....	42
6.4.1 Objetivo general.....	42
6.4.2 Objetivos específicos .....	43
6.5 Análisis de factibilidad.....	43
6.5.1 Factibilidad operativa .....	43
6.5.2 Factibilidad técnica .....	43
6.5.3 Factibilidad económica .....	43
6.6 Metodología .....	44
6.7 Fundamentación .....	44
6.7.1 Descripción del diseño.....	44
6.7.1.2 Adquisición de imágenes.....	44
6.7.1.3 Desarrollo .....	45
6.7.2 Detección de color.....	49
6.7.2.1 Clasificación de color .....	49
6.7.2.2 Imágenes de muestra .....	50
6.7.2.3 Selección de color.....	51
6.7.3 Detección de forma .....	57
Clasificación de forma.....	57
Pattern Matching Techniques .....	57
6.7.3.1 Procedimiento detección de formas .....	58
6.7.3.2 Selección de medidas .....	65
¿Qué es medir? .....	65
Procedimiento detección de medidas .....	66

Encontrar puntos de medición usando la coincidencia de patrones. ....	66
Encontrar bordes en la imagen. ....	66
Tomando las medidas .....	68
6.7.4 Selección de defectos superficiales .....	71
6.7.5 Descripción de equipos.....	73
Elementos escogidos para desarrollar la aplicación .....	73
Brazo robótico .....	73
<i>Servomotor</i> .....	75
Características.....	75
Circuito para activar y detener la banda .....	77
Tarjeta arduino mega.....	79
6.7.6 Descripción general .....	80
Elección de fabricante .....	81
6.7.7 Propuesta económica .....	82
6.7.7.1 Presupuesto referencial .....	82
Costos directos para la ejecución del trabajo de titulación. ....	82
Costos Indirectos.....	83
<i>Tabla 9. Costos Indirectos</i> .....	83
Total, general de costos del proyecto.....	83
6.7.7.2 Análisis económico .....	84
6.8 Conclusiones y recomendaciones .....	85
6.8.1 Conclusiones.....	85
6.8.2 RECOMENDACIONES.....	85



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente.....	28
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente.....	29
Tabla 3. Plan de recolección de la información. ....	30
Tabla 4. Tabulación de resultados como se realiza el control de calidad. ....	32
Tabla 5. Tabulación de resultados satisfacción de sus clientes.....	33
Tabla 6. Tabulación de resultados implementación sistema de control de calidad automático.....	34
Tabla 7. Dimensiones y Peso del Brazo Robótico . ....	74
Tabla 8. Costos Directos .....	82
<i>Tabla 9.</i> Costos Indirectos.....	83
Tabla 10. Costo total del proyecto .....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del Problema.....	4
Figura 2. Inclusiones Conceptuales.....	10
Figura 3. Constelación de ideas variable independiente .....	11
Figura 4. Constelación de Ideas Variable dependiente .....	12
Figura 5. Placas radiográficas simuladas del seguro de un arma (s,0°) a la izquierda y (s,90°) a la derecha.....	18
Figura 6. Izquierda, malla de triángulo de la pieza de fundición correspondiente al seguro de un arma. Derecha, malla de superficie con textura.....	18
Figura 7. Superficies especulares.....	20
Figura 8. Superficies difusas .....	21
Figura 9. Mapa de Superficies .....	21
Figura 10. Imágenes de 6 x 6 mm sobre superficie de acero inoxidable, se observa el contraste de los defectos (óxido residual) sobre la superficie base.....	22
Figura 11. Gráfico de resultados como se realiza el control de calidad.....	32
Figura 12. Gráfico de resultados satisfacción de sus clientes .....	33
Figura 13. Gráfico de resultados implementación sistema de control de calidad automático.....	34
Figura 14. Sistema de Visión .....	39
Figura 15. Metodología.....	44
Figura 16. Vision Acquisition – Seleccionando fuente.....	45
Figura 17. NI Vision Acquisition Express .....	46
<i>Figura 18. Vision Acquisition – Configurando el modo de video. ....</i>	<i>47</i>
Figura 19. Panel Frontal modificado.....	48
Figura 20. Diagrama de bloques modificado .....	49
Figura 21. Muestras no ideales para la clasificación de color.....	50
Figura 22. Imágenes con un patrón de color texturizado .....	51
Figura 23. Diagrama de Bloques modificado. ....	52
Figura 24. Imagen del patrón a detectar.....	52
Figura 25. Vision Assistant .....	53
<i>Figura 26. Menu: Processing Functions Color .....</i>	<i>54</i>
Figura 27. Color classification setup.....	55

Figura 28. Color classification, training interface.....	55
<i>Figura 29. Indicadores de Vision Assistant.....</i>	<i>56</i>
Figura 30. Diagrama de bloques detección de color terminado.....	57
Figura 31. Diagrama de bloques detección de forma.....	58
Figura 32. Processing Functions .....	59
Figura 33. Color Plane Extraction Setup.....	60
Figura 34. Patter Matching.....	60
Figura 35. Seleccionando región de plantilla.....	61
Figura 36. Selección de área a ignorar de la plantilla del patrón.....	62
Figura 37. Detección de Patrones por escala de grises.....	63
Figura 38. Diagrama final detección de color y forma .....	64
Figura 39. Pattern Matching 1.....	64
Figura 40. Pattern Matching Setting .....	65
Figura 41. Detección de bordes de la imagen .....	68
Figura 42. Machine Vision »Caliper.....	69
Figura 43. Machine Vision »Caliper.....	70
Figura 44. Diagrama de bloques terminado detección de medidas.....	71
Figura 45. Diagrama ejemplo de detección de defectos de textura proporcionado por Labview .....	72
Figura 46. Diagrama final detección de defectos superficiales.....	72
Figura 47. Brazo robótico, con 6 grados de libertad .....	74
Figura 48. Volumen de trabajo del brazo, radio = 0,4m .....	75
Figura 49. Color y función de los cables del servomotor .....	75
Figura 50. Corte de un servomotor .....	76
Figura 51. Maqueta .....	77
Figura 52. Circuito emisor receptor de diodo infrarrojo, para detectar el cruce del objeto.....	78
Figura 53. Circuito en Labview para activar o desactivar el motor de la banda... 78	78
Figura 54. Objetos para el reconocimiento .....	79
<i>Figura 55. Tarjeta Arduino de interfaz de la maqueta con la computadora .....</i>	<i>79</i>
Figura 56. PC DELL Intel Core i7 .....	81
Figura 57. Vecindario de un píxel central (5). .....	89

Figura 58. Imagen inicial e imagen Final LBP. ....	90
Figura 59. Vector de características LBP.....	91
Figura 60. Vecindarios circulares .....	91
Figura 61. LBP frente a diferentes escalas de grises.....	92
Figura 62. Arreglo para obtener la correlación de f y w en un punto (x0,y0).....	93
<i>Figura 63.</i> Metal Gear Dual Ball Bearing Servo .....	95

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida, por darme las fuerzas para cumplir mis metas, a todos aquellos que me dijeron que no. gracias a ellos lo hice yo mismo.

También agradezco a todos los maestros del Programa de Maestría en “Automatización y Sistemas de Control”, por sus conocimientos que me orientaron en el estudio y en la investigación. Especialmente agradezco al Ing. Darío Mendoza, Director de Tesis quien como guía y orientador ha sabido conducir este trabajo para llegar a un feliz término.

Jorge

## **DEDICATORIA**

Con amor y respeto a mis padres y hermanos,  
cuya fe en mí, me enseñó a tener confianza en  
mí mismo.

**Jorge**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL / DIRECCION DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACION Y SISTEMAS DE CONTROL**

**TEMA:**

“Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial.”

**Autor:** Ing, Jorge Enrique Salazar Castillo.

**Director:** Ing, Darío Mendoza Chipantasi, Magister.

**Fecha:** 28 de agosto del 2018

**RESUMEN EJECUTIVO**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue desarrollar un método más eficiente que los controles de calidad tradicionales en la industria que conlleven a elevar los estándares de calidad en su producción.

Actualmente la tecnología de visión artificial utilizada en tareas de inspección tiene vital importancia en la producción de empresas industriales en todo el mundo, un control de calidad sirve para determinar si un producto fabricado cumple o no las especificaciones de fabricación requeridas.

El control de calidad en las empresas encuestadas, así como en la mayoría de las empresas de la industria se realiza actualmente en forma manual, por tal motivo se realizó el estudio y se propuso la implementación de un sistema de control de calidad utilizando visión artificial. El primer paso consiste en tomar muestras de los productos finales para hacer una base de datos que permita comparar los productos finales deseados con los productos finales adquiridos. Luego se toman fotografías de los productos fabricados y se ingresan al sistema para que el programa realice la

comparación, para pasar de un proceso manual a uno totalmente automático, y determine si es un producto que cumple las características preestablecidas.

Con la incorporación de la visión artificial en la fabricación industrial, ayudo a incrementar la productividad de una empresa, optimizar los recursos de sus instalaciones, reducir los costos de fabricación y aumentar la calidad final de un producto, también permitió:

- Examinar en tiempo real uno a uno los productos que se fabrican sin necesidad de reducir la velocidad de las líneas.
- Evitar el contacto físico con el producto durante la verificación.
- Garantizar que todos los productos están dentro de los márgenes de calidad admisibles.
- Apartar inmediatamente de la línea un producto defectuoso.
- Evitar quejas y devoluciones de los clientes.
- Ahorrar dinero en recursos humanos.

La inspección por muestreo, es decir, determinar la calidad de un lote analizando una pequeña porción de la producción, se ha utilizado como una solución de compromiso, pero debido a las cada vez más exigentes demandas de calidad del producto final, la inspección por muestreo no es la mejor solución.

Es en este contexto donde surge la necesidad de incorporar sistemas automáticos para el control de calidad, entre los que destacan la inspección visual mediante visión artificial. La capacidad de interpretar imágenes que tienen las personas es muy elevada, adaptándose con facilidad a nuevas situaciones. Sin embargo, las tareas repetitivas y monótonas causan fatiga y provocan que el rendimiento y la fiabilidad de la inspección realizada por los operarios decaigan rápidamente.

**Palabras claves:** Control, Calidad, Visión artificial, LabView, Defectos, Inspección, Automatización, Forma, Color, Producción Industrial



**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**

**FACULTY OF ENGINEERING IN SYSTEMS, ELECTRONICS AND  
INDUSTRIAL / POSTGRADUATE ADDRESS**

**MASTERS IN AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS**

**THEME:**

"Classification and quality control system in an industrial production process using artificial vision."

**Author:** Ing, Jorge Enrique Salazar Castillo.

**Directed by:** Ing, Darío Mendoza Chipantasi, Magister.

**Date:** August 28th, 2018

**EXECUTIVE SUMMARY**

The main objective of this research work was to develop a more efficient method than the traditional quality controls in the industry that lead to raising the quality standards in its production.

Currently the technology of artificial vision used in inspection tasks is vital in the production of industrial companies around the world, a quality control is used to determine whether a manufactured product meets or not the manufacturing specifications required

Quality control in the companies surveyed, as well as in most of the companies in the industry, is currently carried out manually, for this reason the study was carried out and the implementation of a quality control system using artificial vision was proposed. The first step is to take samples of the final products to make a database that allows to compare the final products desired with the final products purchased. Then photographs of the manufactured products are taken and entered into the system for the program to make the comparison, to go from a manual process to a

fully automatic process, and determine if it is a product that meets the pre-established characteristics.

With the incorporation of artificial vision in industrial manufacturing, it will help increase the productivity of a company, optimize the resources of its facilities, reduce manufacturing costs and increase the final quality of a product, it would also allow:

- Examine in real time one by one the products that are manufactured without the need to reduce the speed of the lines.
- Avoid physical contact with the product during verification.
- Ensure that all products are within acceptable margins of quality.
- Remove a defective product immediately from the line.
- Avoid complaints and returns from customers.
- Save money on human resources.

Inspection by sampling, that is, determining the quality of a lot by analyzing a small portion of the production, has been used as a compromise solution, but due to the increasingly demanding quality demands of the final product, the inspection by sampling It is not the best solution.

It is in this context where the need arises to incorporate automatic systems for quality control, among which stand out the visual inspection by artificial vision. The ability to interpret images that people have is very high, adapting easily to new situations. However, repetitive and monotonous tasks cause fatigue and cause the performance and reliability of the inspection performed by the operators to decline rapidly.

**Key words:** Control, Quality, Artificial vision, LabView, Defects, Inspection, Automation, Form, Color, Industrial Production

## INTRODUCCIÓN

Los países desarrollados permanentemente buscan aumentar su competitividad con la implementación de técnicas y mecanismos que mejoren la calidad de sus productos y servicios. Conocer las especificaciones establecidas por ingeniería del producto, mediante la inspección y análisis es tarea del Control de Calidad, que asegura el cumplimiento de estas especificaciones.

Para la resolución de problemas que no pueden ser detectados mediante un enfoque de control de calidad tradicional. Actualmente se dispone de un conjunto de metodologías tales como la visión artificial.

La idea de la visión artificial se trata de determinar de manera automatizada, que productos cumplen o no con las especificaciones de fabricación.

Comparado con el control tradicional, el control Automático tiene una ventaja práctica. No está limitado a la capacidad de apreciación visual de un operario que se ve condicionada por el cansancio y la velocidad con que tenga que realizarlo.

La idea del control de calidad usando visión artificial se trata de, determinar de manera automática, que productos fabricados cumplen con las especificaciones exactas de fabricación para lograr los objetivos de fabricación de la mejor manera posible, a partir de una base de conocimiento proporcionada por un operador humano.

Se plantea diseñar Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial, Mediante el software LABVIEW.

Este trabajo, se realizó consultando empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de productos industriales, quienes brindaron las facilidades motivadas por la futura implementación de lo aquí expuesto.

En el Capítulo 1, se describe de forma general el problema que se presenta en el proceso de control de calidad usando visión artificial, convirtiéndose éste en una oportunidad de investigación en el campo de fabricación industrial de productos o

piezas. También se realiza el análisis crítico del problema, se delimita el campo de investigación y se plantean los objetivos.

El capítulo 2 está dedicado a la descripción de los principales trabajos que se han desarrollado en el área de visión artificial, y que sirven de base para el desarrollo del sistema de visión artificial pretendido por el presente trabajo de investigación. También se analiza las diferentes teorías sobre control de calidad por clasificación y estado del arte del color, forma, defectos superficiales y medidas, parámetros importantes, a la hora de definir la calidad de un producto.

En el Capítulo 3 se define la metodología que sustenta la investigación, el nivel de investigación y la muestra, se realiza la operacionalización de las variables que me permitió definir las dimensiones, indicadores, ítems básicos, las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección de la información y posterior análisis y evaluación.

En el Capítulo 4 se describe el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, utilizando gráficas de Excel para mejor visualización de estos.

En el Capítulo 5 se describen las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación.

En el Capítulo 6 se realiza la descripción de la propuesta, en la cual se define el lugar de aplicación detallando claramente el objetivo general y los específicos que se van a cumplir, la factibilidad operativa, técnica y económica, posteriormente se describe el desarrollo de la propuesta con las conclusiones y recomendaciones, finalmente se encuentra la Bibliografía y los respectivos Anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

#### **1.1 Tema de investigación**

Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial.

#### **1.2 Planteamiento del problema**

##### **1.2.1 Contextualización**

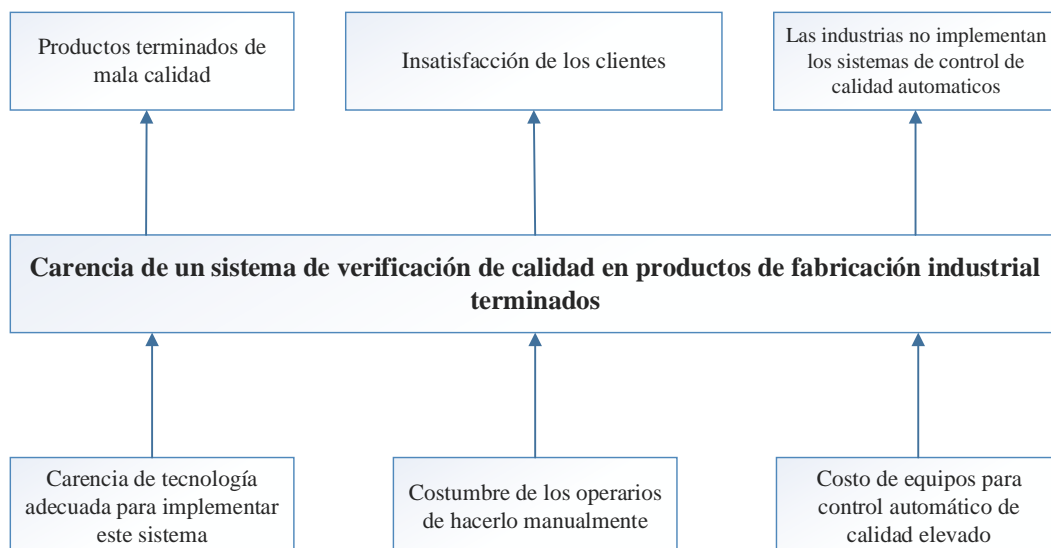
Los países desarrollados permanentemente buscan aumentar su competitividad con la implementación de técnicas y mecanismos que mejoren la calidad de sus productos y servicios. Conocer las especificaciones establecidas por ingeniería del producto, mediante la inspección y análisis es tarea del Control de Calidad, que asegura el cumplimiento de estas especificaciones.

Con la globalización y un mercado cada vez más competitivo, las industrias están obligadas a desarrollar métodos más eficientes que los tradicionales en el control de la calidad. Actualmente la tecnología de visión artificial utilizada en tareas de inspección tiene vital importancia en la producción de empresas industriales en todo el mundo.

En el Ecuador según estudios realizados un gran porcentaje de la industria emplea mecanismos de técnicas visuales en la inspección de la calidad mediante operarios. En industrias de altos niveles de producción por la gran demanda, este método se vuelve ineficiente y costoso, por el bajo desempeño de los operarios, por ser repetitivo y monótono.

En las Universidades y empresas, actualmente se investiga nuevas tecnologías que ayuden a optimizar los procesos de fabricación industrial local; el uso de técnicas de visión artificial son conceptos poco difundidos y utilizados en el control de calidad final.

### 1.2.2 Árbol del problema



*Figura 1.* Árbol del Problema

**Elaborado por el Investigador**

### 1.2.3 Análisis crítico

Actualmente, existen tecnologías orientadas a la optimización de los procesos de control de la calidad en las empresas industriales, tecnologías como visión artificial. Sin embargo, el desconocimiento y poca investigación hacen que las empresas limiten su capacidad de producción.

En los sistemas de inspección con operarios limitan el control de la calidad por el cansancio, distracción, cantidad de objetos a manejar, velocidad de interpretación, retrasan la toma de decisiones, provoca interrupciones en las líneas de producción, incrementa los tiempos de elaboración, lo que finalmente se traduce en altos costos y disminución de ingresos.

Con la utilización de métodos eficientes de inspección como visión artificial, mejoran su productividad y competitividad en el mercado.

### 1.2.4 Prognosis

La utilización de tecnologías nuevas en la automatización de procesos industriales

permite que las empresas elevar sus niveles de productividad, mejorar la calidad de sus productos, facilitar las actividades operativas, acciones que se traducen en menores costos de inspección y mayores ingresos, facilitando la expansión comercial de la empresa.

Si las empresas no implementan nuevas tecnologías, limitan su capacidad de producción, crecimiento empresarial y participación en nuevos mercados.

### **1.2.5 Formulación del problema**

¿Cuáles son los beneficios que se obtiene al desarrollar un sistema de control de calidad robusto y redundante para inspeccionar productos terminados en un proceso de fabricación industrial considerando color, forma, defectos superficiales y medidas, mediante el uso de técnicas de visión artificial?

### **1.2.6 Preguntas directrices.**

¿Cuáles son las fases en el diseño de un sistema de visión artificial?

¿Cuáles son las técnicas más utilizadas en la inspección de productos terminados en un proceso industrial?

¿Cómo desarrollar un sistema de control de calidad para inspección de productos terminados en un proceso de elaboración industrial mediante el uso de técnicas de visión artificial?

### **1.2.7 Delimitación del Problema:**

#### **1.2.7.1 Delimitación de contenidos**

**Área:** Ingenierías

**Línea de investigación:** Sistemas de control.

**1.2.7.2 Delimitación espacial.** - El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en los laboratorios de la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e

Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la Provincia de Tungurahua.

**1.2.7.3 Delimitación temporal.** - Se estima que esta investigación tenga una duración de seis meses a partir de la aprobación del tema planteado, por el Honorable Consejo Académico de la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

### **1.3 Justificación**

El estudio de este proyecto es para contribuir al proceso de fabricación de un producto; el interés es presentar una alternativa que aporte a la optimización de la etapa de control de calidad en la elaboración de dicho producto, haciendo cuatro análisis diferentes: color, forma, defectos superficiales y medidas.

Un control de calidad realizado visualmente por un operario humano, en algunos casos resulta ser una buena alternativa para clasificar productos óptimos y defectuosos, ya que proporciona tiempos de respuesta rápidos. Sin embargo, entre mayor es la precisión requerida y complejidad de diseño del producto este control está limitado a la capacidad de apreciación visual del operario que se ve condicionada por el cansancio y la velocidad con que tenga que realizarlo.

Por otro lado, un sistema de control de calidad automático, aunque representa un método eficiente implica un alto costo de implementación y mantenimiento.

Los sistemas de visión por computador representan un método alternativo de solución de problemas de control de calidad. Estos posibilitan realizar un análisis preciso de un objeto mediante la adquisición y procesamiento de imágenes computarizadas. Lo que implicaría un bajo costo de implementación por el ahorro en la adquisición de las herramientas y software de medición.

Los beneficiarios de la investigación vienen a ser directamente las fábricas, ya que se plantea una alternativa robusta para realizar el control de calidad. Un deficiente control de calidad provoca que se pasen por alto fallas en el acabado del producto,



comprometiendo la calidad y veracidad de la fábrica, debido a los elevados estándares de calidad que exige el mercado actual.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar e implementar un sistema de control de calidad robusto y redundante en función del color, forma, tamaño y defectos superficiales, asegurando así los resultados óptimos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Describir el estado del arte de las técnicas existentes para hacer el análisis de control de calidad de color, forma, defectos superficiales y medidas.
- Elaborar el programa para realizar el proceso de análisis de las piezas fabricadas considerando el color, forma, defectos superficiales y medidas.
- Desarrollar el código de control de un brazo robótico Lynx para la clasificación de piezas aprobadas y rechazadas.
- Realizar pruebas del sistema para verificar los resultados y validar la hipótesis.

## CAPÍTULO II.

### MARCO TEÓRICO

#### Antecedentes investigativos

Una vez realizadas las investigaciones pertinentes acerca del tema de investigación, en bibliotecas de las universidades y artículos publicados de Ingeniería Electrónica. Se han encontrado los siguientes trabajos relacionados con Sistemas de clasificación y control de calidad en un proceso de producción usando visión artificial.

- a) **Inspección visual automática** cuyo autor es Domingo Mery de la universidad Santiago de Chile, quien en sus conclusiones señala que “debido al gran adelanto tecnológico que han tenido los microprocesadores, es posible pensar en nuevas estrategias de inspección más sofisticadas, con las que se pueda procesar métodos más robustos en el tiempo requerido” (Domingo, 2014).
- b) **Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot** de Eddie Sobrado Malpartida y Julio C. Tafur Sotelo quienes concluyen que “la utilización de algoritmos de procesamiento de imágenes ha permitido tener una adecuada descripción e identificación de características de objetos en tiempo real” (Malpartida & Tafur, 2011).
- c) **Simulación sistema de clasificación de objetos basado en visión artificial** de Erick Gregorio Velásquez Hernández, quien en su trabajo realizado indica que “los sistemas de visión artificial efectúan tareas repetitivas con precisión y rapidez, permitiendo trabajar fuera del espectro visible, distinguiendo detalles no visibles por el ojo humano, lo que aporta numerosos beneficios, como el incremento de la calidad y rendimiento de la producción y reducción de costos por mano de obra” (Velasquez, 2014).
- d) **Diseño e implementación de una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L** de Verónica Marisol Gallo Caiza y Fernando

David Saá Tapia quienes concluyeron que “los principales beneficiarios de control de calidad con visión artificial es la industria manufacturera, donde es habitual la repetición de tareas en la fabricación en serie de piezas todas iguales” (Acuña, Gallo, & Saa, 2013).

- e) **Diseño e implementación de un prototipo de brazo robótico para aplicaciones de clasificación y reconocimiento de formas en el proceso de pale-tizado empleando procesamiento digital de imágenes** de Patricia Nataly Constante Prócel, quien señala que “aplicaciones como clasificación en base al color, reconocimiento por detalles o control de calidad pueden ser implementadas” (Procel & Nataly, 2012).
- f) **Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas** de Víctor Vargas Baeza este autor sostiene que “las técnicas de reconocimiento mediante un sistema de visión, actualmente tiene un gran desarrollo, debido a que son capaces de explotar el paralelismo inherente de algunos algoritmos de visión con arquitecturas especializadas. Representando una optimización de recursos económicos, así como el rendimiento de hardware y software” (Vargas, 2010).
- g) **Visión artificial para verificar el nivel de llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la facultad de ingeniería civil y mecánica** de Israel Jacinto Amancha Torres, en sus conclusiones sostiene que “la utilización de sistemas de visión artificial automático reduce el tiempo del control de calidad con respecto al control de calidad manual” (Carrillo & Amancha, 2014).
- h) Peter Corke en su libro *Robotics, Vision and Control*, sostiene que “la práctica de la robótica y la visión artificial invoca la aplicación de algoritmos computacionales a los datos”, los mismos que pueden ser aplicados al control de la calidad (Corke, 2017).

## **2.2 Fundamentación filosófica**

Este trabajo de investigación se ubica en el paradigma crítico propositivo, parte de problemas reales en nuestro medio, involucrados en proceso y producción de piezas industriales, con el fin de buscar nuevas alternativas tecnológicas que sirvan para el

control de la calidad y lograr que las empresas industriales sean más competitivas en el mercado con un producto de buena calidad.

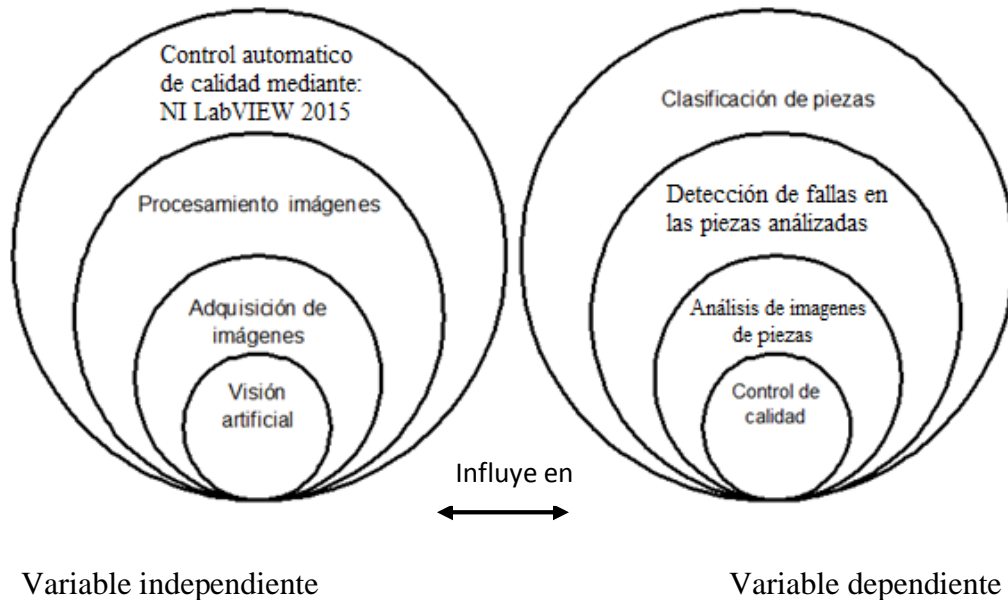
### 2.3 Fundamentación legal

Todos los materiales y trabajos que se ejecutaron se ajustan a las normas que se detallan a continuación. Normas que rigieron las presentes especificaciones técnicas aun cuando no estuvieren directamente expresadas.

A continuación, se detalla las normas para tener en cuenta en la ejecución del proyecto:

- NTE INEN ISO 9001:2009 Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- NTE INEN ISO 10014:09 Gestión de la calidad. Directrices para la obtención de beneficios financieros y económicos.

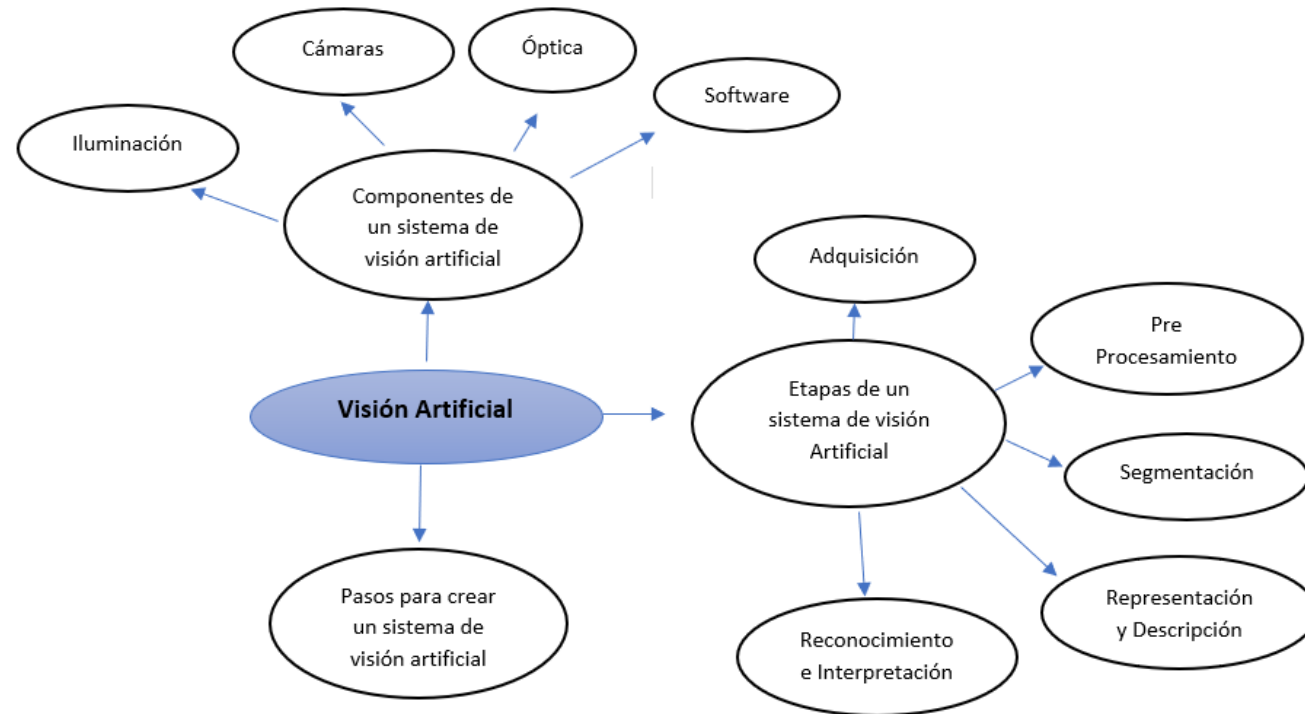
### 2.4 Categorías fundamentales



*Figura 2.* Inclusiones Conceptuales.

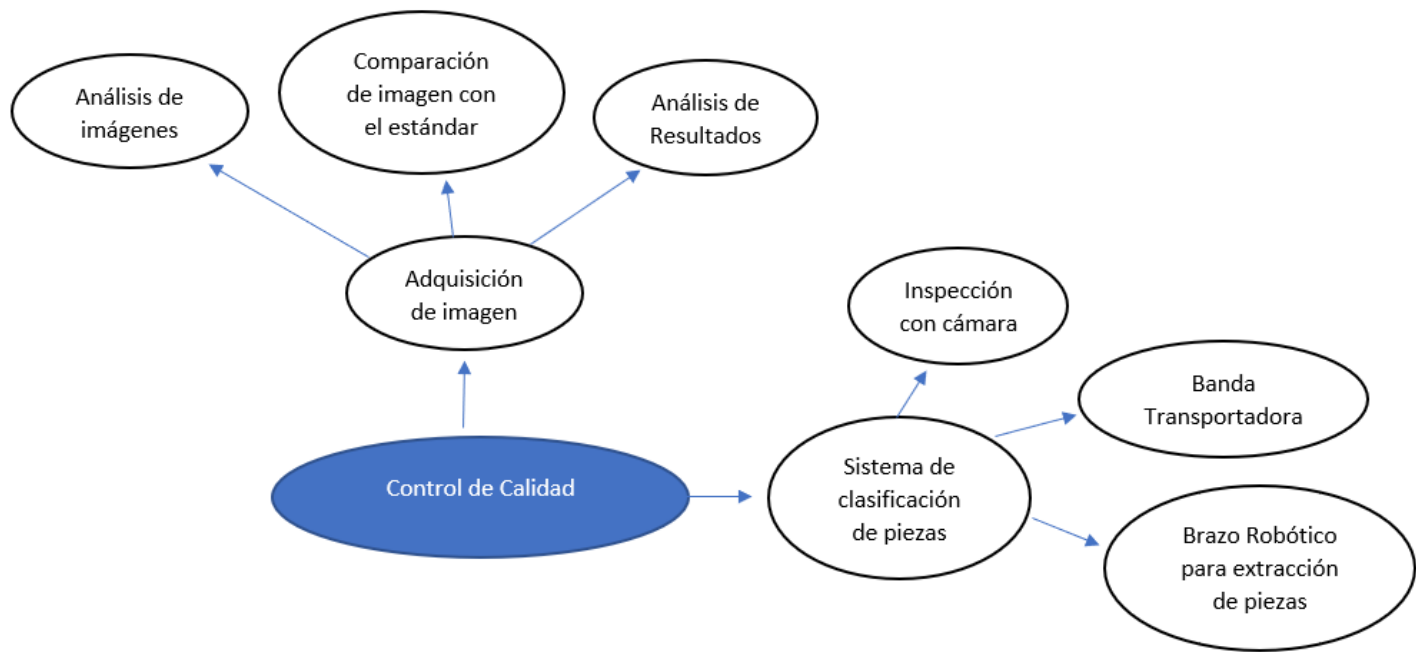
**Elaborado por el Investigador**

## 2.5 Constelación de ideas



*Figura 3.* Constelación de ideas variable independiente

Elaborado por el Investigador



**Figura 4.** Constelación de Ideas Variable dependiente

**Elaborado por el Investigador**

## **2.5 Fundamentación teórica**

### **Control de Calidad con Visión Artificial**

“Un Sistema de clasificación y control de calidad usando visión artificial se define como un proceso de control de Calidad que, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y Reconocimientos de patrones, determina automáticamente si un producto se Desvía de las especificaciones de fabricación. De esta manera, se pretende garantizar que los productos que pasen el control de calidad, cumplan Con las especificaciones que hayan sido establecidas en su producción, ya sea Por el fabricante mismo o bien por alguna norma reguladora. Estas Especificaciones se fijan de acuerdo a criterios de seguridad, funcionalidad o Estética (Domingo, 2014).”

Un sistema de clasificación y control de calidad usando visión artificial utilizado en el control de calidad de un producto, debe ser diseñado de tal forma que cumpla con las siguientes dos condiciones: Eficiencia: De acuerdo a las especificaciones de producción, se debe detectar –en lo posible– el total de productos defectuosos, rechazando simultáneamente la menor cantidad de productos en buen estado. Rapidez: La velocidad de inspección debe ser acorde a los ritmos de producción, de tal forma que la inspección no desacelere el proceso productivo (Domingo, 2014).

“Los estándares de calidad en la industria requieren de herramientas de inspección adecuadas que optimicen la producción. En este trabajo se presenta una metodología de inspección de productos mediante ensayo no destructivo para la detección de imperfecciones” (Castaño, Paggi, & Barbuzza, 2011).

“La inspección se realiza en base a un muestreo aleatorio de la superficie del material, proporcionando una estimación objetiva de la calidad superficial del producto, de la forma, las dimensiones, y el color correcto del producto terminado ayudando al operador en el ajuste fino del proceso de producción (VisionTir, 2018).”

“En la industria actual existe una creciente demanda de sistemas de inspección automáticos para controlar la calidad de los productos terminados. En este sentido,

los sistemas basados en visión por computador ofrecen soluciones innovadoras que permiten incrementar la fiabilidad y robustez del control de calidad frente a operadores humanos.”

“La tendencia actual de los sistemas industriales basados en visión es la utilización de productos comerciales, tanto a nivel de hardware como de software, en lugar del desarrollo de aplicaciones a medida. Esto, permite reducir el esfuerzo y riesgo del desarrollo de nuevos productos además de la rentabilización inmediata del producto adquirido (Martinez, Gomez, Gamez, & Sanchez, 2009).”

### **ESTADO DE ARTE DETECCION DE COLOR.**

El estándar de calidad INEN prevé varias normas para la evaluación del color.

- Para baldosas monocromáticas y de brillo uniforme la norma INEN 14411 prevé un método de ensayo para medir pequeñas diferencias de color basado en la norma ISO105-J03
- Para pinturas y barnices la norma INEN 4628-6 prevé un método para la evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la cantidad y tamaño de los defectos, y la intensidad de los cambios uniformes de aspecto.

La medición de color para el reconocimiento de patrones ha sido una de las tareas más estudiadas en el campo de la visión informática debido a la complejidad que requiere el diseño de una metodología robusta de factores como intensidad luminosa, ruido, entre otros factores.

Esta sección proporciona una descripción de las técnicas más avanzadas para la medición del color mediante el uso de imágenes digitales. La sensación de color producida en la retina por los rayos de luz reflejados por un cuerpo obedece a una adaptación biológica que permite al individuo extraer información del mundo físico que interactúa. El sistema ha sido interpolado a diferentes disciplinas donde el objetivo es producir el sistema visual humano en un sistema inteligente para realizar la clasificación, la calibración de las variables físicas, la medición de las variables físicas, los sistemas de control, el monitoreo del proceso industrial y las tareas de



vigilancia. La clasificación de color tiene aplicaciones directas en medicina como donde los autores desarrollan una metodología para detectar posibles anomalías en el estómago y el páncreas humanos dependiendo del color de los labios.

Otras aplicaciones resuelven la cuestión de la segmentación de la piel humana dada una imagen, aplicada al reconocimiento de enfermedades, el análisis de los genes, la detección de las caras humanas según J.W. Hsieh and LC Chen “presenta una aplicación para detectar el color de un coche basado en el color del chasis, para que esto sea posible, los autores proponen un problema de optimización que puede remover parte del ruido causado por los cambios de iluminación generados por el movimiento del vehículo o por el cambio fotométricos en el medio ambiente”. Sin embargo, emular el sistema visual humano es sensible a dos aspectos. En primer lugar, los inconvenientes del ruido que se presenta en cada uno de los píxeles que dan forma a la imagen, que es inducido por diferentes fenómenos fotométricos del ambiente (cambios en la iluminación de color, inter-reflectancia) y por los parámetros de cámara (ángulo de incidencia, calibración del instrumento). En segundo lugar, tenemos limitaciones del algoritmo de clasificación para calcular un espacio de separación basado en colores que dan forma a la imagen. Para dar una solución parcial primer problema, se introduce el concepto descriptor donde su objetivo es el pre-procesamiento de la observación para filtrar información indeseable presente en la imagen (ruido, información atípica).

Esto sugiere que la selección del descriptor de color es una tarea clave para aumentar el rendimiento del clasificador. Dependiendo de la aplicación y la naturaleza de la información, se debe utilizar el descriptor apropiado. Por ejemplo, el descriptor RGB (rojo, verde y azul) es sensible a los cambios de iluminación, para contrarrestar esto, puede utilizarse el descriptor RGB (una versión normalizada del descriptor RGB). Otro descriptor utilizado en la práctica es el YUV que tiene problemas con el fenómeno de luminancia. El descriptor de TSL que depende principalmente de componentes no azules es ampliamente utilizado en la visión por ordenador para la segmentación de piel que presentan muestras insignificantes de color azul, aunque este descriptor puede ser modificado como se muestra en, que propone un descriptor TSL donde los parámetros del modelo se calculan

adaptativamente en orden para proporcionar robustez al clasificador frente a colores de gama azul. Otra técnica interesante descrita en la literatura consiste en imponer las características de color de una imagen sobre otra, sin embargo, este método tiene la desventaja de requerir una imagen de referencia apropiada para aplicar la corrección a la imagen contaminada. En el paso de carga de separar los colores por clases, encontramos diferentes algoritmos de aprendizaje de máquina. Por ejemplo, las redes neuronales de varias clases tienen buenos resultados, por desgracia, presentan un rendimiento pobre en tiempo real, por otro lado, los métodos basados en el vecino más cercano ofrecen un buen rendimiento, pero no pueden aprovechar el potencial de la dependencia entre las dimensiones del color (procesos gaussianos, clasificador bayesiano lineal, máquinas de vectores de apoyo, modelo de mezcla gaussiana, árboles de decisión) ofrecen grandes ventajas para modelar volúmenes grandes de información con un grado razonable de eficiencia, sin embargo, el costo computacional es muy caro. Los clasificadores de color han sido extrapolados a campos diferentes del sector industrial para proporcionar soluciones o mejorar los índices de calidad de la actividad productiva, por ejemplo, la industria alimentaria selecciona granos, semillas, verduras y cereales utilizando clasificadores de color. Además, la industria Metalúrgica utiliza este enfoque para detectar los colores del carro, el color de la puerta, el color de cada pieza, la maquinaria, las herramientas. La industria de los semiconductores también beneficia como se enseña en, donde realizan control de calidad en la producción de LED, lente, películas transparentes, vidrio de hoja y plexiglás, aplicando la clasificación de color. En general, esta técnica puede encontrarse en otra línea industrial (Bejarano, Calvo, & Henao, 2017).

### **ESTADO DE ARTE DETECCION DE FORMA.**

El estándar de calidad INEN prevé varias normas para la evaluación de la forma geométrica de un objeto.

Para envases metálicos la norma INEN 189.75 prevé un método de ensayo para medir su forma y designación.

Para Materiales refractarios la norma INEN 0607:81 prevé un método de ensayo para medir Formas y dimensiones recomendadas de ladrillos y piezas de caras planas.

En un esfuerzo para automatizar la inspección de piezas, algunas empresas han recurrido a técnicas de visión por computadora.

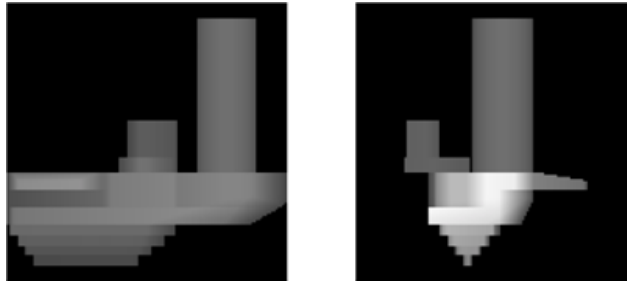
La investigación de la visión por computadora ha producido una serie de técnicas básicas para medir la forma de la superficie de un objeto:

**Estéreo visión, telémetros y técnicas fotométricas.** Estas técnicas usan la intensidad de la imagen para determinar la forma ya sea usando un mapa de reflectancia [11], o un modelo de reflectancia.

**El método llamado "cuatro estéreos fotométricos de luz".** Utiliza cuatro luces que iluminan secuencialmente el objeto por debajo para la inspección y una cámara de video para tomar imágenes del objeto.

La detección de defectos en piezas mecánicas u objetos en general mediante el uso de técnicas no destructivas tales como la radiografía, tomografía, entre otras, son de gran utilidad en áreas como control de calidad en procesos de fabricación.

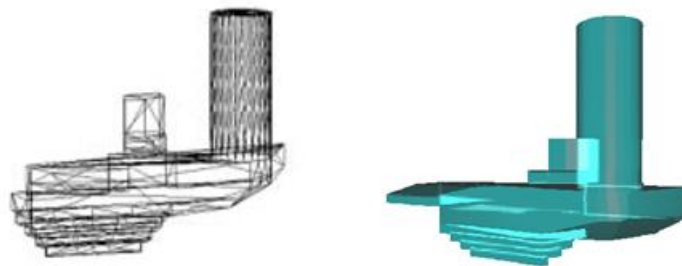
Actualmente, la mayoría de las técnicas utilizadas trabajan en la búsqueda de defectos por segmentación de imágenes radiográficas Figura 5, o tomográficas [Barbuzza, 2003][Mery,2002]. Una proyección radiográfica es una imagen que muestra a través de las intensidades el volumen del objeto atravesado por un haz de radiación.



**Figura 5.** Placas radiográficas simuladas del seguro de un arma ( $s,0^\circ$ ) a la izquierda y ( $s,90^\circ$ ) a la derecha.

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

A diferencia el control de calidad de manufactura con procesamiento tomográfico inteligente [2003] busca fallas o defectos por reconstrucción tomográfica usando la información geométrica de la pieza a analizar. En la Figura 6, se muestra un ejemplo de la malla de superficie de una pieza de fundición correspondiente al seguro de un arma.



**Figura 6.** Izquierda, malla de triángulo de la pieza de fundición correspondiente al seguro de un arma. Derecha, malla de superficie con textura.

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

### **Estado de arte detección de defectos superficiales.**

El estándar de calidad INEN prevé varias normas para la evaluación del estado superficial para baldosas monocromáticas y de brillo uniforme la norma INEN 14411 prevé un método de ensayo para medir pequeñas diferencias de color basado en la norma iso105-J03.

Para Tornillería. Tornillos y espárragos la norma INEN 1289:86 prevé un método de ensayo para medir discontinuidades superficiales la norma INEN 0610:81 prevé

un método de ensayo para medir Tratamientos superficiales y recubrimientos metálicos.

Para Baldosas cerámicas esmaltadas la norma INEN 2190:00 prevé un método de ensayo para la. Determinación de la resistencia a la abrasión superficial de baldosas esmaltadas.

La norma INEN NTE INEN 2004:95preveé Métodos para la determinación de la dureza del acabado superficial al rayado de muebles.

La norma INEN-ISO 4288 prevé un conjunto de Reglas y procedimientos para la evaluación del estado superficial. (ISO 4288:1996, IDT).

Hoy El sector de fabricación de piezas tiene unos requisitos de calidad muy altos y actualmente no existen sistemas automatizados que permitan realizar este tipo de control de calidad superficial con las precisiones necesarias (arañazos, porosidades, faltas de material, etc.), por lo que **se realiza de manera manual y unitariamente**, con los problemas que estas técnicas llevan asociadas de por sí, como las **duras condiciones de trabajo, cuantificación, monitorización de la producción y subjetividad** en el análisis del defecto. Y características de las piezas analizadas. (Secpho, 2017). Esta sección proporciona una descripción de las técnicas más avanzadas para la inspección y control de piezas.

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado diversas técnicas de medición de defectos superficiales. Dentro de ellas se pueden destacar los siguientes métodos:

Por ejemplo, la inspección y control de piezas cromadas ha sido tradicionalmente un problema debido a la dificultad visual de detectar los defectos superficiales que pueden aparecer durante el proceso de fabricación, tanto para personas como para equipos (Secpho, 2017).

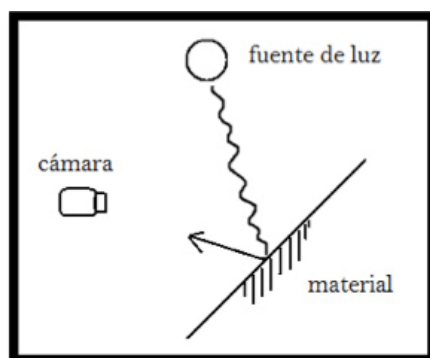
El método llamado "cuatro estéreos fotométricos de luz", utiliza cuatro luces que iluminan secuencialmente el objeto por debajo para la inspección y una cámara de video para tomar imágenes del objeto. Conceptualmente, el problema que estamos resolviendo tiene tres partes: forma

En la última década la tecnología denominada deflectometría se ha comenzado a aplicar en procesos de fabricación en las fases de control de calidad de piezas sencillas pintadas. Esta tecnología tiene una limitación muy importante sólo se puede aplicar en superficies con acabados especulares o muy reflectantes (Secpho, 2017).

El grupo de Visión Artificial junto a la empresa Ekide está trabajando en la detección de rechupes, bultos, abolladuras y ondulaciones de pequeñas dimensiones (del orden de 20um) que puedan existir en una superficie especular. Para ello, una de las técnicas que se están estudiando es la “Deflectometría”.

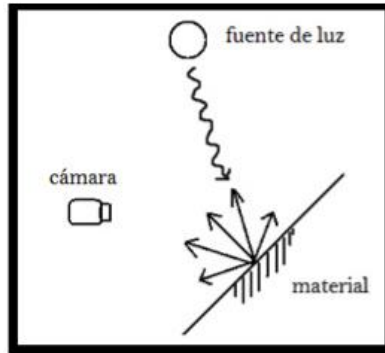
La Deflectometría es una técnica novedosa para medir el gradiente de una superficie especular, basada en la proyección de patrones de luz (“fringes”) generados por una pantalla LCD (Telekosmu, 2013).

Como se puede distinguir en las figuras 7 y 8, en el caso de superficies especulares, la luz que impacta en ellas se refleja en un ángulo determinado. En cambio, en el caso de superficies difusas, la luz que impacta en ella se refleja uniformemente.



**Figura 7.** Superficies especulares.

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

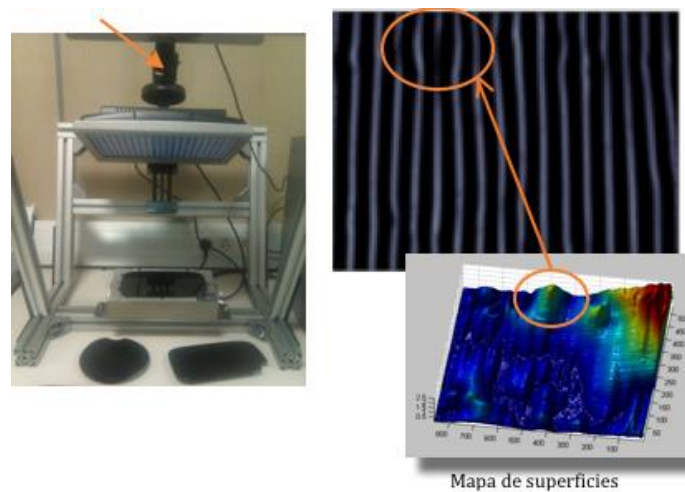


**Figura 8.** Superficies difusas

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

El cambio de gradiente de una superficie es proporcional al cambio de fase de los patrones de luz observados por una cámara (Telekosmu, 2013).

Como se observa en la Figura 6, se genera un mapa de superficies a partir de los desfases de las señales sinusoidales observadas por dicha cámara. Los cambios superficiales detectados son de tamaño micrométrico.



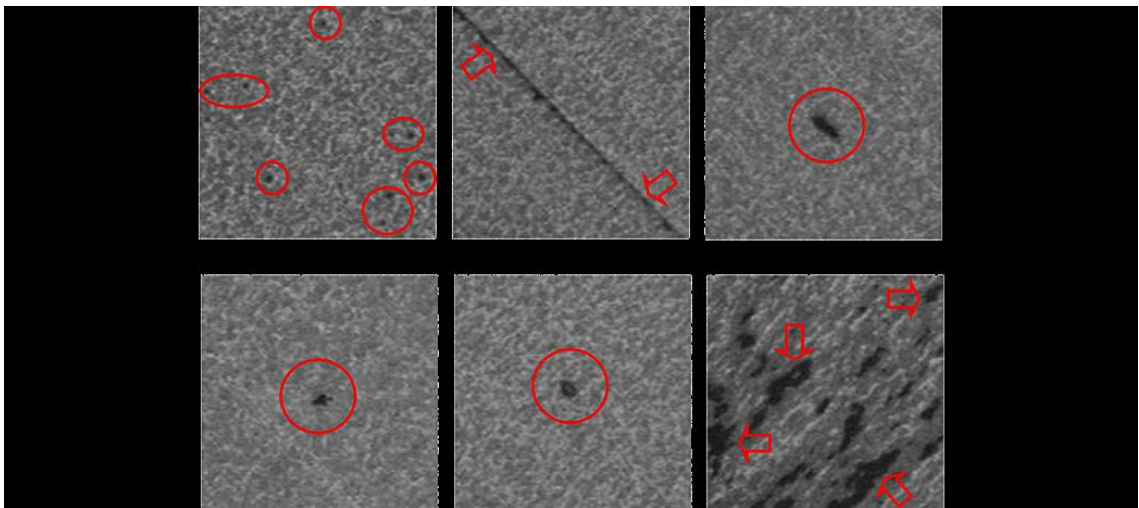
**Figura 9.** Mapa de Superficies

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

En el 2009 S. Satorres Martínez, J. Gómez Ortega, J. Gámez García y A. Sánchez García, desarrollaron el SISTEMA DE ILUMINACIÓN DINÁMICO BINARIO. Este es *un novedoso sistema de iluminación para resaltar imperfecciones*

*superficiales en piezas transparentes de geometría compleja. Gracias a este sistema, la extracción y caracterización de los defectos se realiza utilizando algoritmos de visión con un bajo coste computacional, Las imperfecciones en una superficie provocan importantes desviaciones en la reflexión de la luz y esta propiedad se emplea para poder detectarlas. Con las condiciones de la iluminación binaria, un defecto aparece en la imagen capturada como un conjunto de píxeles blancos sobre un fondo oscuro (Gomez, Satorres, Gamez, & Sanchez, 2009):*

En la actualidad La empresa visión TIR proporciona otra alternativa para la inspección superficial el, sistema MCQC100 para Inspección Visual Automatizada utilizando tecnología de visión multispectral para Detección de cualquier tipo de defecto que contraste con el material base inspeccionado. La inspección se realiza en base a un muestreo aleatorio de la superficie del material proporcionando una estimación objetiva de la calidad superficial del producto (VisionTir, 2018). Figura 10



**Figura 10.** Imágenes de 6 x 6 mm sobre superficie de acero inoxidable, se observa el contraste de los defectos (óxido residual) sobre la superficie base.

**Fuente:** (Acuña, Gallo, & Saa, 2013)

### **Estado de arte detección de medidas**

La norma INEN-ISO 4288 prevé un conjunto de Reglas y procedimientos para la Especificación geométrica de producto (GPS)



Las mediciones se hacen con palpadores en muchos casos estos son analógicos por el costo que representa adquirir palpadores digitales debe tenerse en cuenta que una herramienta desgastada o velocidades incorrectas y así sucesivamente, puede llevar a la existencia de errores de apreciación del operario.

La principal causa de que los procesos no cumplan siempre con las especificaciones de calidad fijada es la variabilidad en los sistemas de operaciones y medición (Prezi, 2015).

Por ello se hace necesario: Ajustar o reajustar los equipos de medición para cumplir con estándares internacionales de medición como (La norma ISO 9001:2008), Calibrar o verificar los equipos a intervalos planificados, utilizando patrones trazables internacionalmente (Prahalad, 2015).

A lo largo de los últimos años se han desarrollado diversas técnicas de medición de dimensiones. Dentro de ellas se pueden destacar los siguientes métodos:

- Inspección visual automática (AVI) [Domingo Mery 2002] se define como un proceso de control de calidad que, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones, determina automáticamente si un producto se desvía de las especificaciones de fabricación [New95].
- Control de calidad de manufactura con Procesamiento tomográfico inteligente [A. Castaño, P. Paggi, R. Barbuzza, M. Vénere,2002].
- técnica de detección de fallas de manufactura por reconstrucción tomográfica usando la información geométrica de la pieza a analizar. Esencialmente, la información sobre la pieza viene dada por el diseñador, y es descripta.
  - mediante una triangulación de su superficie.
- Control of Parts Produced by Numerical Control Machining [I. R. SMITH,1971]

"Sin embargo, se debe tener en cuenta que una máquina herramienta controlada numéricamente sigue siendo una máquina herramienta en su forma básica,

reaccionará de la misma manera que una máquina convencional gastada o con cortadores incorrectos, refrigerante incorrecto, ajuste incorrecto, Velocidades incorrectas y demás”.

## **2.6 Hipótesis**

Usando técnicas de visión artificial modernas para el análisis de procesos de producción, que facilitan la implementación de un sistema de control que mejore la calidad final del producto.

## **2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis**

Variable independiente:      Técnicas de visión artificial

Variable dependiente: Sistemas de control que mejore la calidad final del producto.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO.**

#### **3.1 Enfoque**

La orientación principal del proyecto está centrada en la recopilación de datos para mejorar el método de revisión y clasificación de piezas por color, forma, defectos superficiales y medidas, con la finalidad de ayudar al control de calidad en las empresas de procesos industriales. La metodología predominante es cuantitativa, porque se deben manipular un número de variables independientes para ejercer control sobre ellas, así mismo, lograr variables dependientes encargadas de mostrar los resultados de este proceso.

Con la recopilación de datos y el uso de la observación de estos, será posible identificar cada una de las variables que afecten al proceso industrial. Usando tablas, se puede confrontar, priorizar, y seleccionar alternativas eficientes en la solución de problemas con métodos más precisos y confiables en el control de la calidad.

#### **3.2 Modalidad básica de la investigación**

##### **3.2.1 Documentación Bibliográfica**

Una porción significativa del proyecto se fundamenta en la investigación bibliográfica, lo cual permite realizar un estudio profundo del tema de sistemas de visión artificial. La recopilación de la información necesaria actual desarrollada por diferentes teorías y reflexiones sobre el problema planteado en el presente proyecto. Todo esto con el uso de diferentes fuentes de información como libros, investigaciones previas, y sitios web.

Se investigará diferentes métodos desarrollados por sistemas de visión artificial para la selección de piezas según sea el caso.

### **3.2.2 Documentación Experimental**

El desarrollo de este proyecto se orientará hacia la investigación exploratoria, debido a que es necesario realizar diferentes pruebas, resultantes de un conjunto de variables de tipo experimental, que requieren manipulación y observación en su comportamiento, el resultado nos dará las características necesarias para corregir y perfeccionar el sistema que pretendo desarrollar.

### **3.3 Nivel o tipo de investigación**

De acuerdo con las condiciones metodológicas establecidas para el proyecto, este estudio reúne las características de una investigación aplicada, en la que se utilizarán técnicas de procesamiento de imágenes y conocimiento fundamentado en sistemas de visión artificial, en la que se incluirá técnicas de iluminación, orientación de objetos y procesamiento de imágenes. Todo encaminado control de calidad en las diferentes empresas dedicadas a procesos de fabricación industrial.

Esta investigación reúne todos los rasgos detallados en un nivel exploratorio, correlacionado y descriptivo.

En el nivel exploratorio se señalará la calidad del problema, la observación se realizará desde un contexto específico para conocer y analizar sus características principales. Con la descripción, se comprobará las diferentes variables de estudio, comprendiendo los motivos que afectan al sistema por su variación. En la determinación de correlación que guardan las variables, se usarán tablas de comparación y técnicas estadísticas, para profundizar la investigación.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población de estudio de la presente investigación está orientada especialmente a la búsqueda de información acerca de métodos de control de calidad utilizados

en las empresas de fabricación industrial.

### **3.4.2 Muestra**

La muestra del estudio se basará principalmente en la revisión de piezas fabricadas por el color, forma, defectos superficiales y medidas, mediante el uso de cámaras, brazos robóticos y técnicas de visión artificial.

### 3.5 Operacionalización de variables

#### 3.5.1 Variable independiente: técnicas de visión artificial

**Tabla 1.** Operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADOR	ITEM	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Conjunto de métodos correlacionados destinados a un procedimiento de adquisición de imágenes, sin contacto y mediante técnicas ópticas, donde se realiza el análisis e interpretación automática de las mismas.	Adquisición de imágenes	Número de imágenes capturadas.	de ¿Los equipos elegidos estarán en la capacidad de adquirir la suficiente cantidad de información de datos?	Aplicación práctica
	Técnicas ópticas	Calidad, tiempo y control.	de ¿Cuáles son las técnicas de interpretación de imágenes utilizadas?	Aplicación práctica
	Análisis e interpretación automática de imágenes.	Número de imágenes procesadas	de ¿Será segura, rápida y confiable la información procesada que se pretende analizar e interpretar?	Aplicación práctica

**Fuente:** Autoría propia

### 3.5.2 Variable dependiente: sistemas de control que mejore la calidad final del producto

**Tabla 2.** Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADOR	ITEM	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Ejecución de un conjunto de procedimientos de verificación de la calidad que permita controlar y mejorar las actividades que conforman el proceso de fabricación industrial.	Procesos operativos	Porcentaje de desechos	de ¿Considera usted que se debería trabajar bajo un sistema de control de calidad?	Entrevistas a los operarios del área de producción.
	Métodos	Porcentaje de eficiencia del sistema.	de ¿Los equipos elegidos estarán en la capacidad de procesar la suficiente cantidad de información de datos?	Aplicación práctica.
	Calidad	Número de piezas defectuosas	de ¿Cree usted que un sistema de control de calidad ayudará a corregir errores en el área de producción?	Entrevistas a los operarios del área de producción.

**Fuente:** Autoría propia.

### 3.6 Recolección de información

Para la recolección de la información necesaria en el desarrollo del proyecto, se realizarán visitas de campo a las empresas, en las cuales se mantendrá un diálogo con las personas involucradas en los procesos de fabricación y control de la calidad; solicitando información relacionada a los factores que inciden en el problema y así analizar la factibilidad de crear un sistema de control de calidad, basada en color, forma, defectos superficiales y medidas.

Además, se elaborarán tablas de datos de las pruebas realizadas en laboratorio comprobando la fidelidad del sistema de control de calidad basado en visión artificial.

**Tabla 3.** Plan de recolección de la información.

<b>Información básica.</b>	<b>Definición.</b>
¿Por qué investigar?	Para alcanzar los objetivos del proyecto
¿Quiénes proporcionaran la información?	Operarios de las empresas industriales.
¿Cuándo se va a investigar?	Agosto del 2017
¿Dónde se va a investigar?	Empresas industriales ciudad de Quito y Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
¿Cuántas veces?	2
¿Qué instrumentos se van a utilizar?	Guía de entrevista, Computadora, cámara de alta resolución y brazo robótico.
¿En qué escenarios?	Citas previas para entrevista y practica del desarrollo del trabajo experimental.

**Fuente:** Autoría propia.



### **3.7 Procesamiento y análisis**

Los datos recogidos se analizarán de acuerdo con los siguientes procedimientos:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
- Manejo de información (reajuste de cuadros con casillas vacías o con datos tan reducidos cuantitativamente, que no influyen significativamente en los análisis).

Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 análisis e interpretación de resultados.

#### 1. ¿Actualmente como realizan el control de calidad de las piezas trabajadas?:

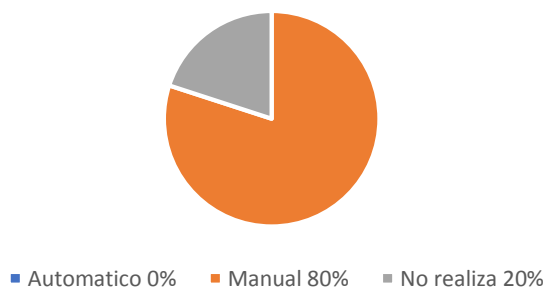
**Tabla 4.** Tabulación de resultados como se realiza el control de calidad.

Respuesta	Población	%
Automáticamente	0	0
Manualmente	8	80
No realiza	2	20
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

Fuente: Investigación de campo. Encuesta.

Elaborado por: investigador.

#### ¿Actualmente como realizan el control de calidad de las piezas trabajadas?



**Figura 11.** Gráfico de resultados como se realiza el control de calidad.

Los datos demuestran que un alto porcentaje de empresas de metal mecánica realizan el control de calidad manualmente, y en algunos casos no realizan este control. El control de calidad automático no se realiza en ninguna forma en las industrias entrevistadas.

## 2. Como realizan el control de medidas, forma, color y defectos superficiales.

Los entrevistado respondieron que el control de las medidas se realiza manualmente con herramientas de medición como palpadores, calibradores, micrómetros, compas, metro, etc.

Para el control de forma, color y defectos, generalmente se lo realiza visualmente, palpando y manualmente.

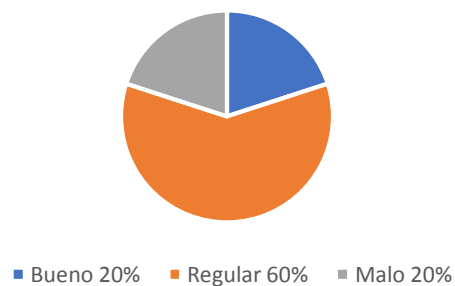
## 3.Cuál es el porcentaje de satisfacción de sus clientes.

**Tabla 5.** Tabulación de resultados satisfacción de sus clientes.

Respuesta	Población	%
Bueno	2	20
Regular	6	60
Malo	2	20
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

Fuente: Investigación de campo. Encuesta.

**Porcentaje de satisfacción de sus clientes**



**Figura 12.** Gráfico de resultados satisfacción de sus clientes

Al preguntarse el grado de satisfacción de sus clientes, manifestaron que se encuentran regularmente satisfechos en mayor porcentaje, en menor porcentaje con una buena aceptación de sus productos, y en igual porcentaje con una mala aceptación y rechazo de los productos.

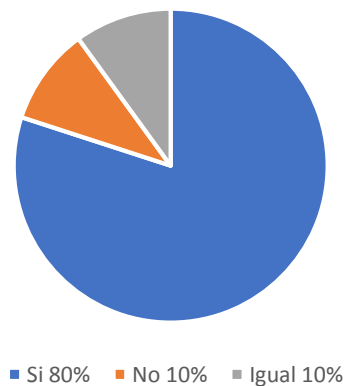
**4. Cree usted que, implementando un sistema de control de calidad automático, mejoraría los indicadores de satisfacción de sus clientes:**

**Tabla 6.** Tabulación de resultados implementación sistema de control de calidad automático

Respuesta	Población	%
Si	8	80
No	1	10
Igual	1	10
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

Fuente: Investigación de campo. Encuesta.

**Implementando un sistema de control de calidad automático, mejoraría los indicadores de satisfacción de sus clientes**



**Figura 13.** Gráfico de resultados implementación sistema de control de calidad automático

Un alto porcentaje de entrevistados coincidieron que la implementación de un sistema de control de calidad automático, cualquiera sea el método de control empleado, mejoraría la calidad de sus productos y la satisfacción de sus clientes, muy pocos manifestaron que da igual si se implementa o no un control automático de calidad.

**5. ¿Si su respuesta es sí, a la implementación de un sistema de control automático, cómo mejoraría?**

La mayoría de entrevistados coincidieron en que mejora el tiempo de fabricación y la exactitud de los parámetros requeridos o solicitados por el cliente.

Además, disminuirían los costos de producción mejorando la rentabilidad de la empresa.

## 4.2 Verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se realizaron varias pruebas de medidas, color, forma y defectos superficiales en el prototipo diseñado para comprobar las variables de estudio, aplicando para el caso de la validación de las medidas el método del *error cuadrático medio (RMSE)*.

### 4.2.1 Hipótesis planteada

Usando técnicas de visión artificial modernas para el análisis, facilitan la implementación de un sistema de control que mejore la calidad final del producto.

#### El error cuadrático medio RMSE

El error cuadrático medio (RMSE) mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido. También se lo conoce como Raíz de la Desviación Cuadrática Media

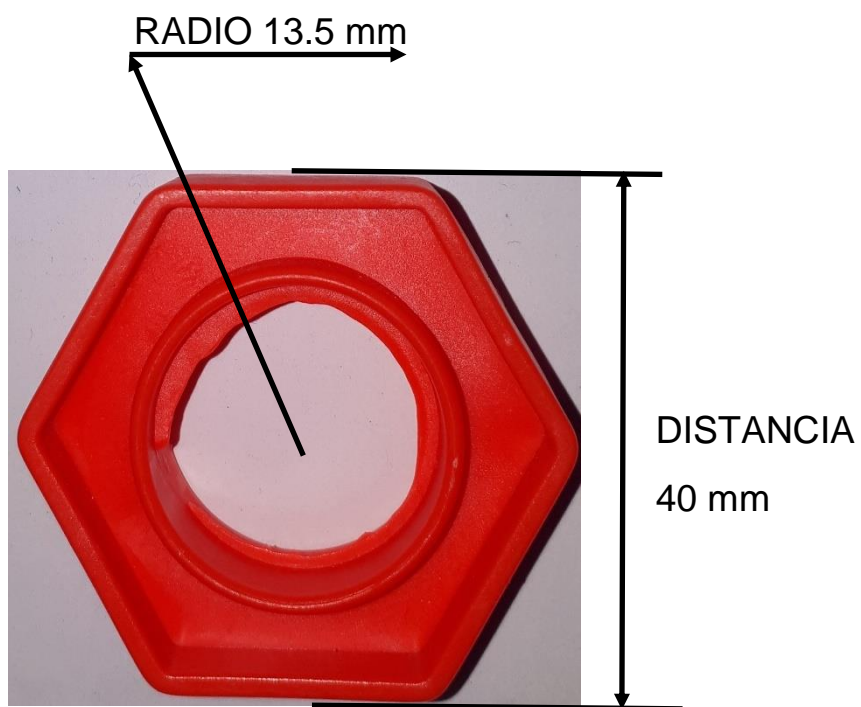
RMSE cuantifica cuán diferente es un conjunto de valores. Cuanto más pequeño es un valor RMSE, más cercanos son los valores predichos y observados (Gabri, 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

**P<sub>i</sub>** = Valor predicho

**O<sub>i</sub>** = Valor observado

**N** = Número de muestras



Para calcular el error cuadrático medio tomamos 10 mediciones de cada muestra.

### CALCULO DEL RADIO DE LAS PIEZAS

<b>RADIO DEL HEXAGONO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
10,56200	13,50	-2,93800	2,59390
9,86491	13,50	-3,63509	
11,09420	13,50	-2,40580	
15,14700	13,50	1,64700	
11,34050	13,50	-2,15950	
10,30360	13,50	-3,19640	
10,49640	13,50	-3,00360	
16,33538	13,50	2,83538	
12,40680	13,50	-1,09320	
11,55050	13,50	-1,94950	
10,18800	13,50	-3,31200	

<b>RADIO DEL CUADRADO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
12,12200	13,50	-1,38000	1,93710
11,19340	13,50	-2,31000	
15,30380	13,50	1,80000	
12,93000	13,50	-0,57000	
14,40470	13,50	0,90000	
14,91850	13,50	1,42000	
11,47060	13,50	-2,03000	
14,68040	13,50	1,18000	
9,87325	13,50	-3,63000	
15,78690	13,50	2,29000	

<b>RADIO DEL TRIANGULO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
10,87450	11,00	-0,12550	2,60061
14,10020	11,00	3,10020	
13,49550	11,00	2,49550	
11,51180	11,00	0,51180	
11,40800	11,00	0,40800	
14,47150	11,00	3,47150	
9,981330	11,00	-1,01867	
6,143870	11,00	-4,85613	
10,77430	11,00	-0,22570	
14,82450	11,00	3,82450	

<b>RADIO DE LA CRUZ [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
10,14860	11,50	-1,35140	2,55138
8,38745	11,50	-3,11255	
9,99615	11,50	-1,50385	
13,72150	11,50	2,22150	
14,14600	11,50	2,64600	
8,16666	11,50	-3,33334	
10,31940	11,50	-1,18060	
9,73538	11,50	-1,76462	
9,37606	11,50	-2,12394	
7,11216	11,50	-4,38784	

### CALCULO DE LA DISTANCIA DE LAS PIEZAS

<b>DISTANCIA DEL HEXAGONO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
38,37480	40,00	-1,62520	2,20419
41,22610	40,00	1,22610	
41,14800	40,00	1,14800	
40,94000	40,00	0,94000	
37,57380	40,00	-2,42620	
40,88710	40,00	0,88710	
39,23280	40,00	-0,76720	
42,11000	40,00	2,11000	
38,05700	40,00	-1,94300	
41,58950	40,00	1,58950	

<b>DISTANCIA DEL CUADRADO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
42,02840	40,00	2,03000	2,83052
43,73180	40,00	3,73000	
43,54190	40,00	3,54000	
37,38290	40,00	-2,62000	
43,26840	40,00	3,27000	
43,14730	40,00	3,15000	
37,53800	40,00	-2,46000	
37,02150	40,00	-2,98000	
40,34130	40,00	0,34000	
37,34550	40,00	-2,65000	

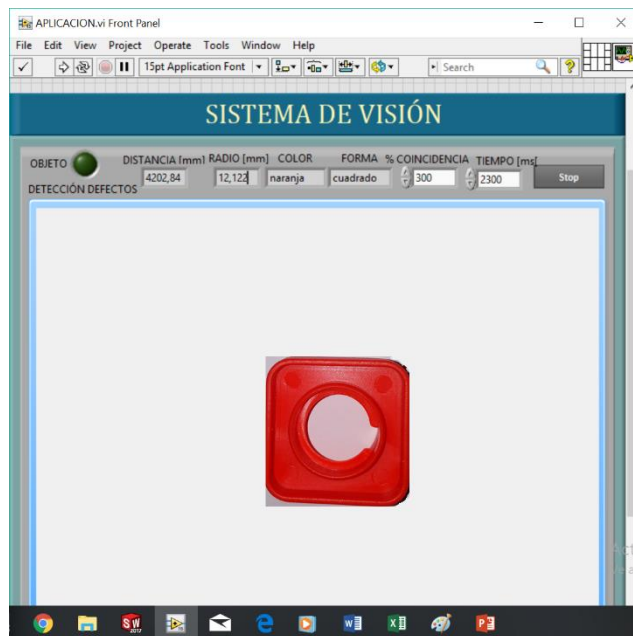
<b>DISTANCIA DEL TRIANGULO [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
41,55850	42,00	-0,44150	1,18907
42,69350	42,00	0,69350	
39,57300	42,00	-2,42700	
40,20010	42,00	-1,79990	
39,83230	42,00	-2,16770	
40,74560	42,00	-1,25440	
40,93810	42,00	-1,06190	
40,69130	42,00	-1,30870	
41,36190	42,00	-0,63810	
40,76760	42,00	-1,23240	



<b>DISTANCIA DE LA CRUZ [mm]</b>			
Valor Observado	Valor Predicho	Diferencia	ERROR CUADRATICO MEDIO
38,57490	39,00	-0,42510	1,28763
38,64820	39,00	-0,35180	
39,24320	39,00	0,24320	
38,99340	39,00	-0,00660	
35,61820	39,00	-3,38180	
38,75350	39,00	-0,24650	
37,43510	39,00	-1,56490	
37,50600	39,00	-1,49400	
39,17100	39,00	0,17100	
39,09340	39,00	0,09340	

En el proceso de detección de medidas, observamos que cuando se trata de detectar medidas menores el error aumenta por el contrario para medidas mayores el error disminuye, concluyendo que el sistema es más preciso para mayores medidas.

Para los casos de detección de *color* y *forma* el sistema presenta el 100% de precisión.



**Figura 14.** Sistema de Visión

En el cuadro % de coincidencia se determina la sensibilidad para encontrar los patrones, en la figura se observa que el porcentaje fijado es de 300.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- Los trabajadores de las empresas en las que se realizó las encuestas sobre sistemas de control de calidad, han demostrado gran interés por conocer más acerca de las técnicas de visión artificial, debido a que este tema tiene muy poca difusión en la industria manufacturera nacional y local.
- Es necesaria la implementación de un modelo experimental de un sistema de control de calidad usando visión artificial para que exista una mayor difusión sobre este tema y las empresas manufactureras puedan ampliar sus alternativas de gestión en la calidad de sus productos.

#### **5.1 Recomendaciones**

- Se sugiere realizar un análisis para seleccionar los componentes más adecuados del sistema de control de calidad con visión artificial que se puedan implementar en las industrias manufactureras, teniendo en cuentas costo beneficio.
- Se sugiere investigar cuál es el software más apropiado para desarrollar la aplicación, crear una guía de instalación para que cualquier persona interesada pueda implementar el sistema de control de calidad con visión artificial propuesto en este trabajo.

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 Datos informativos**

**Tema:** Sistema de clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial.

**Ubicación:**

**Provincia:** Tungurahua

**Cantón:** Ambato

**Parroquia:** Huachi Chico

**Lugar:** Universidad Técnica de Ambato – Campus Huachi – Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

**Tutor:** Ing. Darío Mendoza Chipantasi MAR.

**Autor:** Jorge Salazar Castillo

#### **6.2 Antecedentes de la propuesta**

El concepto de realizar un diseño de un sistema clasificación y control de calidad en un proceso de producción industrial usando visión artificial, inicia en primer lugar de la cultura que existe en las empresas para mejorar sus procesos productivos y entregar productos de calidad, minimizando costos y mejorando su rentabilidad. Es por eso que se decidió realizar un estudio de las características de color forma, medición y defectos superficiales, que son los principales patrones de falla en la fabricación de productos industriales.

En este sentido, la visión artificial puede actuar como un factor positivo, favoreciendo el trabajo productivo de las empresas, lo que, a su vez, y dependiendo de la complejidad de los procesos puede afectar la productividad.

### **6.3 Justificación**

El presente estudio realizado está orientado a contribuir en los procesos de fabricación de un producto; el interés estuvo en presentar una alternativa que aporte a la optimización de la etapa de control de calidad en la elaboración de un producto, haciendo 4 análisis diferentes: color, forma, defectos superficiales y medidas.

Un control de calidad realizado visualmente por un operario humano, en algunos casos resulta ser una buena alternativa para clasificar productos óptimos y defectuosos, ya que proporciona tiempos de respuesta rápidos. Sin embargo, entre mayor es la precisión requerida y complejidad de diseño del producto este control está limitado a la capacidad de apreciación visual del operario que se ve condicionada por el cansancio y la velocidad con que tenga que realizarlo).

Por otro lado, un sistema de control de calidad automático, aunque representa un método eficiente implica un alto costo de implementación y mantenimiento.

Los sistemas de visión por computador representan un método alternativo de solución de problemas de control de calidad. Estos posibilitan realizar un análisis preciso de un objeto mediante la adquisición y procesamiento de imágenes computarizadas. Lo que implicaría un bajo costo de implementación por el ahorro en la adquisición de las herramientas y software de medición.

Los beneficiarios directos de esta investigación son las fábricas, porque se plantea una alternativa robusta para realizar el control de calidad para el exigente mercado actual.

### **6.4 Objetivos**

#### **6.4.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de control de calidad robusto y redundante en función del color, forma, tamaño y defectos superficiales, asegurando así los resultados óptimos.

#### **6.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar un estudio sobre la situación actual de los sistemas de control de calidad haciendo un análisis para implementar el control de calidad por color, forma defectos superficiales y medidas.
- Elaborar el programa para controlar la calidad analizando las piezas fabricadas considerando el color, forma, defectos superficiales y medidas.
- Desarrollar el código de control para el brazo robótico que clasificará las piezas aprobadas y rechazadas.
- Realizar las pruebas del sistema de control de calidad por visión artificial, verificando resultados.

### **6.5 Análisis de factibilidad**

#### **6.5.1 Factibilidad operativa**

La propuesta desde el punto de vista operativo, es factible ya que algunas industrias tienen infraestructura y equipos que permiten instalar sistemas de visión artificial, que permitirá discriminar entre productos que cumplan los parámetros de calidad establecidos y aquellos que no cumplen con estas características.

#### **6.5.2 Factibilidad técnica**

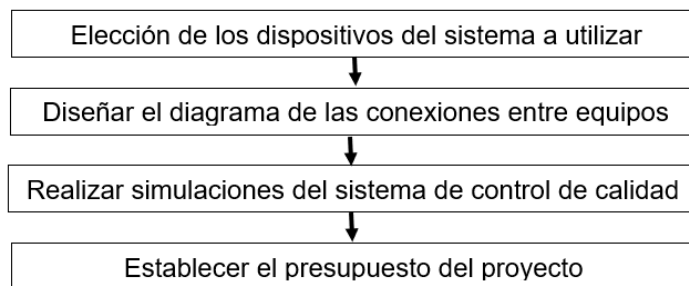
La propuesta es factible porque los equipos requeridos son de uso común y se encuentran en el mercado local, los costos de los mismos son económicos y accesibles tanto para las pequeñas y medianas y grandes industrias.

#### **6.5.3 Factibilidad económica**

La propuesta desde el punto de vista económico es factible, ya que las empresas industriales, destina recursos financieros al control de la calidad de sus productos, tanto para materiales como en recursos humanos, estos últimos encargados de verificar la calidad de los productos fabricados, implementando el sistema de visión artificial, mejorará la precisión del control de calidad, lo cual incrementará la satisfacción del cliente y como consecuencia la rentabilidad de la empresa.

## 6.6 Metodología

Después de haber identificado el problema, causas y efectos, se procedió a desarrollar la fundamentación del mismo, siguiendo los pasos descritos a continuación, para dar la respectiva solución, (ver figura 15).



*Figura 15.* Metodología

**Elaborado por el investigador**

## 6.7 Fundamentación

### 6.7.1 Descripción del diseño

#### 6.7.1.2 Adquisición de imágenes

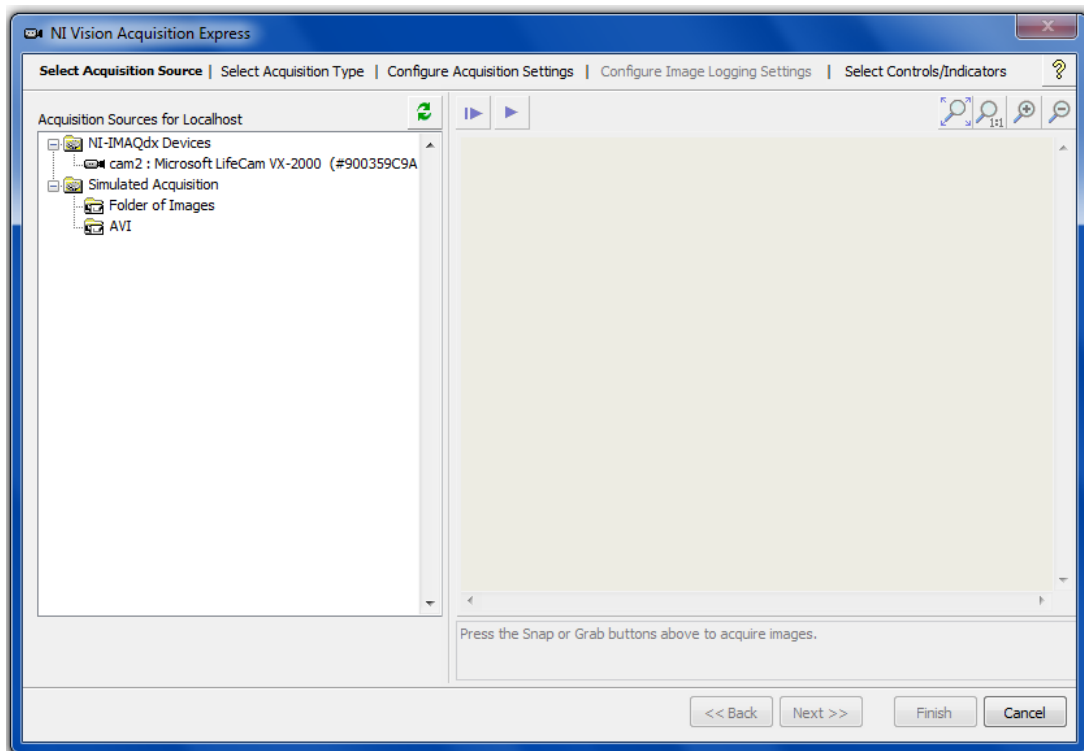
En esta sección, se demostrará el uso de LabVIEW como software para analizar y procesar imágenes adquiridas por la cámara. Específicamente se analizará si las piezas muestreadas por la cámara tienen la forma correcta utilizando una detección de patrones por escala de grises.

La detección de patrones por escala de grises es ideal para ubicar patrones preestablecidos cuya información sea determinada principalmente por su escala de grises. Las principales condiciones para utilizar este método son luz casi constante y poca variación en el tamaño del patrón a buscar.

### 6.7.1.3 Desarrollo

El siguiente método es el que se utilizará para la adquisición de las imágenes en cada etapa del proceso:

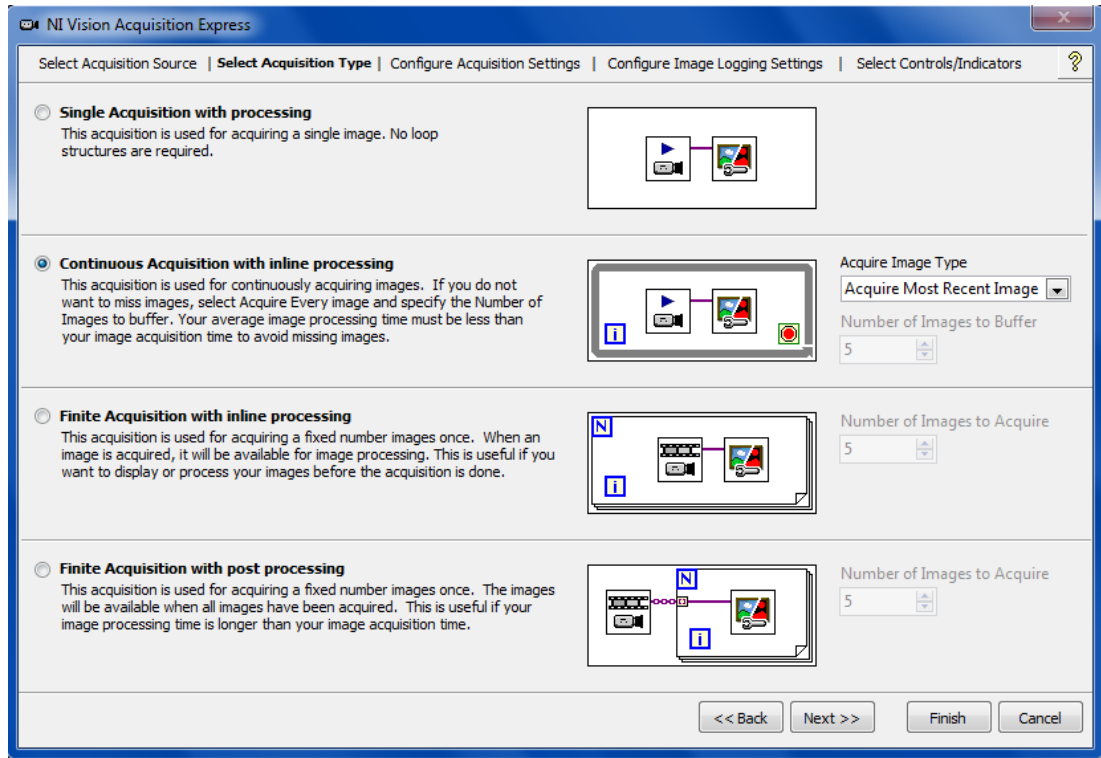
- a) Inicializado NI LabVIEW se crea un nuevo VI.
- b) En el diagrama de bloques, se inserta el Express subVI llamado “Visión Acquisition”,
- c) Se pulsa doble clic en este SubVI y se abrirá una pantalla como la que se muestra en la Figura 16.



*Figura 16.* Vision Acquisition – Seleccionando fuente.

**Elaborado por el investigador**

- d) En la sección Acquisition Sources for Localhost se escoge la cámara a utilizar y dar clic en el botón Next, aparecerá una pantalla como la mostrada en la Figura 17. En la cual se escogerá la opción **Continuous Acquisition with inline processing** la cual consiste en procesar las imágenes muestreadas de forma continua, hasta que el usuario detenga el proceso.

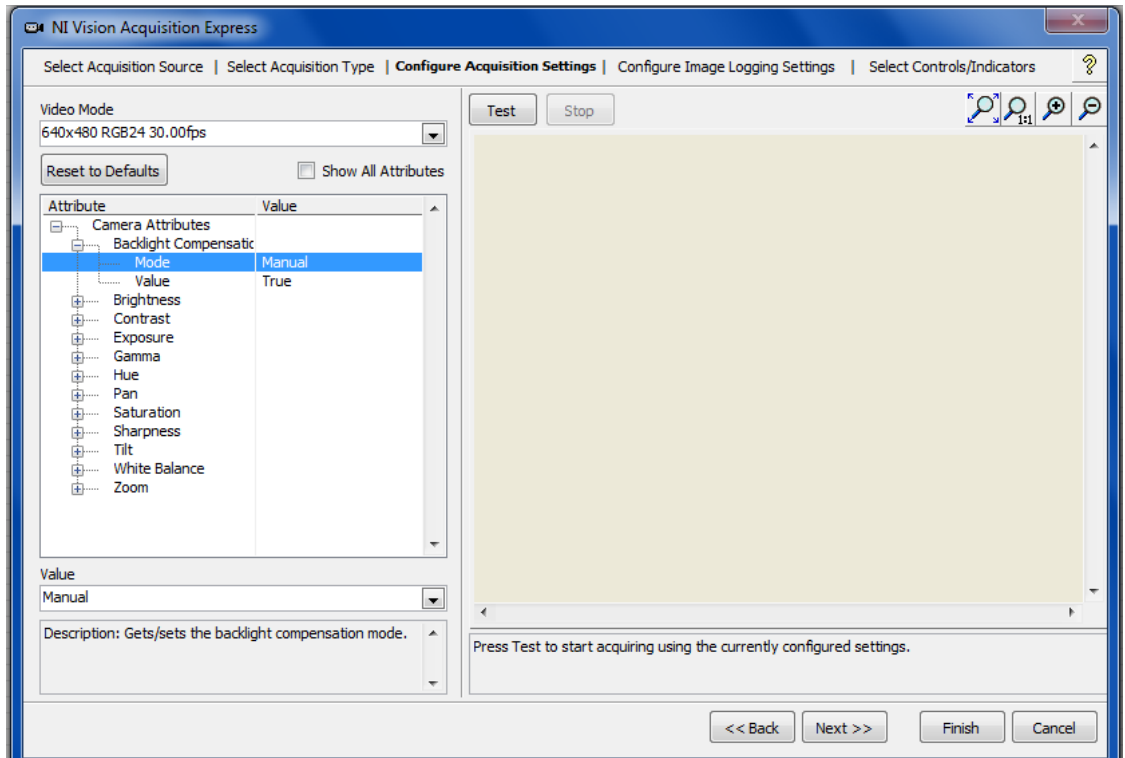


*Figura 17. NI Vision Acquisition Express*

**Elaborado por el investigador**

- e) En Acquire Image Type escoger la opción “Acquire Most Recent Image”, dar clic en el botón *Next>>* al finalizar.
- f) Para configurar el modo de video adquirido aparecerá una pantalla como la mostrada en la Figura 17, en la cual se escoge el parámetro 640x480 RGB 24 30.00fps o el más cercano disponible de preferencia. Dejar las demás opciones por default. Al terminar dar clic en el botón *Finish*.

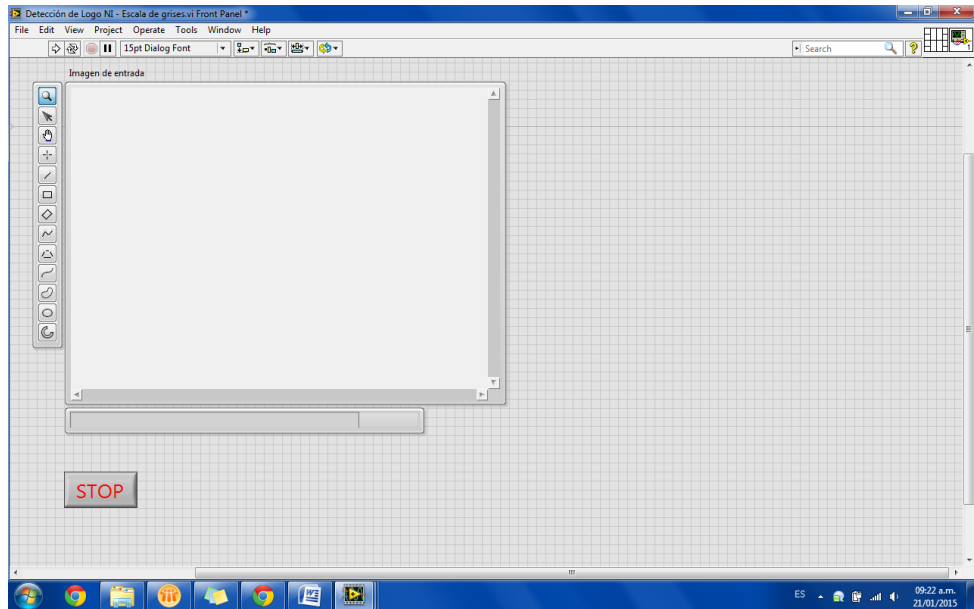




**Figura 18.** Vision Acquisition – Configurando el modo de video.

**Elaborado por el investigador**

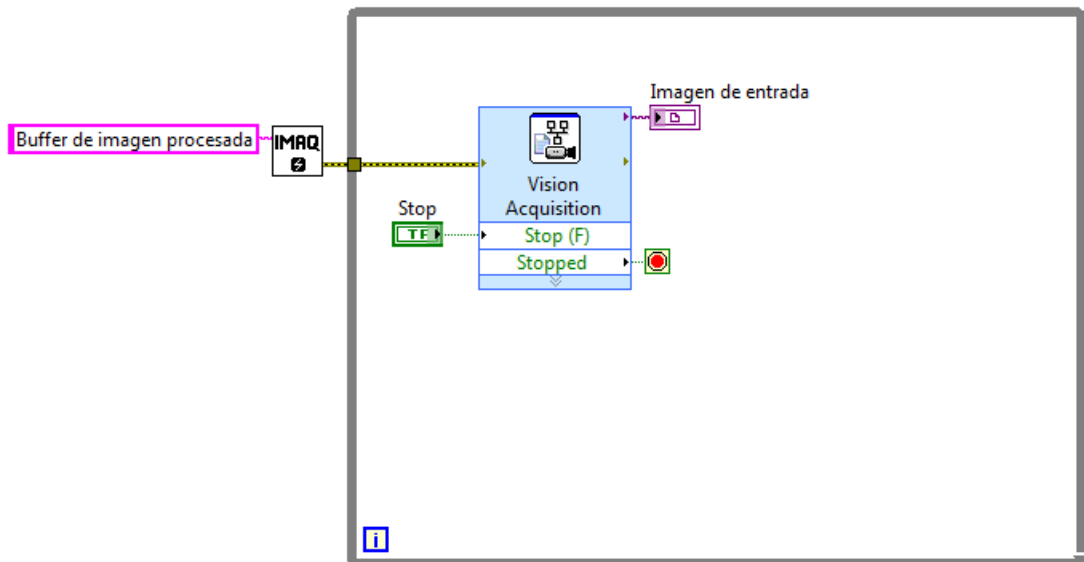
- g) Ir al panel frontal del VI y realizar los siguientes cambios para que se configure como se muestra en la Figura 18.



**Figura 19.** Panel Frontal modificado.

**Elaborado por el investigador**

- h) Sustituir el botón de Stop.
- i) Sustituir el display de la imagen por su versión Silver, y renombrarlo como imagen de entrada. Clic secundario en el elemento y Replace/Vision/Image Display (Silver).
- j) Modificar el diagrama de bloques del VI de forma que vea como se muestra en la Figura 16.



**Figura 20.** Diagrama de bloques modificado

**Elaborado por el investigador**

- k) Agregar el SubVI llamado *IMAQ create* y conectarlo a una constante de cadena como se muestra en la Figura 16.
- l) En el botón de *Stop* y en el indicador de la Imagen de entrada, dar clic secundario y desmarcar la opción de *View as Icon*.

En la maqueta adicionalmente bajo el lente de la cámara se coloca un foco led para evitar inconsistencias de luz y sombras al momento de adquirir las imágenes.

## 6.7.2 Detección de color

### 6.7.2.1 Clasificación de color

Un clasificador de color tiene una fase de entrenamiento y una fase de clasificación. En la fase de entrenamiento, le proporciona al clasificador muestras conocidas. Una muestra de conocimiento consiste en una región en la imagen que contiene el color que desea que aprenda el clasificador y una etiqueta para el color.

Para cada muestra que se agrega durante la fase de entrenamiento, el clasificador de color calcula una característica de color y asigna la etiqueta de clase asociada a la característica. Eventualmente, todas las muestras entrenadas (característica de

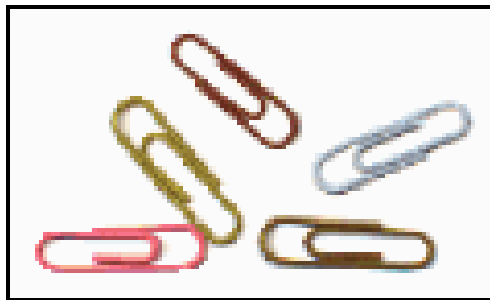
color con la etiqueta) agregadas al clasificador se guardan en un archivo que representa un clasificador de color entrenado.

Después de entrenar al clasificador, puede clasificar las regiones de una imagen en sus clases correspondientes para la identificación del color y las aplicaciones de visión artificial del tipo de inspección del color. En la fase de clasificación, el motor de clasificación calcula la característica de color de la muestra que desea identificar y la clasifica entre muestras entrenadas utilizando uno de los algoritmos de clasificación existentes.

La clasificación de color de NI Visión utiliza los mismos algoritmos de clasificación que el clasificador de partículas NI, incluidos los clasificadores de *vecindad mínima* (National Instruments, 2015), y LBP (Patrones locales Binarios). (ver anexo 1)

#### **6.7.2.2 Imágenes de muestra**

La figura 21 presenta muestras que no son ideales para la clasificación del color porque incluyen una gran cantidad de color de fondo.

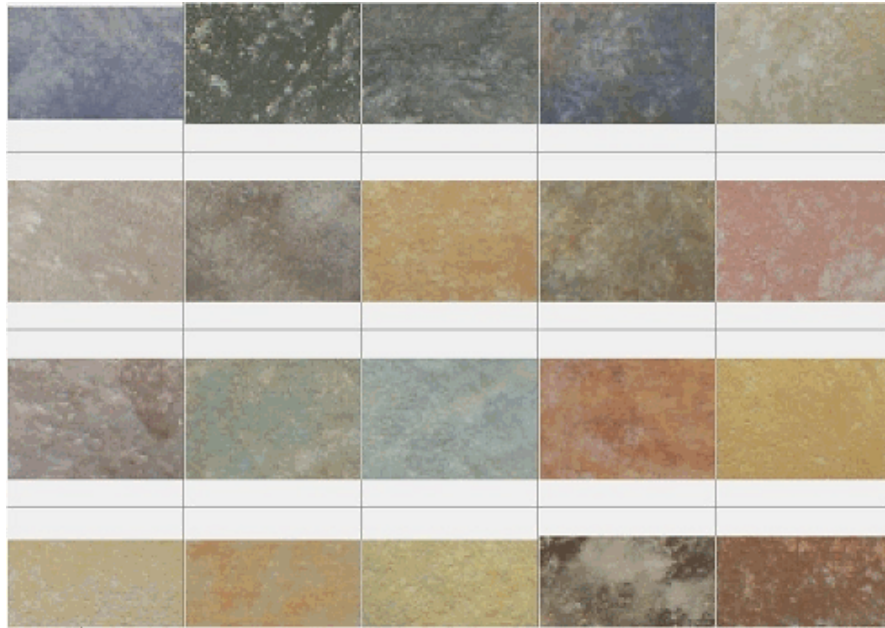


**Figura 21.** Muestras no ideales para la clasificación de color.

**Fuente:** (Domingo, 2014)

Las muestras con solo un matiz (muestras de un color puro) tampoco son ideales. Las muestras deben incluir suficiente variación para capturar cualquier cambio cercano en el tono.

La figura 22 muestra un conjunto de imágenes que son ideales para la clasificación del color. Cada imagen tiene un patrón de color texturizado que ilustra el rango de colores para cada clase.



**Figura 22.** Imágenes con un patrón de color texturizado

**Fuente:** (Domingo, 2014)

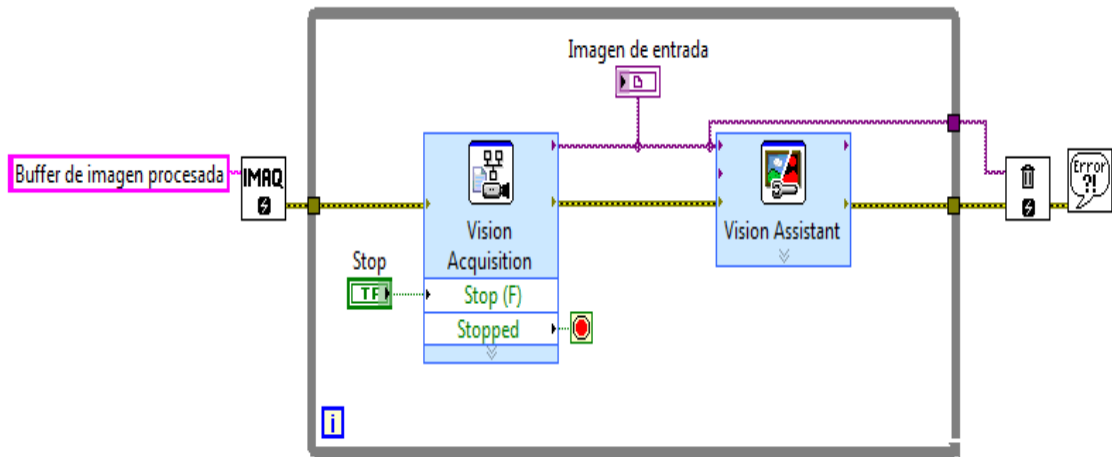
**Elaborado por el investigador**

### **6.7.2.3 Selección de color**

En el proceso de selección de color, primeramente, se realiza los pasos señalados en el apartado Adquisición de Imágenes, luego se continua con el siguiente procedimiento:

#### **Procedimiento de detección de color**

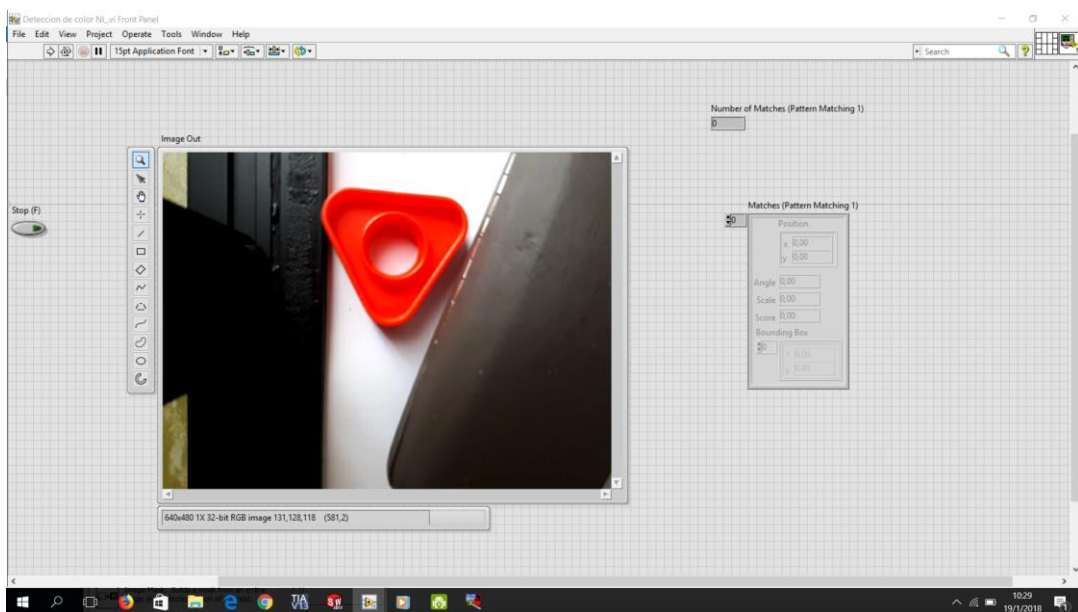
- a) Agregar el *Express* SubVI llamado *Vision Assistant*, conectar el diagrama de bloques como se muestra en la Figura 19. Agregar los subVIs llamados IMAQ Disclosure y Simple Error Handler.



**Figura 23.** Diagrama de Bloques modificado.

**Elaborado por el investigador**

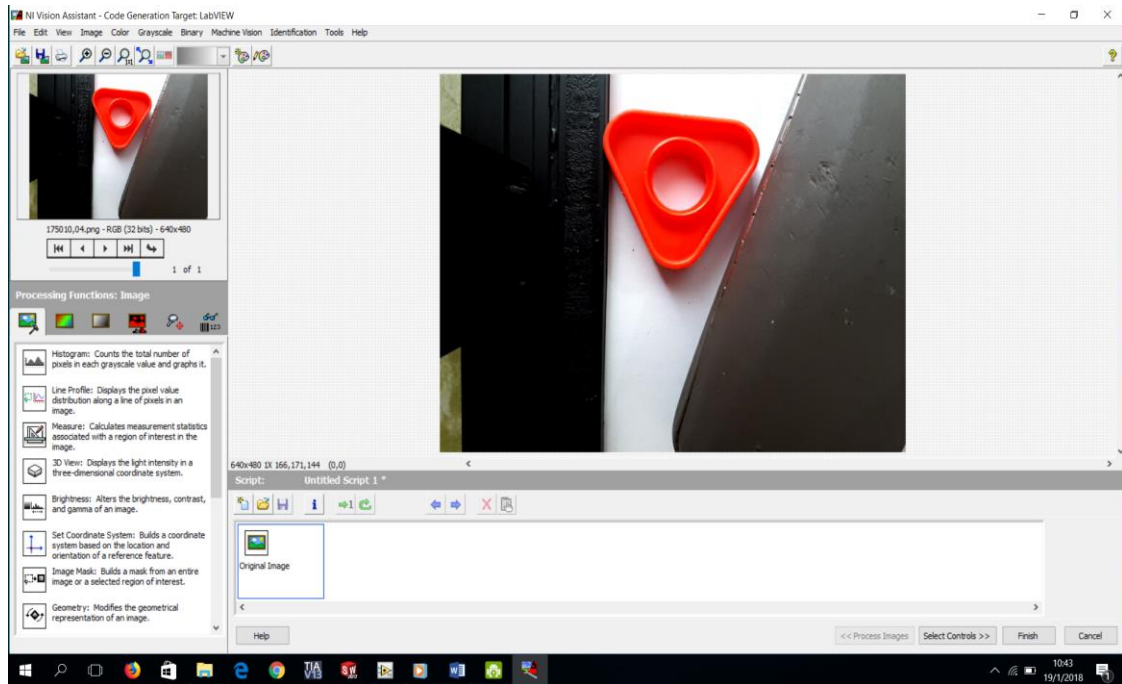
- b) Ir al panel frontal y ejecutar el VI, colocar delante de la imagen el patrón a detectar, En la manera de lo posible intentar que las condiciones de iluminación sean constantes. Figura 24



**Figura 24.** Imagen del patrón a detectar.

**Elaborado por el investigador**

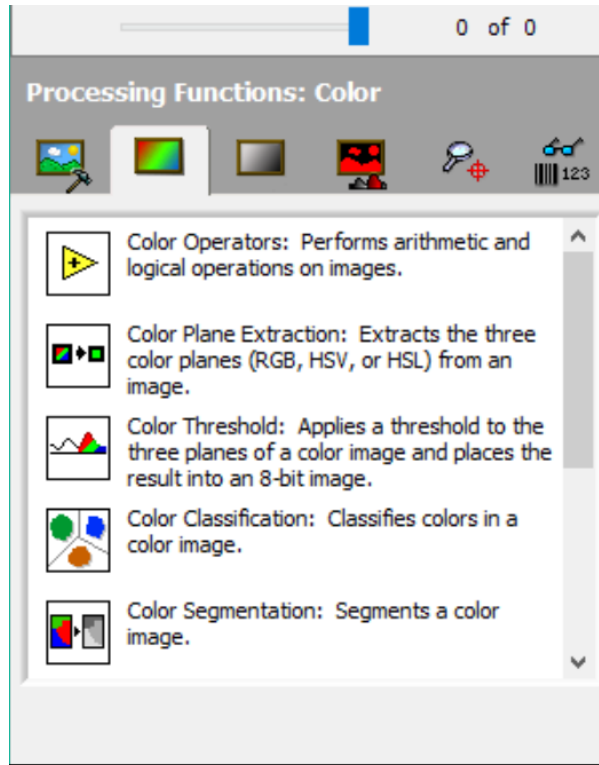
- c) Regresando al Diagrama de Bloques del VI, abrir el *Express VI Vision Assistant* dando doble clic sobre su icono. Figura 25.



*Figura 25.* Vision Assistant

**Elaborado por el investigador**

- d) En el recuadro inferior izquierdo llamado *Processing Functions*, ir a la pestaña de Color, y seleccionar la opción *color clasification*, Figura 26. La cual consiste en una fase de entrenamiento y una fase de clasificación. En la fase de entrenamiento, le proporciona al clasificador muestras conocidas.

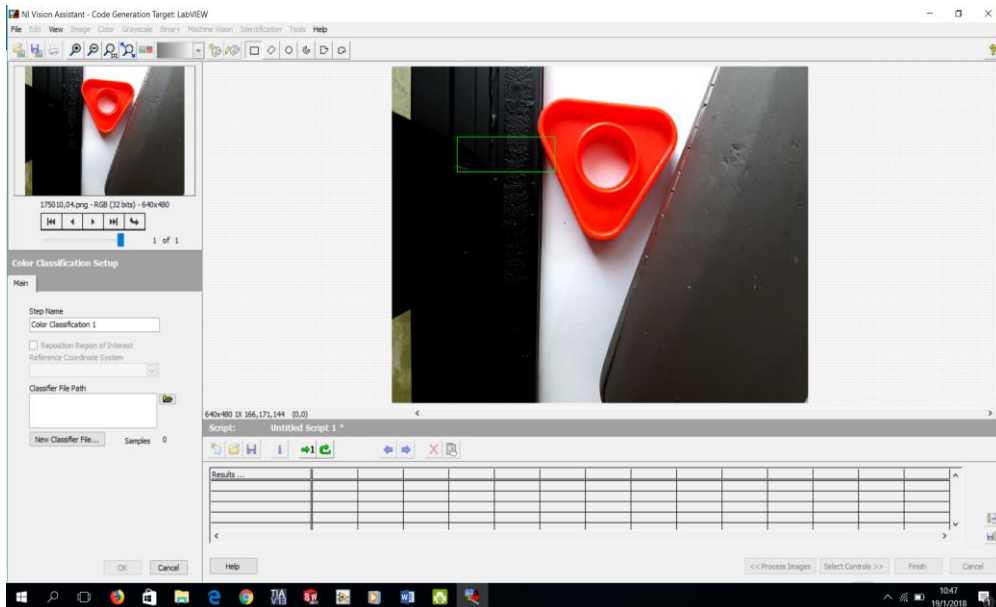


*Figura 26.* Menu: Processing Functions Color

**Elaborado por el investigador**

Una muestra de conocimiento consiste en una región en la imagen que contiene el color que desea que aprenda el clasificador y una etiqueta para el color. Para cada muestra que se agrega durante la fase de entrenamiento, el clasificador de color calcula una característica de color y asigna la etiqueta de clase asociada a la característica. Eventualmente, todas las muestras entrenadas (característica de color con la etiqueta) agregadas al clasificador se guardan en un archivo que representa un clasificador de color entrenado.

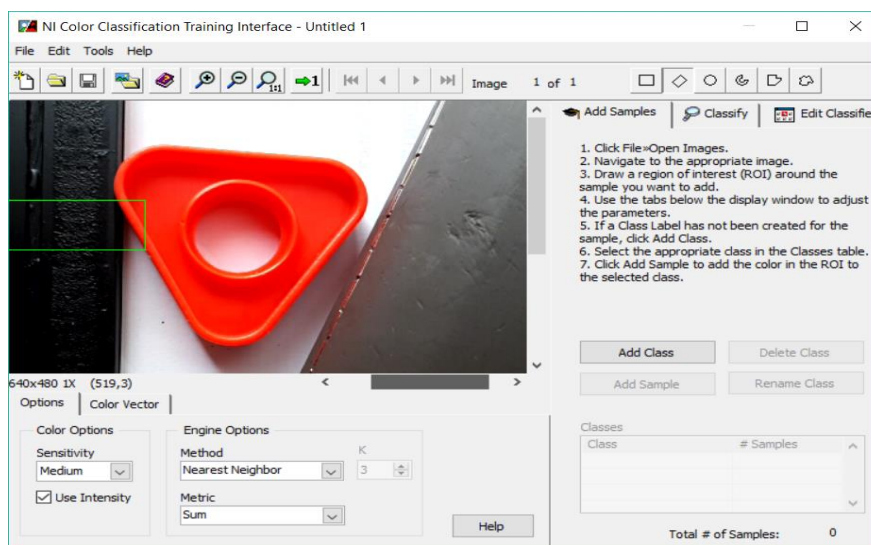




*Figura 27.* Color classification setup.

**Elaborado por el investigador**

- e) En Step name se coloca un nuevo nombre al archivo de clasificación, Ésta función necesita tener definida una plantilla del patrón a buscar, el cual estableceremos dando clic en el botón de New classifier file, Figura 23. Se mostrará una pantalla como la mostrada en la Figura 28.

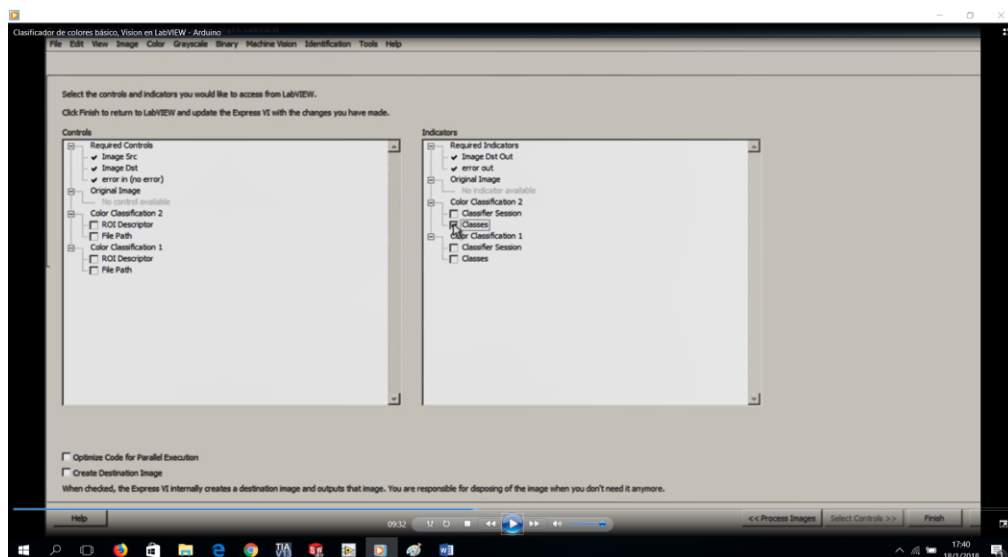


*Figura 28.* Color classification, training interface

**Elaborado por el investigador**

Se recomienda “tomar las imágenes donde va a estar ubicada definitivamente la cámara para evitar inconsistencias de luz”.

- f) En este paso crearemos las muestras de los colores a usar. Se selecciona en la imagen una región del color que se usará como plantilla, se da clic en Add Class y se coloca una etiqueta al color, clic en Add Sample para añadir como muestra la región seleccionada.
- g) Se repite el procedimiento para cada color, una vez tomadas las muestras guardar en: file: save color classifier file.
- h) Cerrar
- i) ok
- j) Ya que se ha configurado los procesos que realizará el *Express VI Vision Assistant*, es necesario configurar los datos de salida que nos entregará en nuestro programa, para esto dar clic en el botón de *Select Controls*.
- k) Del archivo que acabamos de crear Marcar en las *checkboxes* los elementos Classes. Finish y dar clic en *Finish*, esperar a que se termine de generar el Express VI.
- l) Agregar indicadores al Express VI de *Vision Assistant*, y terminar de conectar como se muestra en la Figura 29.



*Figura 29.* Indicadores de *Vision Assistant*

**Elaborado por el investigador**

A continuación, se presenta el diagrama de bloques terminado.

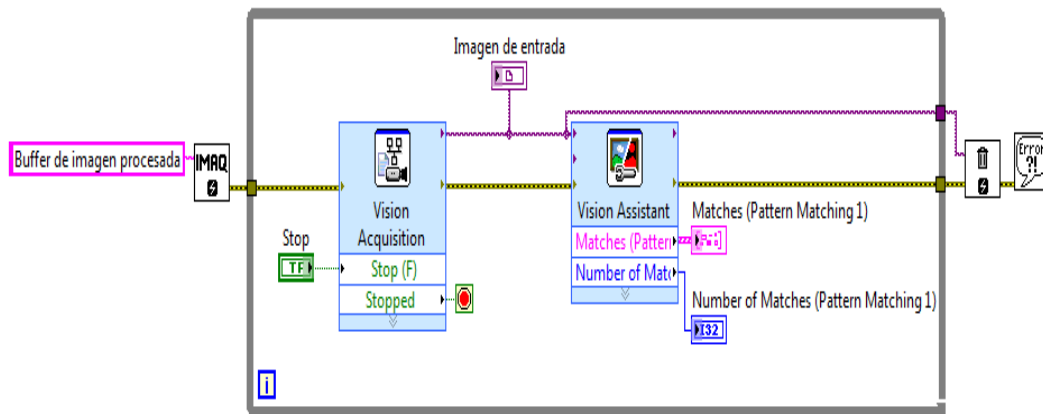


Figura 30. Diagrama de bloques detección de color terminado.

Elaborado por el investigador

### 6.7.3 Detección de forma

#### Clasificación de forma

##### Pattern Matching Techniques

NI Visión implementa dos métodos de concordancia de patrones: concordancia piramidal y comprensión de imágenes (muestreo de baja discrepancia). Ambos métodos utilizan la correlación cruzada normalizada como técnica central, (ver anexo 2).

El proceso de coincidencia de patrones consta de dos etapas: aprendizaje y coincidencia. Durante la etapa de aprendizaje, el algoritmo extrae el valor de gris y / o la información de gradiente de borde de la imagen de la plantilla. El algoritmo organiza y almacena la información de una manera que facilita una búsqueda más rápida en la imagen de inspección. En NI Vision, la información que se aprende durante esta etapa se almacena como parte de la imagen de la plantilla.

Durante la etapa de coincidencia, el algoritmo de coincidencia de patrones extrae el valor de gris y / o la información de gradiente de borde de la imagen de inspección (correspondiente a la información aprendida de la plantilla). Luego, el algoritmo

encuentra coincidencias al ubicar las regiones en la imagen de inspección donde se observa la correlación cruzada más alta.

### 6.7.3.1 Procedimiento detección de formas

En el proceso de selección de forma, primeramente, se realiza los pasos señalados en el apartado Adquisición de Imágenes, luego se continua con el siguiente procedimiento:

- a) Agregar el *Express SubVI* llamado *Vision Assistant*, conectar el diagrama de bloques como se muestra en la Figura 31. Ir al panel frontal y correr el VI, colocar delante de la cámara el patrón a detectar, en la manera de lo posible intentar que quede con condiciones constantes de iluminación.

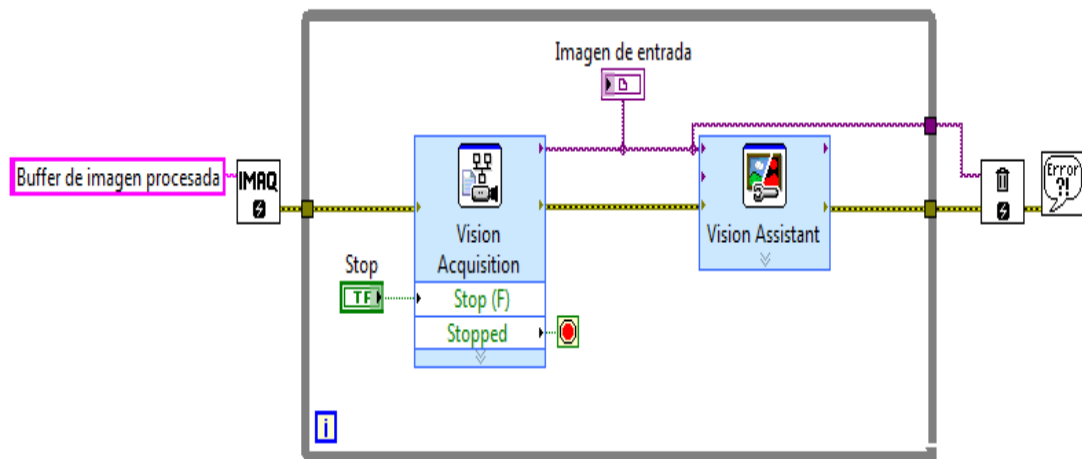


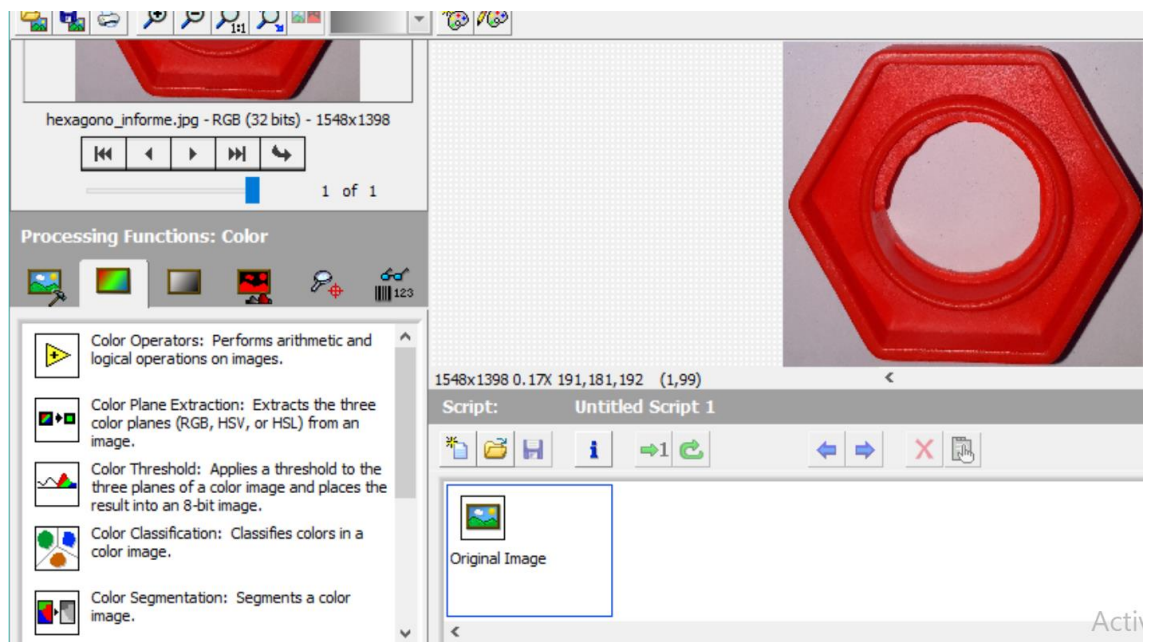
Figura 31. Diagrama de bloques detección de forma.

Elaborado por el investigador

- b) Regresando al Diagrama de Bloques del VI, abrir el *Express VI Vision Assistant* dando doble clic sobre su ícono.

Para poder hacer la detección de patrones por escala de grises, es necesario primero convertir nuestra imagen a color, en una imagen en escala de grises, esto lo realizamos de la siguiente manera:

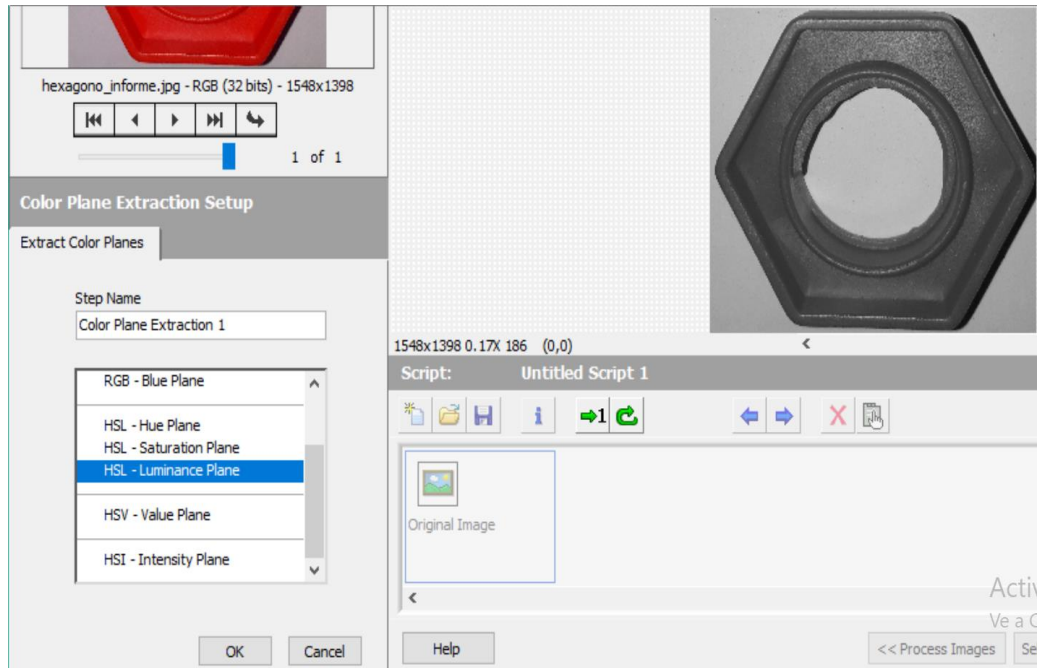
- 1) En el recuadro inferior izquierdo llamado *Processing Functions*, ir a la pestaña de Color, y seleccionar la opción color *Plane Extraction*, *Figura 32*, la cual consiste en extraer uno de los planos en que se codifica una imagen a color.



**Figura 32.** Processing Functions

**Elaborado por el investigador**

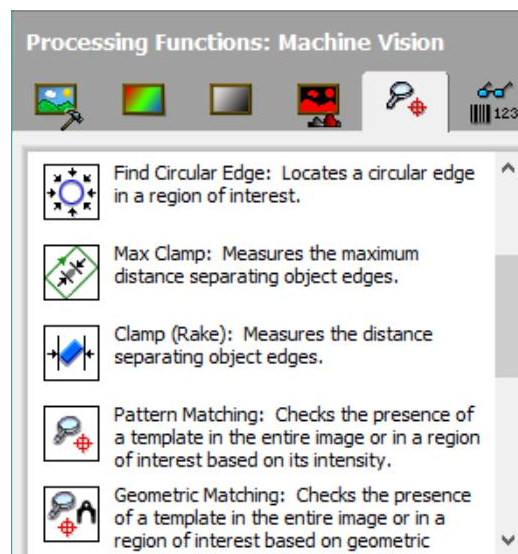
A continuación, como se muestra en la figura 33 se escoge la opción de *HSL Luminance Plane*.



**Figura 33.** Color Plane Extraction Setup

**Elaborado por el investigador**

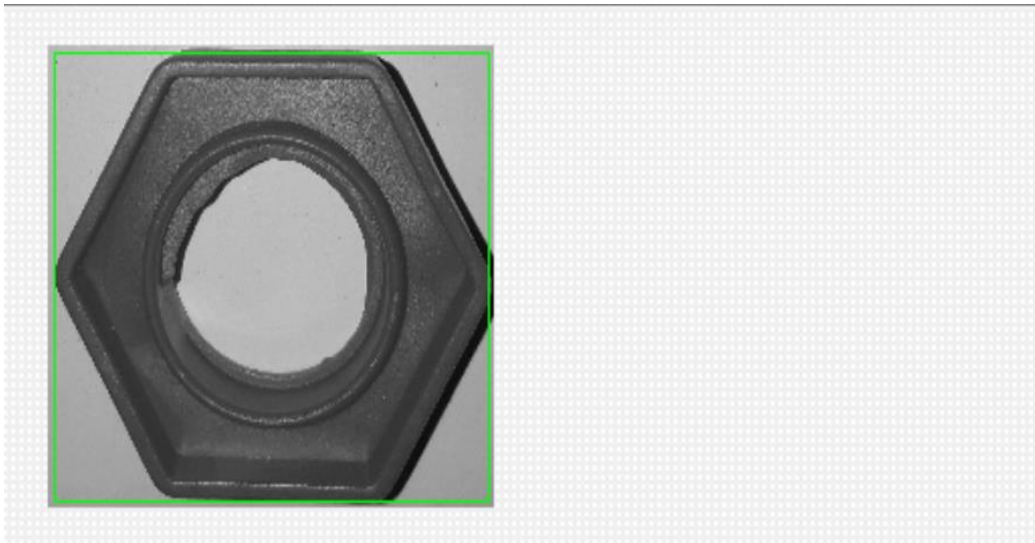
- 2) En el cuadro de *Processing Functions*, en la pestaña de *Machine Vision*, escogemos la opción de *Pattern Matching*. Figura 34.



**Figura 34.** Patter Matching

**Elaborado por el investigador**

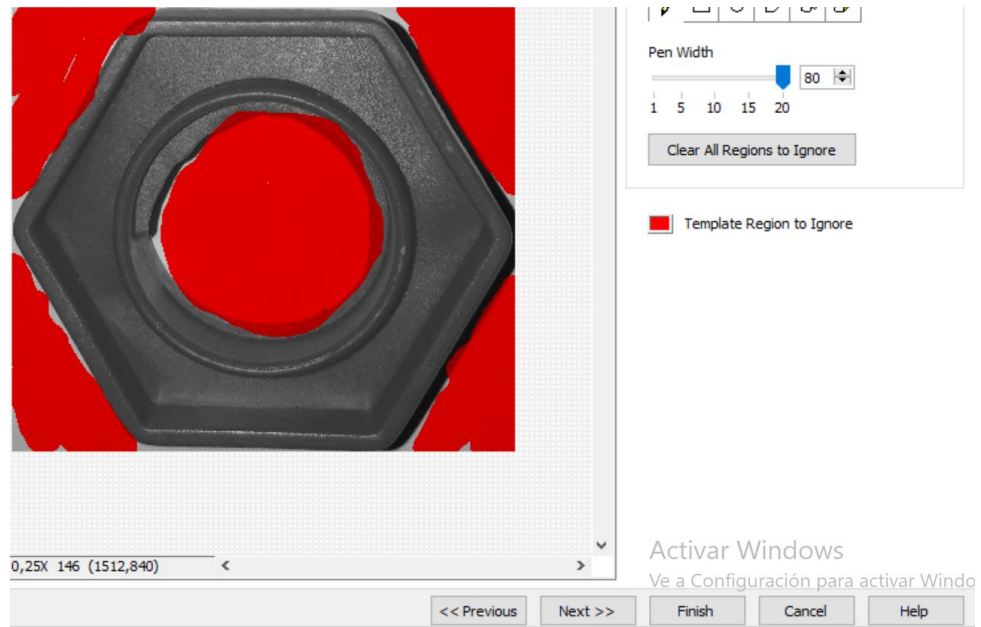
- 3) Esta función necesita tener definida una plantilla del patrón a buscar, el cual se establece dando clic en el botón de *New Template*. Se mostrará una pantalla como la mostrada en la Figura 35.



**Figura 35.** Seleccionando región de plantilla.

**Elaborado por el investigador**

- 4) Seleccionar como región de plantilla el patrón a buscar en la imagen y se da clic en *Next>>*.
- 5) En el siguiente paso debemos seleccionar el área que se quiere ignorar del área que ya se estableció para la plantilla de patrón, lo cual se hará dibujando toda el área que no sea parte del patrón seleccionado como se muestra en la Figura 36, para que, al momento de buscar, el programa ignore los espacios en blanco que puedan tener sombras o cualquier otro elemento que contamine la detección del patrón. Al terminar dar clic en el botón *Finish*.

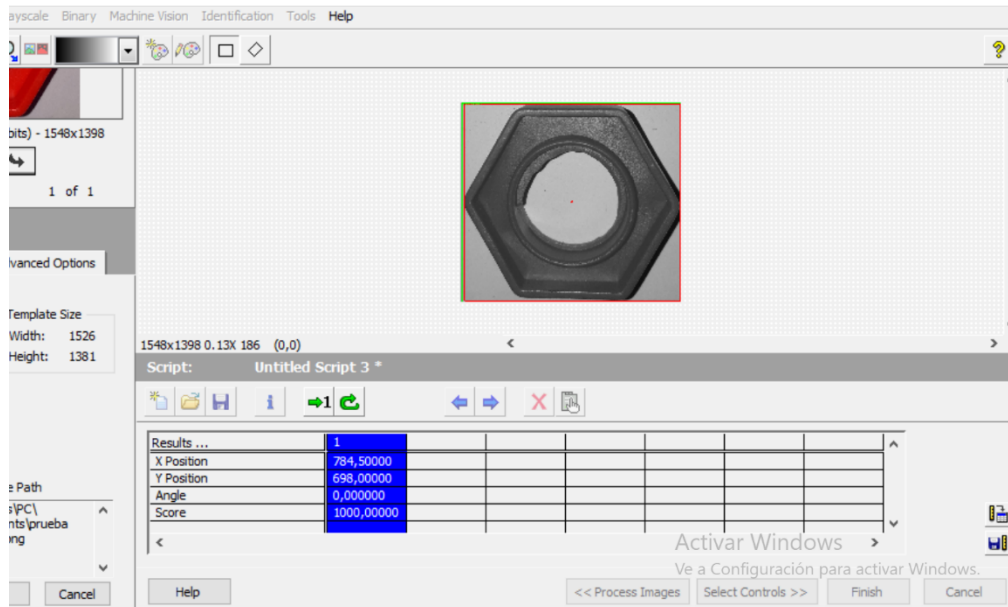


**Figura 36.** Selección de área a ignorar de la plantilla del patrón.

**Elaborado por el investigador**

- 6) Al dar clic en el botón de *Finish*, el programa nos pedirá guardar la plantilla del patrón, guardarla con el nombre “hexágono escala de grises”.
- 7) En *Pattern Matching Setup*, ir a la pestaña de *Settings* y en *Number of Matches to Find* incrementar hasta 2, deberá notar como el programa reconoce los 2 elementos. Si aun así no llega a detectar los 2, disminuir el valor de *Minimum Score*, hasta que detecte los 2. Dicho factor determinará en cierto modo la sensibilidad a encontrar los patrones por escala de grises. La pantalla se deberá de ver como se muestra en la Figura 37.

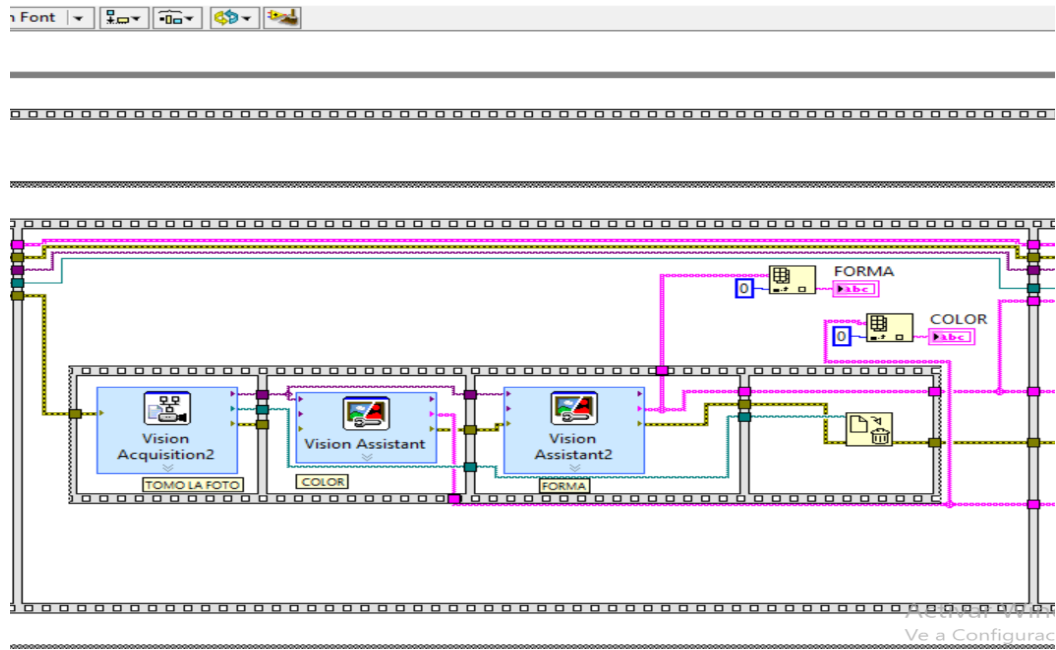




**Figura 37.** Detección de Patrones por escala de grises.

**Elaborado por el investigador**

- 8) Ya que se han configurado los procesos que realizará nuestro *Express VI Vision Assistant*, es necesario configurar los datos de salida que nos entregará en nuestro programa, para esto dar clic en el botón de *Select Controls*.
- 9) Marcar en las *checkboxes* los elementos *Matches* y *Number of Matches* y dar clic en *Finish*, esperar a que se termine de generar el Express VI.
- 10) Agregar indicadores al Express VI de *Vision Assistant*, y terminar de conectar como se muestra en la Figura 38.

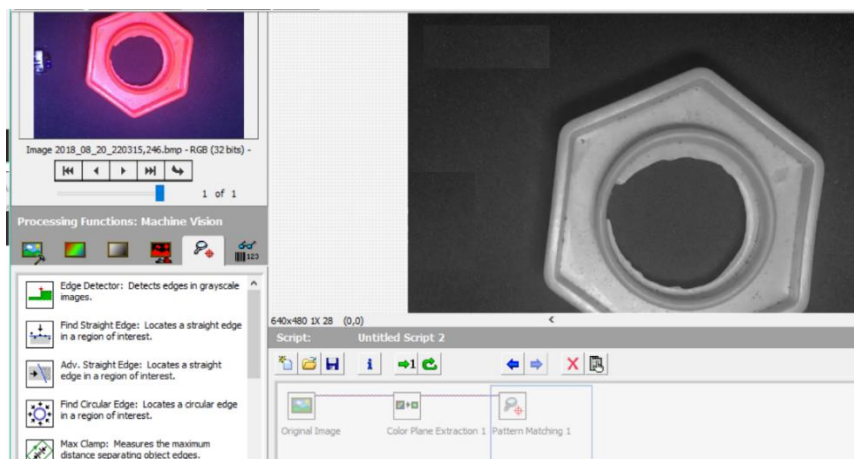


**Figura 38.** Diagrama final detección de color y forma

**Elaborado por el investigador**

11) Para poder detectar los logos aun cuando estén rotados es necesario que regresemos a la configuración del *Express VI Vision Assistant*, la cual la podemos abrir desde el diagrama de bloques y dando doble clic en el Express VI

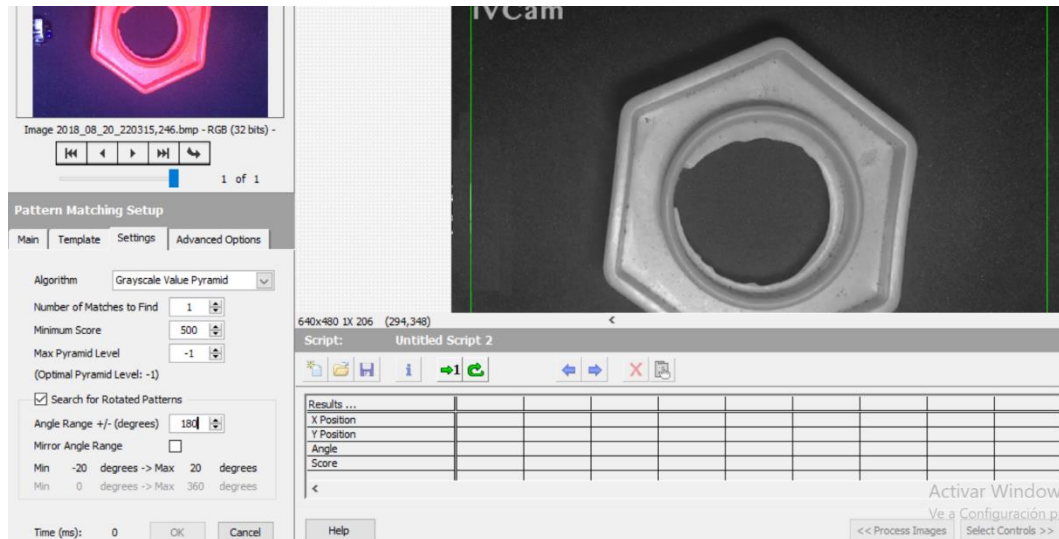
12) Dar doble clic en *Pattern Matching 1*, Figura 39



**Figura 39.** Pattern Matching 1

**Elaborado por el investigador**

13) En *Settings* habilitar la opción de detectar patrones con ángulo de rotación. En el rango de ángulos a detectar cambiar el valor por 180, para que detecte los logos estando en cualquier posición. La pantalla de configuración se deberá ver como en la Figura 40 Dar clic en *Ok* al finalizar.



**Figura 40.** Pattern Matching Setting

**Elaborado por el investigador**

### 6.7.3.2 Selección de medidas

#### ¿Qué es medir?


Componentes como conectores, interruptores y relés son pequeños y se fabrican en alta cantidad. Si bien la inspección humana de estos componentes es tediosa y lenta, los sistemas de visión artificial pueden medir rápida y consistentemente ciertas características en un componente y generar un informe con los resultados. A partir de los resultados, puede determinar si una pieza cumple con sus especificaciones de fabricación. La medición consiste en realizar mediciones de distancias críticas como longitudes, diámetros, ángulos, Se usa la inspección de medición a menudo en la verificación de ensamblaje mecánico, inspección de conector electrónico, etc.

En este apartado se describe y proporciona instrucciones paso a paso para medir prototipos de una pieza geométrica, y determinar sus especificaciones físicas.

Una tuerca es una pieza generalmente metálica, de cuatro o seis lados, con un agujero circular en el centro labrado en forma helicoidal que se ajusta a la rosca de un tornillo para fijarlo.

El objetivo es establecer un patrón para hacer mediciones de tuercas de pernos de llantas de vehículos.


### **Procedimiento detección de medidas**

1. Primero se debe definir una plantilla patrón a buscar, para esto, ir al panel frontal y correr el VI, colocar enfrente de la imagen el patrón a detectar, En la manera de lo posible intentar que las condiciones de iluminación sean constantes.
2. Regresando al Diagrama de Bloques del VI, abrir el *Express VI Vision Assistant* dando doble clic sobre su icono.
3. Si la ventana Script ya contiene una secuencia de comandos, haga clic en **New script**  para abrir una nueva secuencia de comandos.
4. Antes de que se pueda procesar la imagen debe transformarse en imagen binaria de 8 bits, esto lo hacemos de la siguiente manera: En el recuadro inferior izquierdo llamado *Processing Functions*, ir a la pestaña de Color, y seleccionar la opción color *Plane Extraction* la cual consiste en extraer uno de los planos en que se codifica una imagen a color. Y se escoge la opción de *HSL Luminance Plane*.

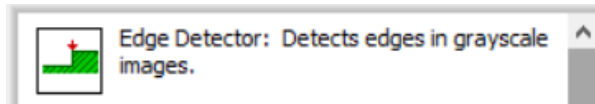
### **Encontrar puntos de medición usando la coincidencia de patrones.**

Antes de que pueda calcular mediciones, debe ubicar las características en las que puede basar las mediciones. En este caso, se usa la detección de bordes para encontrar los límites de la pieza.

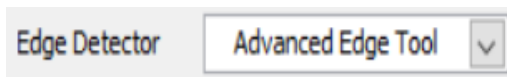
### **Encontrar bordes en la imagen.**

Antes de que pueda calcular mediciones para determinar si una pieza cumple con las especificaciones, se debe detectar bordes en los que puede basar las mediciones. La función Edge Detector encuentra bordes a lo largo de una línea que dibuje con la herramienta de línea  desde la paleta de Herramientas.

1. Select **Edge Detector** en la pestaña Machine Vision



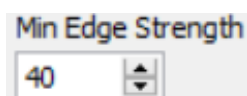
2. Seleccione (**Advanced Edge Tool**). De la lista desplegable Edge detector. Los Advanced Edge Tool es efectivo en imágenes con poco contraste entre el fondo y objetos.



3. Seleccione First/Last Edges en el cuadro de lista desplegable **Look for** para que el Asistente de Visión encuentre y etiquete solo el primer y el último borde a lo largo de la línea que dibuja.



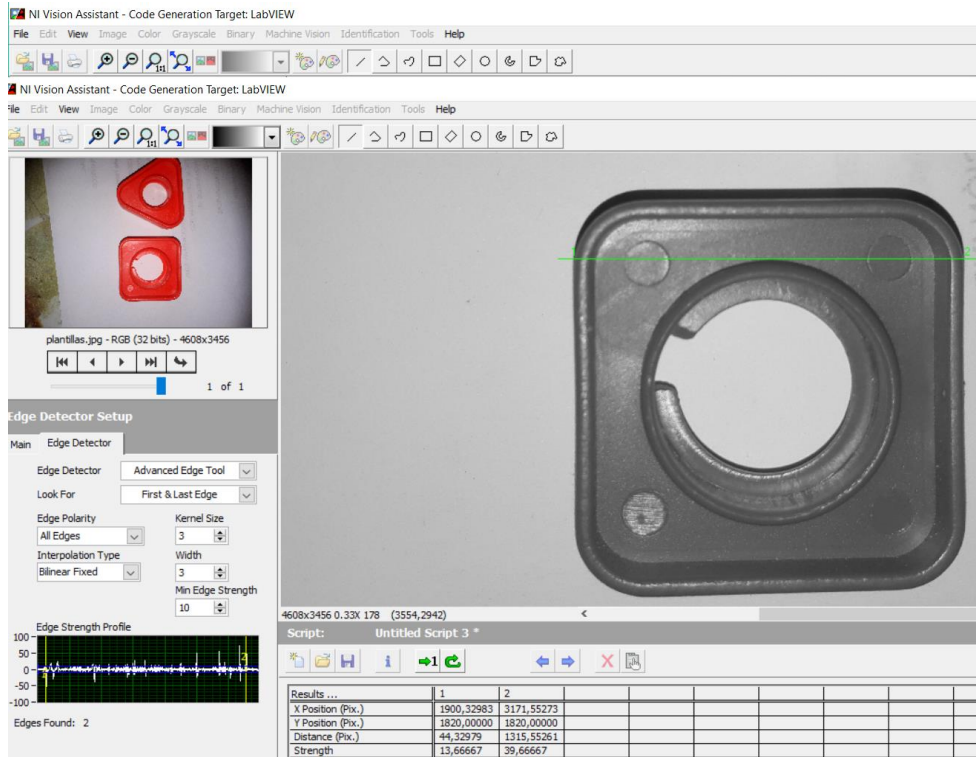
4. Set the **Min Edge Strength** to 40. El proceso de detección solo devuelve el primer y el último borde cuyo contraste es mayor que 40.



5. Haga clic y arrastre para dibujar una línea vertical en el costado de la tuerca para encontrar los bordes externos sin tocar el agujero del centro que se usa para el perno. El Asistente de visión etiqueta los bordes 1 y 2. Figura 41



**Sugerencia.** Para dibujar una línea recta, mantenga presionada la tecla <Shift> mientras dibuja la línea.



**Figura 41.** Detección de bordes de la imagen

**Elaborado por el investigador**

6. Haga clic en **Ok** para agregar este paso al script.

### **Tomando las medidas**

Ahora que ha encontrado los bordes necesarios, puede calcular la distancia entre los bordes de la pieza.

La función **Caliper** es una herramienta que utiliza puntos en la imagen para calcular mediciones, como distancias, ángulos, el centro de un segmento o el área, dependiendo de la cantidad de puntos que ha seleccionado en la imagen. Estos puntos son resultados de anteriores pasos de procesamiento, tales como detecciones de bordes y coincidencia de patrones. Complete los siguientes pasos para hacer las mediciones.

1. Seleccione **Caliper** en la pestaña **Machine Vision**, o seleccione **Machine Vision »Caliper**. Figura 42.

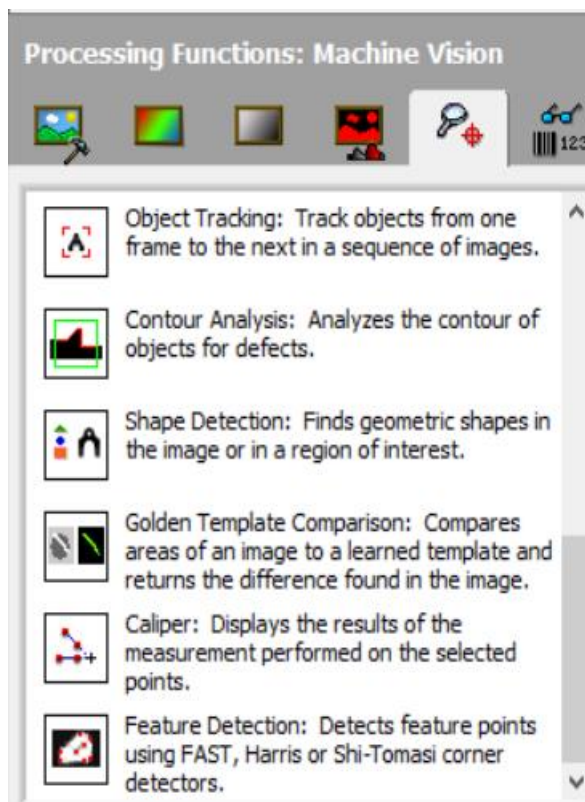
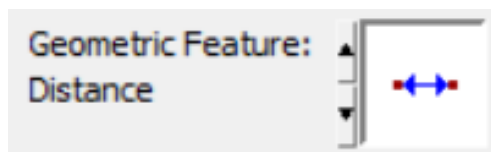



Figura 42. Machine Vision »Caliper

2. Seleccione **distance** in the **Geometric Feature** listbox.



3. Haga clic en los puntos 1 y 2 en la imagen para obtener la medición del lado de la tuerca, cuando selecciona un punto en la imagen, Vision Assistant coloca una marca de verificación al lado del punto correspondiente en la ventana de Configuración Caliper.

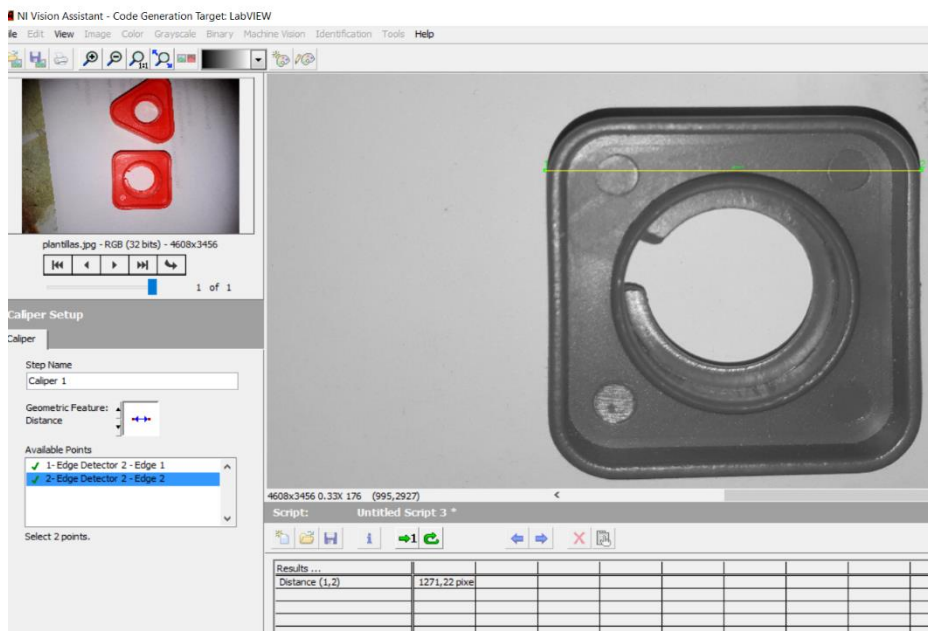
 **Sugerencia** Si tiene problemas para encontrar los puntos, haga clic en la herramienta **Acercar** en la paleta de Herramientas para ampliar la imagen. Los factores de ampliación se muestran en la esquina inferior izquierda de la ventana de procesamiento. 1/1 especifica 100% de aumento (predeterminado). 2/1 especifica

una vista ligeramente ampliada, y un medio especifica una vista ligeramente demagnificada.



**Sugerencia** En lugar de seleccionar puntos de la imagen, se puede seleccionar puntos dando doble clic sobre sus entradas en el cuadro Available points

4. Haga clic en Measure para calcular la distancia entre los bordes de la pieza. La distancia se agrega a la tabla de resultados, como se muestra en la Figura 43.



**Figura 43.** Machine Vision »Caliper

A continuación, se muestra cómo queda el diagrama de bloques terminado de detección de medidas. Figura 44.



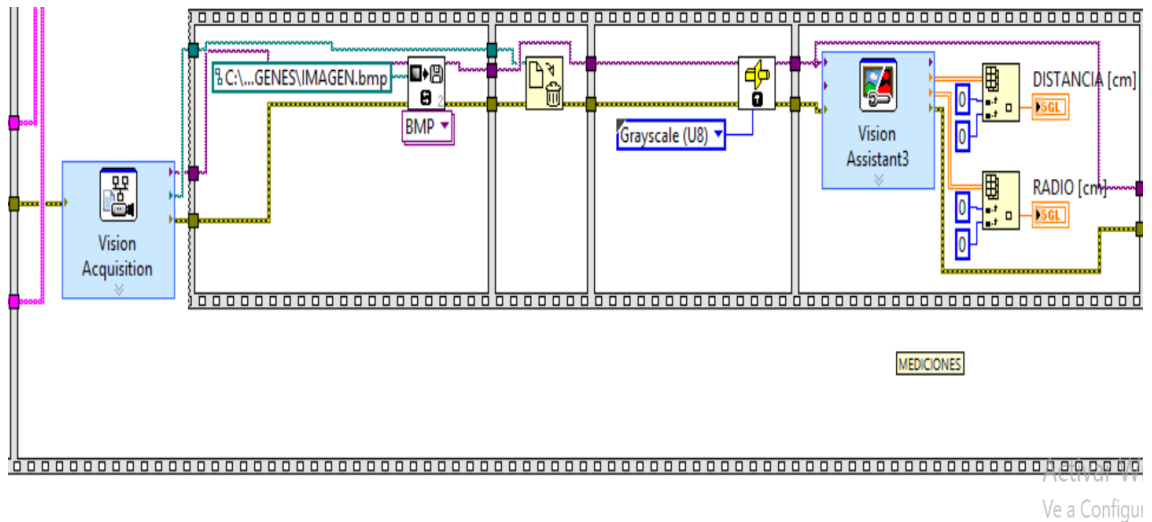


Figura 44. Diagrama de bloques terminado detección de medidas

#### 6.7.4 Selección de defectos superficiales

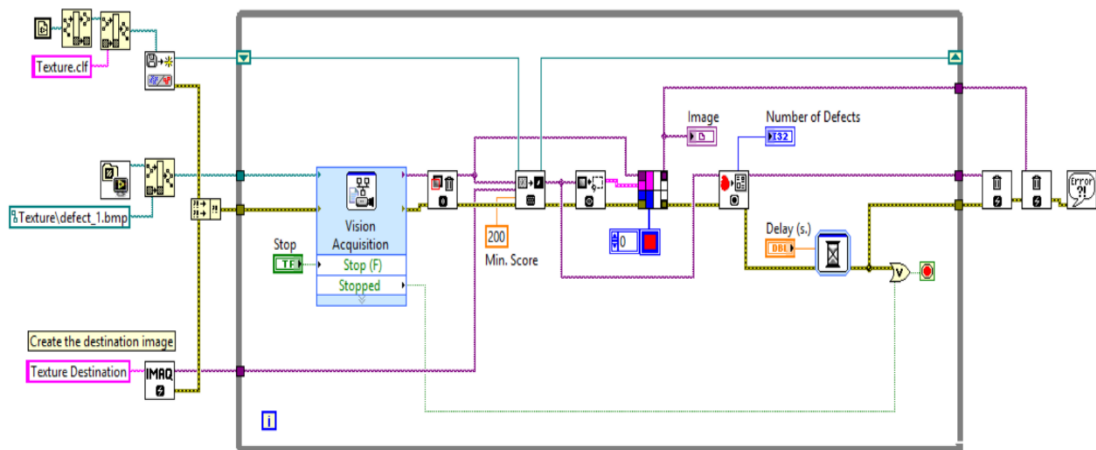
En el programa para detectar defectos superficiales nos basamos en un ejemplo que provee el software Labview llamado texture defect detection.

Este consiste en una etapa de adquisición de imágenes donde se almacenarán las muestras de las imágenes de los objetos a analizar

Luego mediante un conjunto de bloques operativos permitirá detectar defectos en la superficie de los objetos

En Min score se indicará la Puntuación de identificación de defectos es el valor utilizado para determinar si un píxel en la imagen es un defecto. El píxel se clasifica como un defecto si el puntaje de identificación es mayor o igual que este valor.

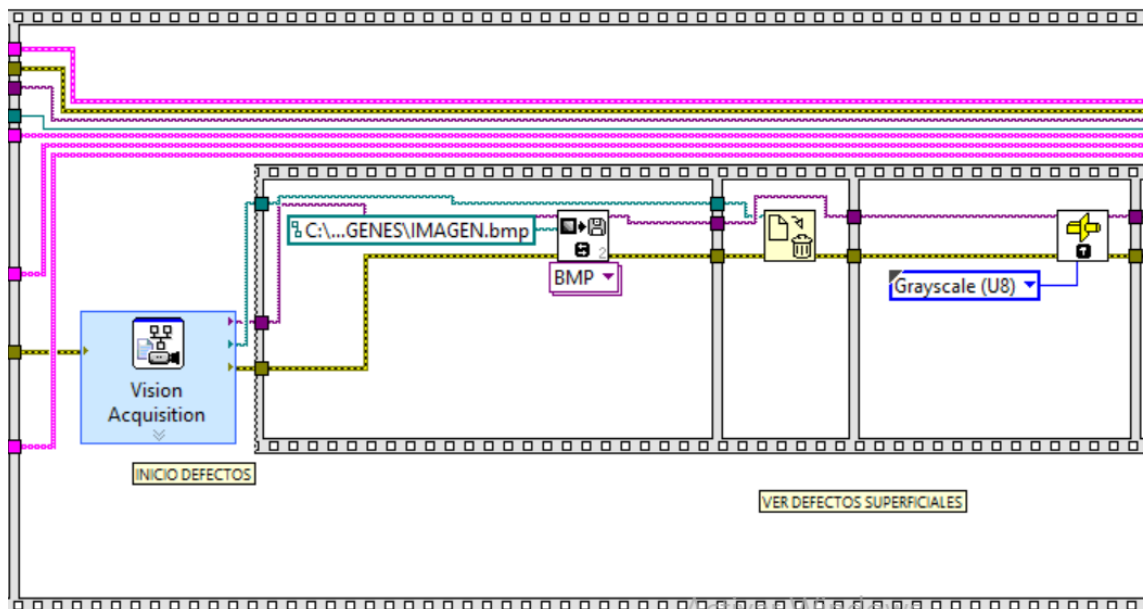
**Colors (Green)** es una matriz de colores asociada con cada uno de los ROI descritos en el descriptor de ROI.



**Figura 45.** Diagrama ejemplo de detección de defectos de textura proporcionado por Labview

**Elaborado por el investigador**

Finalmente, después de haber desarrollado la toma de imágenes a analizar, el diagrama para detectar defectos superficiales se detalla a continuación. Figura 46.



**Figura 46.** Diagrama final detección de defectos superficiales

**Elaborado por el investigador**

### 6.7.5 Descripción de equipos

Para la selección de los dispositivos se consideraron fundamentalmente tres factores: disponibilidad, compatibilidad y coste. A continuación, se detalla los equipos seleccionados.

#### Elementos escogidos para desarrollar la aplicación

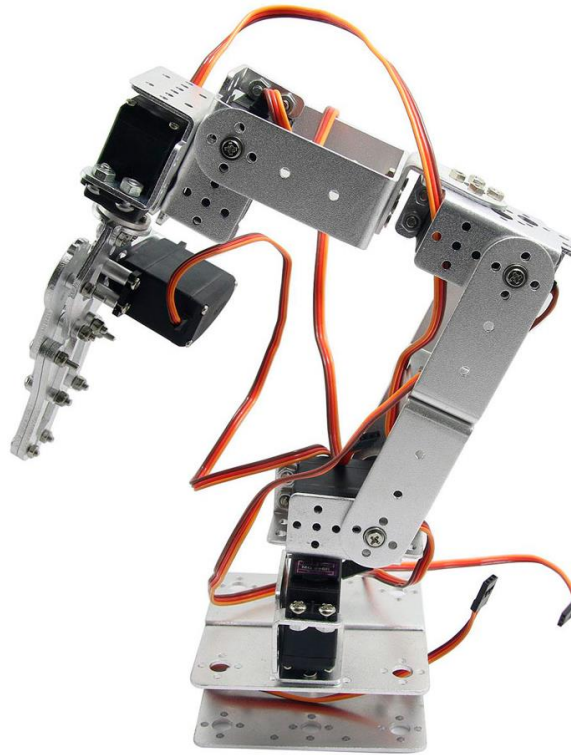
Para adquirir las imágenes de los productos fabricados, se usa una cámara con las siguientes características Sensor (**CMOS 13.0 MP**) configurada para ser utilizada como cámara web del computador

Los elementos escogidos en resumen para desarrollar esta aplicación son:

1. **Cámara:** (**CMOS 13.0 MP**). Contempla al sensor de adquisición de imágenes y sus accesorios ópticos, como lo son los lentes, filtros e iluminación necesaria.
2. **Computadora:** (computador -DEL L Intel Core i7) Interfaz directa con la cámara, procesará y analizará las imágenes muestreadas y dependiendo sea el caso, controlará equipo externo a partir de la información adquirida por las imágenes.
3. **Software:** (LABVIEW 2015) Ambiente de desarrollo de aplicaciones orientadas a visión, permitirá diversos análisis y procesamientos de la imagen adquirida utilizando los recursos físicos de la computadora (deberá tener instalados todos los módulos de visión que permitan desarrollar aplicaciones orientadas a visión )

#### Brazo robótico

Diseñado en una estructura de aluminio que permite un movimiento de 6 grados de libertad mediante servomotores



**Figura 47.** Brazo robótico, con 6 grados de libertad

**Fuente:** (ElectroPro, 2017)

Características se muestran en la tabla 7

**Tabla 7.** Dimensiones y Peso del Brazo Robótico .

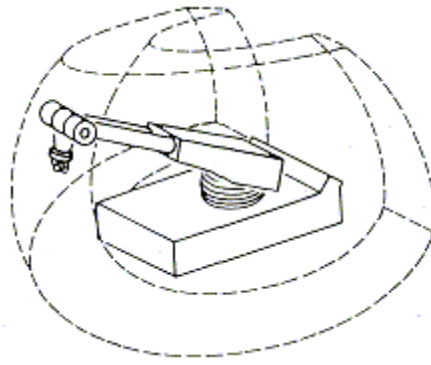
<b>Dimensiones y Peso</b>	
Dimensiones	3.94 in x 3.94 in x 1.97 in (10 cm x 10 cm x 5 cm)
Peso	15.87 oz (450 g)

**Fuente:** Autoría propia.

Tamaño máximo Agarre pinza: 55mm.

Carga útil: 900 g

Volumen de trabajo  $\frac{4}{3} \pi r^3 = 0.2680825731m^3$



**Figura 48.** Volumen de trabajo del brazo, radio = 0,4m

**Fuente:** (Corke, 2017)

### **Servomotor**

Es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición.

Los servomotores poseen tres cables, a diferencia de los motores comunes que sólo tienen dos. Estos tres cables casi siempre tienen los mismos colores, por lo que son fácilmente reconocibles. Figura 49.

<b>Voltaje positivo</b>	<b>Tierra (ground)</b>	<b>Señal de control</b>

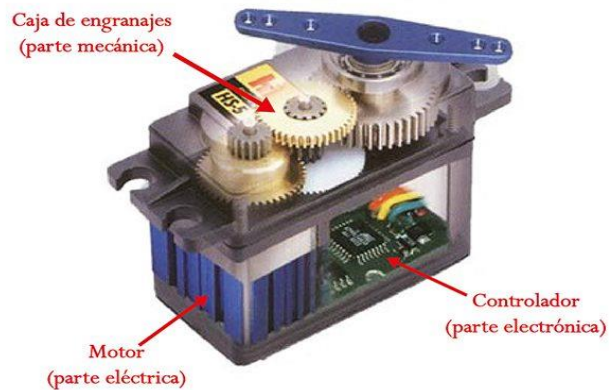
**Figura 49.** Color y función de los cables del servomotor

**Fuente:** (ElectroPro, 2017)

### **Características**

El motor en el interior de un servomotor es un motor DC común y corriente. El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir controlar la posición del eje en un momento dado. Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición cuando se requiera. De forma similar a un

automóvil, a mayor velocidad, menor torque. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.



**Figura 50.** Corte de un servomotor

**Fuente:** (ElectroPro, 2017)

- Torque: 1,8 kgf\*cm @ 4,8 Vcc
- Torque: 2,2 kgf\*cm @ 6 Vcc
- Rotación: 180°
- Temperatura de operación: -30° a 60°
- Velocidad de operación: < 0,1 s
- Alimentación: 3,5 - 6 Vcc 40 mA
- Conector tipo S compatible con receptores Futaba y JR
- Engranaje metálico de larga vida

## **MAQUETA:**



*Figura 51.* Maqueta

**Elaborado por el investigador**

En la maqueta adicionalmente bajo el lente de la cámara se coloca un foco led adicional para evitar inconsistencias de luz al momento de adquirir las imágenes.

Altura de la cámara 130 mm

### **Banda:**

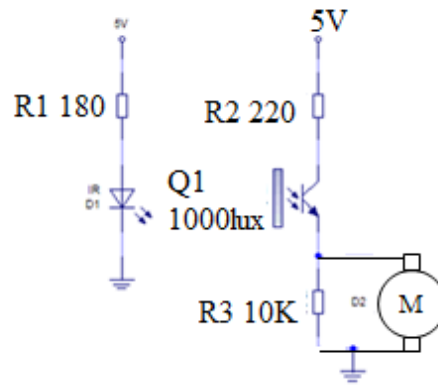
Negra Longitud 1m x ancho 10 cm

### **Motor de la banda**

DC con un torque de 1,2 kgf\*cm @5 Vcc

### **Circuito para activar y detener la banda**

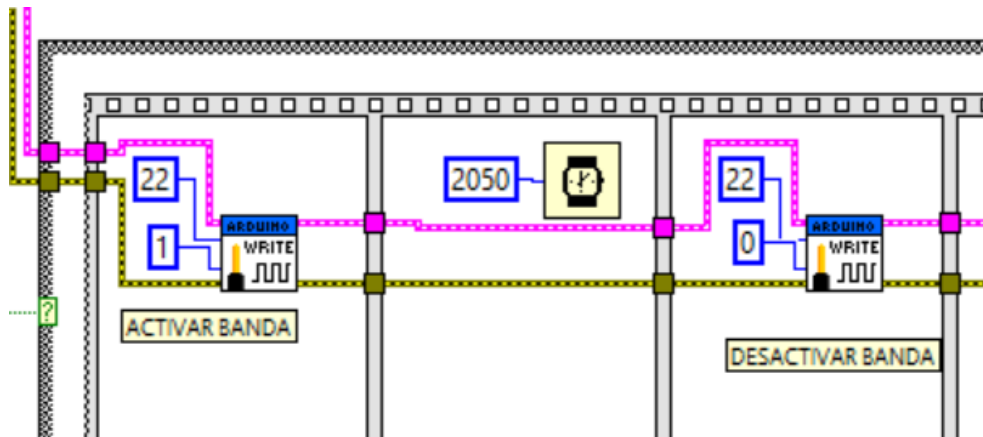
Al iniciar el proceso enviamos un pulso al pin 22 de la tarjeta Arduino donde está conectado el relé que activa o desactiva el motor de la banda para iniciar el proceso. Para detener la banda Utilizamos un diodo emisor y otro receptor de luz infrarroja dispuestos como se observa en el diagrama de la figura, cuando el objeto cruce el haz infrarrojo, se enviará una señal para detener la banda al pin 22 de la tarjeta que es el que gobierna al motor de la banda en la maqueta.



**Figura 52.** Circuito emisor receptor de diodo infrarrojo, para detectar el cruce del objeto.

*Fuente:* (Ferreyra & Fuentes, 2015)

La programación en Labview de la banda quedara como se muestra a continuación. Figura 53.



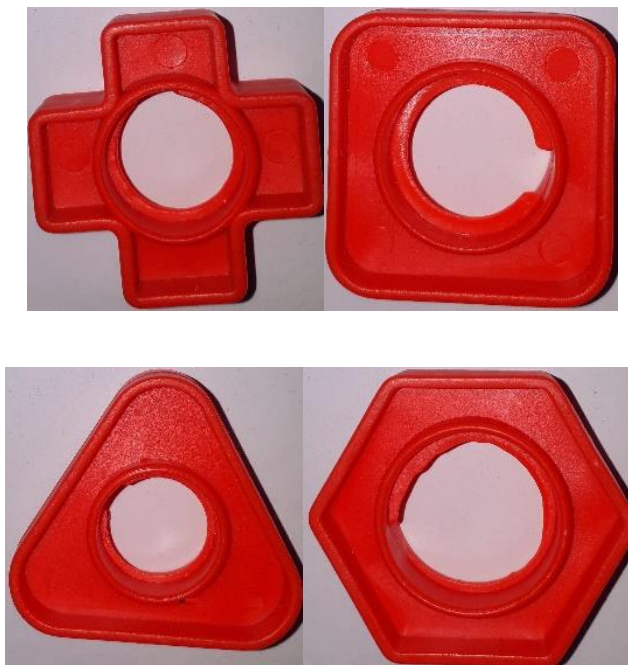
**Figura 53.** Circuito en Labview para activar o desactivar el motor de la banda

**Elaborado por el investigador**

### **Objetos**

Los objetos a evaluar son cuatro piezas geométricas de color anaranjado, a decir: (una cruz, un cuadrado, un triángulo y un hexágono). Figura 54.

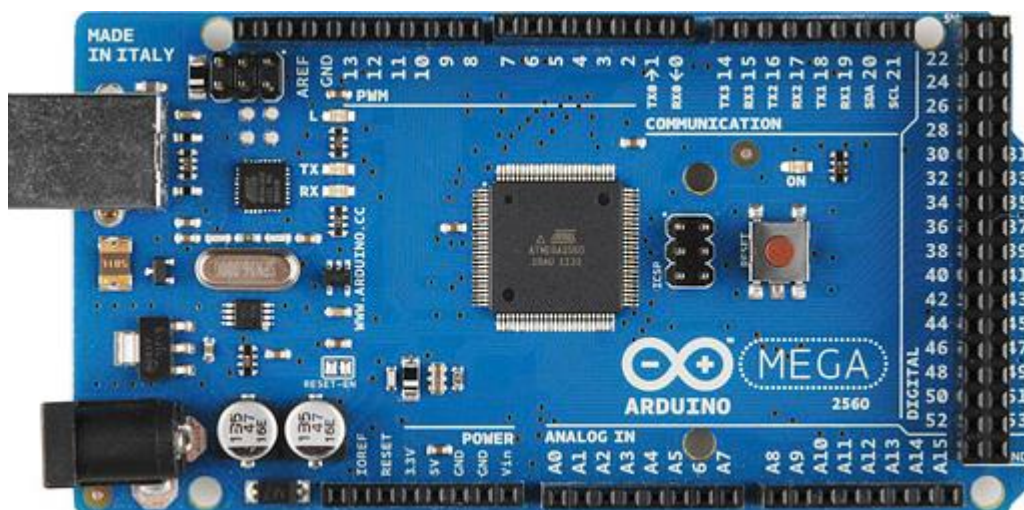




*Figura 54.* Objetos para el reconocimiento

Elaborado por el investigador

### Tarjeta arduino mega



*Figura 55.* Tarjeta Arduino de interfaz de la maqueta con la computadora

*Fuente:* (ElectroPro, 2017)

### **6.7.6 Descripción general**

Para el interfaz máquina robot usamos una tarjeta Arduino Mega 2560 con las siguientes características:

El Arduino Mega 2560 es un tablero de microcontroladores basado en el AT mega 2560. Tiene 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o con un adaptador de CA a CC o batería para comenzar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Uno y los tableros anteriores Duemilanove o Diecimila. El Mega 2560 es una actualización del Arduino Mega, que lo reemplaza. Aquí puede encontrar la información de garantía de su placa.

- Para nuestra maqueta vamos a necesitar
- 6 salidas PWM para los motores del brazo
- 1 salida digital para controlar el relé de la banda

Para nuestra interfaz en este caso utilizamos una tarjeta Arduino Mega 2560, en primer lugar, porque es una tarjeta de la que disponemos. Y porque dispone de los puertos necesarios para desarrollar el proyecto. Así como una conexión USB que facilita la comunicación con el pc para la programación y el control.

De la misma manera la tarjeta Arduino uno cumple los requerimientos para controlar el robot por lo que sería indiferente escoger entre la una y la otra.

Recomendación adicional, todas las tierras tanto de la tarjeta, los motores y la fuente deben ser comunes.

Para alimentar los motores se utiliza una fuente externa para evitar problemas de sobrecarga en la tarjeta, Se seleccionó una fuente de computadora.

Para que la fuente funcione sin necesidad de conectar la fuente a la placa base del computador debemos realizar lo siguiente: el cable verde debe estar en corto circuito con el negro.

### **Elección de fabricante**

La cámara seleccionada es un modelo CMOS 13.0 MP, incorporada en el teléfono celular Samsung modelo A5. La marca Samsung es reconocida y de prestigio a nivel mundial, con esto no se quiere decir que no se puede escoger otros productos existentes en el mercado y que son de alta calidad, la decisión que se tome vendrá dada por la gama de productos, por la claridad de sus especificaciones técnicas, y ante todo por el uso actual en las diferentes instalaciones que se tiene para los sistemas de calidad con visión artificial.

El computador utilizado como interfaz entre los elementos de adquisición de imágenes y el brazo robótico que discrimina las piezas aprobadas y rechazadas, es un Pc DELL Intel Core i7, marca reconocida y de prestigio a nivel mundial, como se muestra en la figura 56.



*Figura 56.* PC DELL Intel Core i7

*Fuente:* (ElectroPro, 2017)

Brazo robótico con 6 grados de libertad de movimientos y capacidad de carga, fue seleccionado por ajustarse a nuestra necesidad de trabajo.

Para poder realizar la inspección de las piezas fabricadas es necesario contar un sistema de transporte, en el que se coloca manualmente los elementos a inspeccionar, que los moviliza de un lugar a otro. Este sistema se fabricó en forma artesanal por el autor del proyecto.

Para el procesamiento de la información se utiliza el Software del sistema que procesa la información es LABVIEW 2015, por que dispone de todos los módulos de Visión.

Adicionalmente debo indicar que de los equipos seleccionados, como investigador disponía del teléfono Samsung A5 y de la computadora DELL Intel Core i7.

## 6.7.7 Propuesta económica

### 6.7.7.1 Presupuesto referencial

#### Costos directos para la ejecución del trabajo de titulación.

Me permiten verificar los recursos que influyeron directamente en la realización del proyecto. Tabla 8

#### Costos Directos

*Tabla 8. Costos Directos*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
MANO DE OBRA			
<b>Elaboración tesis / Maestrante</b>	1000 horas	5,00	5000,00
MATERIALES			
<b>Brazo Robótico</b>	1 UN	300,00	300,00
<b>Banda Transportadora</b>	1 UN	65,00	65,00
<b>Computadora *</b>	1 UN	400,00	400,00
<b>Protoboard</b>	1 UN	3,00	3,00
<b>Fuente</b>	1 UN	15,00	15,00
<b>SUBTOTAL(USD):</b>			<b>5783,00</b>

\*El valor de la computadora es de USD 2,000.00, para efectos de este trabajo se considera el 20% del valor total, debido a que el equipo se deprecia en línea recta en 5 años.

### Costos Indirectos

Costos que intervienen para la realización del proyecto, pero no se incorporan físicamente en este en el producto. Tabla 9

**Tabla 9.** Costos Indirectos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
MANO DE OBRA			
<b>Director</b>	40 horas	50,00	2000,00
MATERIALES			
<b>Útiles de oficina</b>	(cuadernos, esferos, lápices, borrador, papel bond)	20,00	20,00
<b>Transporte terrestre</b>	15 viajes (terrestres y aéreos)	600,00	600,00
<b>Servicios básicos (teléfono, internet, electricidad, otros)</b>	Mensual	30,00	360,00
<b>Impresiones (color, blanco y negro)</b>	UN	0,25	75,00
<b>Empastado del trabajo final</b>	4 UN	10,00	40,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>3095,00</b>

Fuente: Cotizaciones.

Elaborado por: Investigador

### Total, general de costos del proyecto

Sumatoria de los subtotales de los costos directos e indirectos para conocer el valor total de realización del proyecto. Tabla 10.

## Costo total del proyecto

**Tabla 10.** Costo total del proyecto

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL USD
<b>Subtotal costos directos</b>	<b>5783,00</b>
<b>Subtotal costos indirectos</b>	3095,00
<b>Imprevistos (5%)</b>	444,00
<b>VALOR TOTAL PRESUPUESTADO</b>	<b>9322,00</b>

Fuente: Autoría propia.

Elaborado por: Investigador

### 6.7.7.2 Análisis económico

Cuando hablamos de control de calidad y más concretamente de los beneficios que se obtienen, al utilizar un sistema de visión artificial, es un componente importante en el costo beneficio de las empresas.

Realizar un análisis económico costo beneficio en la implementación de este sistema de control de calidad no fue posible, debido a que en las empresas investigadas no contaba con un sistema de control de calidad con visión artificial.

Es por eso que este proyecto se realizó tomando en cuenta las necesidades de mejorar los controles de calidad en los productos finales, disminuyendo costos y mejorar la competitividad.

Hay que tomar en cuenta que, en los últimos años con incursión de los avances tecnológicos en las industrias, se han tenido mejoras en el tema de control de calidad de sus productos, por lo que es recomendable que se empiece a instalar sistemas de visión artificial.

Lógicamente la mejor forma de realizar una comparación es ver el antes y el después de una instalación de este tipo de sistemas, de tal modo que podamos tener los gastos desglosados de la parte que nos interesa de los costos invertidos en el control de la calidad. En cualquier caso, no cabe duda que el ahorro siempre se va

a producir en mayor o menor medida y en función de todos los factores de control que introduzcamos en el sistema, así como de la eficiencia del mismo.

## **6.8 Conclusiones y recomendaciones**

### **6.8.1 Conclusiones**

- El NI Vision Development Module está diseñado para ayudar a desarrollar y desplegar aplicaciones de visión artificial. Incluye cientos de funciones para procesar imágenes realizándolas, verificando presencia, localizando características, identificando objetos y midiendo partes, por lo que es de mucha utilidad si se utiliza en un sistema de control de calidad.
- En este trabajo se probó en laboratorio la posibilidad de implementar un sistema de control de calidad en función del color, forma, tamaño y defectos superficiales. Utilizando el software Labview.
- Se desarrolló los bloques de control en el software Labview para manejar mediante Arduino un brazo robótico para la clasificación de piezas aprobadas y rechazadas, con lo cual se verifico que el sistema funciona correctamente.
- Este trabajo me permitió profundizar en el empleo del software Labview para el procesamiento de imágenes, que puede ser de mucha utilidad en el control de calidad en las industrias, porque se puede detectar características o defectos no visibles fácilmente el ojo humano.

### **6.8.2 RECOMENDACIONES**

- Al seleccionar los dispositivos, se recomienda observar muy detenidamente las características técnicas de cada uno de los elementos, las mismas que están claramente definidas en los manuales y hojas de datos lo cual permite verificar que los elementos sean compatibles entre sí.
- Para obtener mayor precisión se recomienda trabajar con imágenes de alta calidad, utilizando una cámara de alta resolución con lo cual se resuelve completamente el problema.

- Se recomienda realizar varias pruebas de funcionamiento considerando todos los módulos visión necesarios de LABVIEW para evitar retrasos y confusiones en la programación. Estas pruebas permiten detectar errores y corregirlos a tiempo, optimizando así el funcionamiento del sistema.
- Si se desea implementar este sistema en una línea de producción a nivel industrial se recomienda tomar las muestras de las imágenes en el lugar donde está instalado el equipo, para evitar inconsistencias de luz y la muestra sea homogénea.

## **6.9 Bibliografía y linkografía**

### **6.9.1 Bibliografía**

[1] Domingo Mery; Inspección Visual Automática; Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Santiago de Chile.

[2] Eddie Sobrado Malpartida, Julio C. Tafur; Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot; Sección Electricidad y Electrónica, Pontificia Universidad Católica del Perú

[3] Erick Gregorio Velásquez Hernández; Simulación sistema de clasificación de objetos basado en visión artificial; Universidad Nacional Abierta y a Distancia; Ibagué, Colombia.

[4] Verónica Marisol Gallo Caiza, Fernando David Saá Tapia; Diseño e implementación de una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el laboratorio de robótica industrial de la ESPE-L; Escuela Superior Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga.

[5] Patricia Nataly Constante Prócel; Diseño e implementación de un prototipo de brazo robótico para aplicaciones de clasificación y reconocimiento de formas en el proceso de pale-tizado empleando procesamiento digital de imágenes; Escuela Superior Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga



- [6] Víctor Vargas Baeza; Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas; Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica; México.
- [7] Israel Jacinto Amancha Torres; Visión artificial para verificar el nivel de llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica; Universidad Técnica de Amato.
- [8] Peter Corke; Vision and Control, fundamental algorithms in Matlab; Editorial: Springer; 2011
- [9] Chris Solomon, Toby Breckon; Fundamentals of digital image processing; Publication: Wiley-Blackwell; 2011
- [10] Samarth Brahmhatt; Practical Open CV; Editorial: Apress.
- [23] S. L. Phung, A. Bouzerdoun, and D. Chai. Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison; IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(1):148–154, Jan 2005. 2
- [27] M. C. Shin, K. I. Chang, and L. V. Tsap. Does color space transformation make any difference on skin detection? In Applications of Computer Vision, 2002. (WACV 2002). Proceedings; Sixth IEEE Workshop on, pages 275–279, 2002.
- [28] A. C. Sorter. Lds plástico clasificador de color. In Clasificadores del Color. ANCO Color Sorter, 2016.
- [29] B. Terms. Máquina clasificadora de granos. Business Terms, Mayo 2016.
- [30] J. C. Terrillon, M. N. Shirazi, H. Fukamachi, and S. Akamatsu; Comparative performance of different skin chrominance models and chrominance spaces for the automatic detection of human faces in color images. In Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE; International Conference on, pages 54–61, 2000.

[35] Y.-H. Wu and H.-P. Huang. Robust color classification for global soccer vision. In IEEE International Conference on Mechatronics, 2005. ICM '05., pages 439–444, July 2005.

[37] L. Zheng, X. Li, X. Yan, F. Li, X. Zheng, and W. Li. Lip color classification based on support vector machine and histogram; In Image and Signal Processing (CISP), 2010 3<sup>rd</sup>, International Congress on, volume 4, pages 1883–1886, Oct 2010.

### **6.9.2 Linkografía**

[25] Worldwide Technical Support and Product Information ni.com

[26] <https://www.dev47apps.com/>

[27] <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

[28] <http://www.steren.com.mx/micro-servomotor-con-torque-de-2-2-kgf-cm.html>

[29] <http://www.circuitoselectronicos.org/2010/05/sensor-de-infrarrojos-emisor-y-receptor.html>

## ANEXOS

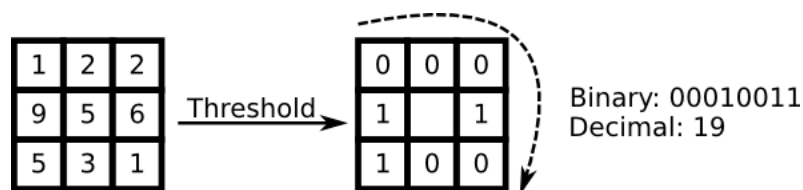
### ANEXO 1

#### LBP (Patrones locales Binarios)

Los LBP (Local Binary Patterns) son descriptores de textura, estos se construyen comparando cada píxel con su vecindad de píxeles. Para construir un LBP es necesario cambiar la imagen a escala de grises, a continuación, se selecciona la vecindad de un tamaño definido que rodea a cada píxel central, posteriormente se calcula el valor LBP para el píxel central y se almacena en la matriz central 2D con las mismas dimensiones de la imagen original. (Hanzra, 2015).

#### Construcción de un LBP.

Para construir un LBP es necesario tomar un vecindario de 8 píxeles, que rodean el píxel central con la finalidad de establecer el umbral y construir un conjunto de 8 dígitos binarios. (Rosebrock, 2015)



**Figura 57.** Vecindario de un píxel central (5).

Como se puede observar en la Figura 57 el píxel central es el número 5 los valores que sean menores a 5 tendrán un valor binario de 0 mientras que los valores mayores o iguales a 5 tienen un valor binario de 1, con esto se puede obtener el número binario de todas las posiciones de la matriz y formar el valor de LBP decimal. La umbralización puede empezar desde cualquier píxel contiguo al píxel central y puede ser generado en sentido horario y anti horario. (Hanzra, 2015).

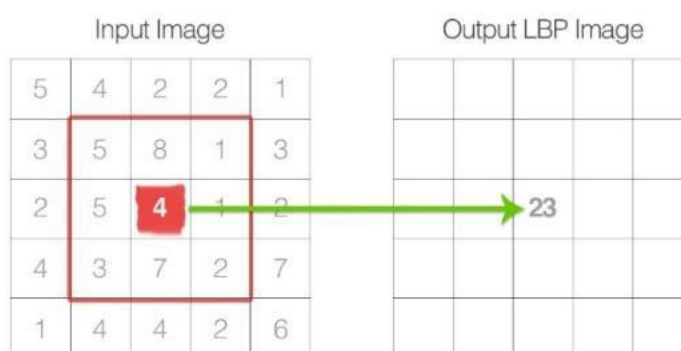
La descripción matemática del LBP puede estar expresado como:

$$LBP = (X_c, Y_c) = \sum_{p=0}^{p-1} 2^p s(i_p - i_c)$$

Con  $(X_c, Y_c)$  como píxel central  $i_c$  y  $i_p$ , siendo la intensidad del píxel vecino,  $p$  es total de número píxeles de la matriz (en la Figura 56 se muestra una matriz de 3x3 por lo tanto  $p=9$ ) (OpenCV, s.f.),  $s$  es la función definida como:

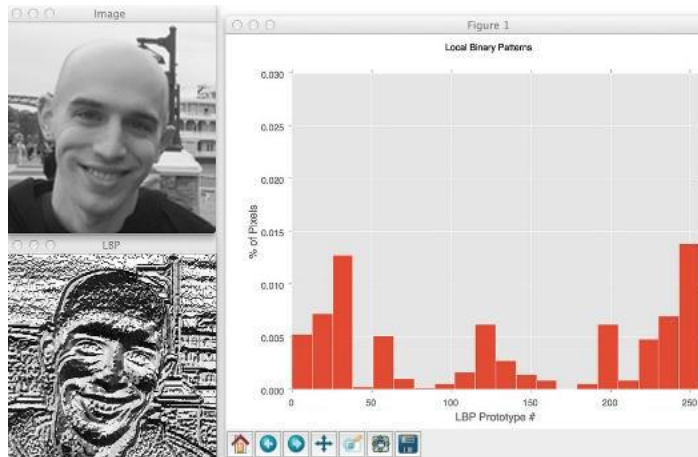
$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{else } x < 0 \end{cases}$$

Cuando el valor LBP es encontrado este es remplazado en la matriz LBP de la imagen de salida en la misma posición del valor de píxel y con la misma dimensión que la imagen de entrada u original, como se muestra en la Figura 58. Este proceso se realiza con cada uno de los píxeles de la imagen.



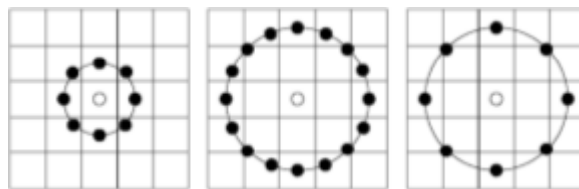
**Figura 58.** Imagen inicial e imagen Final LBP.

El vector de características está representado en el histograma de la matriz de salida. Como la vecindad tiene  $2^8 = 256$  patrones, la matriz LBP tiene un valor mínimo de 0 y un máximo de 255, lo que nos permite construir un histograma de 256 bits de códigos LBP.



**Figura 59.** Vector de características LBP.

En el caso anterior se puede observar que su vecindario es constante (3x3), se puede trabajar con vecindarios variables para vecindarios de otro tipo de escala, para esto se utiliza vecindarios circulares.



**Figura 60.** Vecindarios circulares

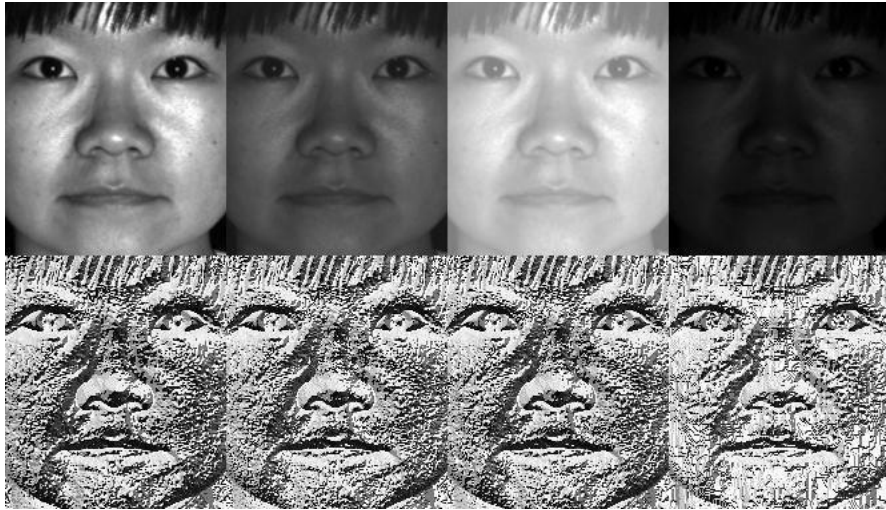
La representación matemática para obtener los valores LBP mediante vecindarios circulares para un punto dado  $(X_c, Y_c)$  de la posición del vecino  $(X_p, Y_p)$ ,  $p \in P$  puede ser calculado por:

$$x_p = x_c + R \cos\left(\frac{2\pi p}{P}\right)$$

$$y_p = y_c + R \sin\left(\frac{2\pi p}{P}\right)$$

Dónde  $R$  es el radio del círculo y  $P$  es el número de puntos de muestra. (OpenCV, s.f.).

El descriptor LBP es robusto frente a transformaciones de escalas de grises, en la Figura 61. se puede comprobar que la imagen LBP es casi la misma frente a diferentes imágenes de entrada en escala de grises.

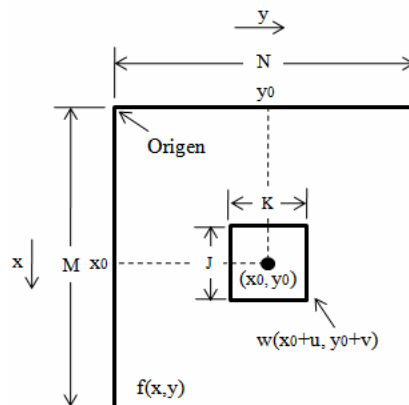


**Figura 61.** LBP frente a diferentes escalas de grises.

## ANEXO 2

### GENERALIDADES SOBRE LA TÉCNICA DE CORRELACIÓN DE IMÁGENES.

El principal uso de la correlación es para determinar qué tan similares son dos imágenes. En este proceso  $f(x,y)$  es una imagen que contiene objetos de interés. Si se quiere determinar si  $f$  contiene un objeto en particular, se genera una plantilla de ese objeto,  $w(x,y)$ . Por tanto, si existe una concordancia, la correlación de las dos funciones será máxima en la ubicación donde  $w$  encuentra similitud en  $f$ . La Figura 57 muestra el procedimiento de correlación, en donde la plantilla  $w(x,y)$  es de tamaño  $J \times K$  dentro de la imagen  $f(x,y)$ , la cual es de tamaño  $M \times N$ , asumiendo que  $J \leq M$  y  $K \leq N$ . El origen de  $f$  es en la parte superior izquierda y el origen de  $w$  es en su centro. Para un valor de  $(x,y)$ , digamos  $(x_0,y_0)$  dentro de  $f$ , se obtiene un valor de correlación. Al variar las coordenadas 'x' 'y', la plantilla se mueve alrededor del área de la imagen, [1] dando una función de correlación. El máximo valor de la función de correlación indica la posición en la cual  $w$  tiene mejor igualdad (González y Wood [2]).



**Figura 62.** Arreglo para obtener la correlación de  $f$  y  $w$  en un punto  $(x_0,y_0)$ .

### **Correlación cruzada normalizada (CCN)**

Lewis [3], señala que el uso de correlación cruzada para igualar una máscara o plantilla es motivada por la medición de distancia (Distancia Euclídeana cuadrada)

$$d^2_{f,w}(u, v) = \sum_{x,y} [f(x, y) - w(x + u, y + v)]^2 \quad (1)$$

Donde  $f$  es la imagen y la suma es sobre  $x, y$  bajo la ventana que contiene a la plantilla  $w$  colocada en  $u, v$ . En la expansión de  $d^2$

$$d^2_{f,w}(u, v) = \sum_{x,y} [f^2(x, y) - 2f(x, y)w(x + u, y + v) + w^2(x + u, y + v)] \quad (2)$$

El término  $\sum w^2(x + u, y + v)$  es constante. Si el término  $\sum f^2(x, y)$  es aproximadamente constante, entonces lo que permanece en el término de correlación cruzada es

$$c(u, v) = \sum_{x,y} f(x, y)w(x + u, y + v) \quad (3)$$

Esta es la medición de la similitud entre la imagen y la plantilla. Existen varias desventajas en el uso de la ecuación 3 para la igualación de la plantilla.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] *R. H. Estrada-Ruiz* \*, *R. Pérez-Garibay*. Análisis de imágenes de espumas de flotación: cálculo de la Velocidad de la espuma empleando la técnica de correlación Cruzada normalizada; 2009.

[2] *González R. C.*, *Woods R. E.* Digital Image Processing Second Edition. Prentice Hall, pp. 793. 2002.

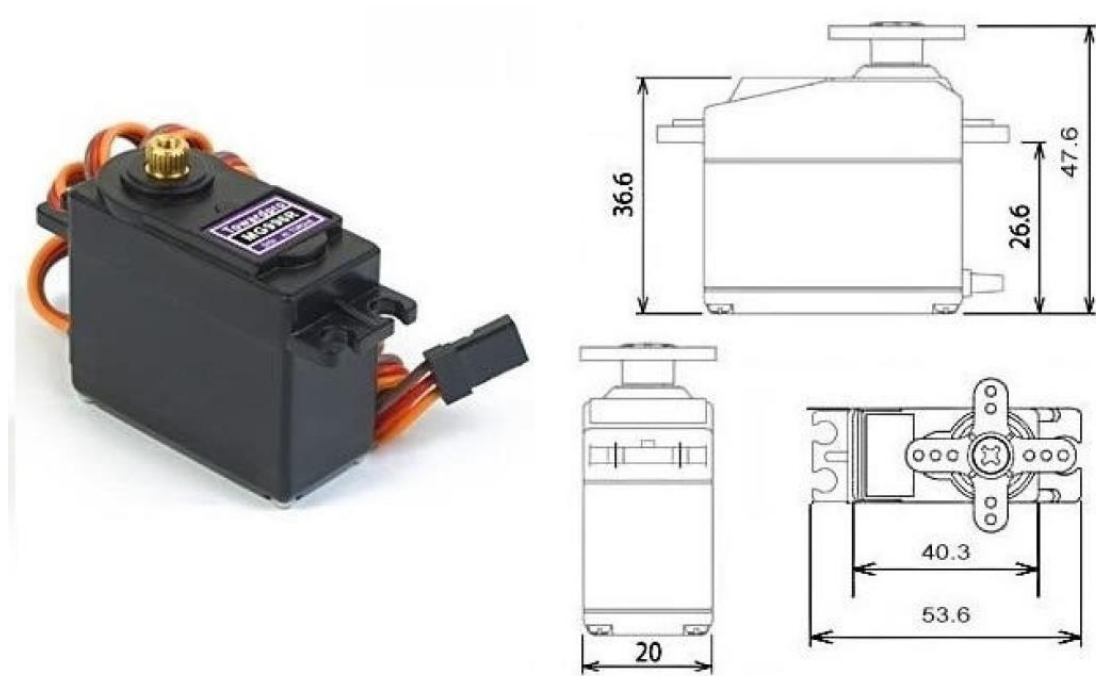
[3] *Lewis J. P.* Fast normalized cross correlation. Available from: ([www.idiom.com/~zilla/index.html#Publications](http://www.idiom.com/~zilla/index.html#Publications)). 2003.



## ANEXO 3

### MG996R High Torque

#### Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



*Figura 63.* Metal Gear Dual Ball Bearing Servo

This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos,

so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

### Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5  $\mu$ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C –55 °C

