



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE CALIDAD, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL, EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS.



AUTOR

Sergio Daniel Frutos Galarza

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE CALIDAD, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL, EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Producción Industrial.

Profesor guía

MSc.Omar Cristobal Flor Unda

Autor

Sergio Daniel Frutos Galarza

Año

2017

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Omar Cristobal Flor Unda.

Master of Science.

CI: 1713531331

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Christian Leonardo Chimbo Naranjo.

Master of Science.

CI: 1802719581

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Sergio Daniel Frutos Galarza.

CI: 1721154290

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios, a mis padres por todo el apoyo que me han sabido brindar y a mi tutor guía por haber dedicado su tiempo en compartirme sus conocimientos.

DEDICATORIA.

Este trabajo está dedicado a todas las personas que quiero mucho y confían en mí.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema automático de control de calidad para los módulos de manufactura existentes en el laboratorio de Producción Industrial.

La implementación de este sistema permitirá la obtención de variables de calidad como la forma, tamaño y color, variables que son de interés en múltiples aplicaciones de la industria en general.

Mediante un software, cámara de visión, instrumentos electrónicos y empleando técnicas de análisis, pre-procesamiento y procesamiento de la imagen, se identificarán defectos en el sistema automatizado.

Se implementará un mecanismo que permita la salida del proceso a piezas que no cumplan condiciones referentes a las variables mencionadas.

Se realizarán pruebas para validar la funcionalidad del sistema y su comportamiento en operación.

Finalmente se concluirán los beneficios, impacto y ventajas de la implementación de esta técnica en los procesos productivos del Ecuador.

ABSTRACT

The present work consists in the design and implementation of a system automatic of control of quality to them modules of manufacturing existing in the laboratory of production Industrial

The implementation of this system will allow obtaining quality as the shape, size and color variables, variables that are of interest in many applications of the industry in general.

Using a software, camera of vision, instruments electronic and using technical of analysis, preprocessing and processing of the image, is identify defects in the system automated.

Is will implement a mechanism that allow the output of the process to parts that not met conditions relating to the variables mentioned.

Tests will be conducted to validate the functionality of the system and its operation behavior.

Finally is will conclude them benefits, impact and benefits of the implementation of this technical in those processes productive of the Ecuador.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
ALCANCE	3
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1. CAPITULO I MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Sistema Automático.....	5
1.2. Inteligencia Artificial.....	6
1.2.1. Historia de la Inteligencia Artificial.	7
1.2.2. Áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial.	8
1.3. Visión Artificial.	12
1.3.1. Aplicaciones de la visión artificial.....	12
1.3.2. Componentes de un sistema de visión artificial.....	14
1.3.3. Tipos de Iluminación utilizados en el sistema de visión artificial.....	17
1.3.4. Técnica de visión por computador.	23
1.3.5. Visión artificial en el control de la calidad.	28
1.3.6. Herramientas utilizadas para el control de calidad.....	32
2. CAPITULO II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD.	39

2.1. Descripción de operación de módulos de manufactura flexible.....	39
2.2. Esquema y selección de componentes para el sistema de visión artificial.....	42
2.2.1. Esquema de los componentes utilizados para el sistema de visión artificial.....	42
2.2.2. Esquema de conexión de los componentes para el sistema de visión artificial.	43
2.2.3. Selección de componentes físicos.....	44
2.2.4. Selección de Software.	45
2.3. Implementación de un sistema automático de visión artificial para el control de la calidad.....	46
2.3.1. Diseño de iluminación.....	46
2.3.2. Adquisición de una imagen.....	47
2.3.3. Preprocesamiento.....	48
2.3.4. Procesamiento.....	49
2.4 Comunicación entre sistema de procesamiento y sistema mecánico.....	53
2.4.1. Conexión del protoboard.....	53
2.4.2. Conexión de placa arduino.	55
2.4.3. Conexión del sensor de movimiento.....	56
2.4.4. Conexión del servomotor.	57
2.5 Secuencia de imágenes de reconocimiento del sistema de visión artificial.....	59

3. CAPITULO III ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE CONTROL POR VISIÓN ARTIFICIAL.	62
3.1. Variables de control.	62
3.2. Pruebas de funcionamiento.	63
3.3. Análisis de resultados.	63
3.3.1. Análisis de variable color.	64
3.3.2. Análisis de variable forma.	69
3.3.3. Análisis de la variable tamaño.	73
3.4. Diagrama causa efecto.	77
4. CAPITULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO.	78
4.1. Costo de cada Material.	78
4.2. Costo de Mano de obra.	84
4.3. Costo de materiales indirectos.	84
4.4. Resumen de todos los costos empleados.	85
4.5. Beneficios de la implementación de visión artificial para una empresa mediante análisis VAN Y TIR.	86
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1 Conclusiones.	91
5.2 Recomendaciones.	92
REFERENCIAS	93
ANEXOS	99

INTRODUCCIÓN.

Hace unos años atrás, implementar un sistema de visión artificial en las industrias, era una apuesta hacia la innovación y mejoramiento de la calidad en el proceso de fabricación, hoy en día el sistema de visión artificial se ha convertido en una necesidad referente a la calidad de los productos y la reducción de costos a nivel de la producción. Países como Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido, Holanda, Japón Corea del sur, entre otros han mejorado notablemente sus procesos productivos en múltiples áreas gracias a que ha existido una mayor inversión e innovación por la implementación de este sistema.

En el Ecuador, el sistema de visión artificial puede ser una gran oportunidad para empezar la automatización industrial, y sobretodo mejorar los procesos productivos y calidad de nuestros productos, permitiendo que la industria ecuatoriana sea más competitiva a nivel mundial.

Es por ello que en el laboratorio de Ingeniería en Producción Industrial de la Universidad de las Américas se realizarán prácticas de simulación en módulos Flexible que permitan la comprensión y estudio de los procesos industriales.

Los módulos flexibles permiten la distribución, verificación y clasificación de piezas de diferente color y altura. Este sistema solamente clasifica piezas de color, textura brillante o negras. Esta restricción no permite simular procesos con productos más complejos ya que existen industrias que presentan defectos múltiples en sus productos como: color, tamaño, forma y superficie.

Para lograr un sistema que permita determinar errores y rechazarlos, se estudiará e implementará un sistema de visión artificial que permitirá determinar piezas que el equipo no logra reconocer normalmente.

La implementación de técnicas de visión artificial mejora la capacidad de los módulos con el objetivo de trabajar con piezas defectuosas y permitirá al estudiante trabajar en casos más reales a los que se enfrenta la industria en general.

Luego de implementar el sistema de visión artificial, se brindará al estudiante el beneficio de conocer y emplear este tipo de sistemas para la mejora del control de calidad realizando un análisis automático de todas las piezas que atraviesan los módulos flexibles y sus posibilidades de defectos.

El trabajo en el desarrollo de un sistema automático, permitirá poner en práctica conocimientos adquiridos en asignaturas como automatización, electrónica, Control de Calidad, Sistemas Neumáticos además de otras asignaturas que son bases fundamentales para su desarrollo.

La implementación de este proyecto aporta en el crecimiento de posibilidades y aplicaciones prácticas para el laboratorio de producción industrial. El diseño e implementación de un sistema automático de control de la calidad para el módulo de manufactura flexible de la Universidad de las Américas, ayudará a incorporar un análisis mediante tolerancias para verificar el color, forma y tamaño.

ALCANCE

En este trabajo se desarrollará un sistema que mejore el control de calidad en los módulos de manufactura flexible existentes en el laboratorio de Producción Industrial. Este sistema permitirá detectar la presencia de defectos o errores en las piezas que participan en los procesos de los módulos. De esta forma se pretende simular un control de calidad en una línea de manufactura lo más cercanamente posible a la realidad. Este sistema permitirá detectar piezas que no cumplan alguna característica específica como color, tamaño y forma.

Para garantizar que las piezas que se procesen no tengan defectos, se implementará un actuador eléctrico que permita la salida de las piezas que no cumplan con parámetros especificados por el control de calidad o por especificaciones preestablecidas.

Este sistema funcionará de manera paralela, podrá adquirir imágenes para el análisis, interpretará si la pieza debe continuar en el proceso (Clasificación) o deberá considerarse un producto defectuoso. Posterior al desarrollo se validará la funcionalidad del sistema en operación y se realizará una verificación de control estadístico.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la estación de clasificación del módulo flexible del laboratorio de producción industrial de la universidad de las Américas.

Las piezas que se utilizarán para el presente proyecto serán tres rojas, tres negras y tres platas, más una adicional que se fabricará en la impresora 3D de la Universidad de las Américas que servirá para la detección del color diferente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar e implementar un sistema automático de control de calidad para el módulo de manufactura flexible del laboratorio de producción industrial para la Universidad de las Américas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Investigar técnicas de control visual para la determinación de calidad de un producto.
- Implementar en los módulos de manufactura flexible un sistema que obtenga información de la pieza y extraiga parámetros para el control de calidad.
- Diseñar un sistema mecánico que permita la discriminación de productos defectuosos sin alterar el funcionamiento continuo del módulo de clasificación.
- Presentar la información de una manera visual que facilite el control de calidad y análisis de la información contenida.
- Validar el sistema implementado.

1. CAPITULO I MARCO TEÓRICO.

1.1. Sistema Automático.

Sistema automático se puede comprender mediante dos conceptos fundamentales:

- Sistema: Conjunto de elementos que relacionados entre sí de forma ordenada que contribuye a alcanzar un objetivo.
- Automática: Ciencia que permite sustituir tareas repetitivas mediante el empleo de dispositivos mecánicos, eléctricos o electrónicos.

Por lo tanto Según (Uriarte y Alarcos, 2011), un sistema automático es un conjunto de componentes físicos que están relacionados entre sí, donde se transfieren tareas de producción realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automático está compuesto de tres elementos fundamentales:

Entradas: Las entradas permiten detectar las variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación son por ejemplo la temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, etc.

Unidad de Control: La unidad de control se encarga de coordinar y dirigir las operaciones del sistema.

Salidas: Las salidas son la respuesta del sistema.

Un sistema automático tiene gran importancia en las industrias, ya que debido al aumento de la producción este, resulta ser de gran ayuda y permite un uso eficiente de la materia prima, mejora de tiempos, reducción de errores y por tanto mejora de la calidad.

Este sistema tiene un conjunto considerable de componentes como actuadores, sistema de control y programación lógica, sensores, máquinas y mecanismos que permiten realizar procesos específicos.

En la figura 1 se observa un ejemplo real de un sistema automático de llenado de Botellas de la marca Siraga.



Figura 1: Proceso automatizado de llenado de botellas.

Tomado de: Equipos Siraga, s.f.

1.2. Inteligencia Artificial.

La Inteligencia artificial es un sistema automático de control, que consisten el diseño de procesos que, al ejecutarse sobre una arquitectura física, producen resultados que maximizan una cierta medida de rendimiento, reemplazando tareas que normalmente requieren de la inteligencia humana (Herrera, 2016).

La Inteligencia Artificial es una de las disciplinas que más interés despierta en la actualidad debido a sus alcances y posibilidades en todos los ámbitos. Estas técnicas van de la mano con la tecnología y emplean cada vez dispositivos más sofisticados y de mejores prestaciones. La industrial también es beneficiada en este aspecto ya que la emplea en varios procesos fundamentales en la producción y control de calidad.

Un sistema posee inteligencia artificial si cumple con el test de Turing, el mismo que desarrolló un test de gran importancia, con el cual se pone a prueba una serie de capacidades al sistema. Se considerará por tanto que un sistema automático posee inteligencia artificial si es capaz de:

- Reconocer del lenguaje natural.
- Razonar.
- Aprender.
- Representar el conocimiento.

La inteligencia artificial cada vez va ganando más espacio en el desarrollo cotidiano de las actividades del ser humano, un ejemplo claro es que cada vez que estamos usando la cámara fotográfica, un algoritmo de inteligencia artificial está identificando las caras de la imagen y enfocándolas, inclusive algunas cámaras pueden reconocer la sonrisa de la persona para realizar el disparo.

1.2.1. Historia de la Inteligencia Artificial.

La historia de la inteligencia artificial se remonta a la época de filósofos como Aristóteles con sus silogismos o del español Ramón Llull, que en el año de 1315 hablaba de máquinas que fueran capaces de razonar como las personas. En el año de 1943 Warren McCulloch y Walter Pitts dieron los primeros saltos de esta nueva ciencia gracias a sus trabajos en los que propusieron el primer modelo de red neuronal artificial, este era un modelo bastante sencillo, pero McCulloch y Pitts demostraron que mediante este modelo podría una máquina ser capaz de aprender y resolver funciones lógicas, posteriormente en los años siguientes hubo un estancamiento de esta nueva tecnología y recién a mediados de los años 80 se vuelve a retomar esta investigación gracias a diversos avances y éxitos que tuvo esta tecnología en diferentes campos como la medicina, y la industria. La industria americana en los años 80, invirtió millones de dólares en crear sistemas expertos de todo tipo, pero solamente hasta mediados de los años 80 es cuando las redes neuronales tomaron fuerza para dar un nuevo rumbo a esta tecnología. En los años 90 cuando la inteligencia artificial ya está asentada como ciencia y con bases de línea de investigación abiertas, nuevos

avances que aportó Markov como las redes ocultas, redes bayesianas, los agentes inteligentes y otros novedosos aportes, han llevado a la Inteligencia Artificial a un nuevo nivel en el que sus aplicaciones comienzan cada vez más a estar presentes en la vida cotidiana de las personas. (Garcia, 2012, pp.4-15).

1.2.2. Áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial.

La inteligencia artificial es parte del desarrollo de la automatización industrial, ya que permite un avance de técnicas de control por computadora y mejoramiento de los procesos. Esta técnica actúa en calidad de sensor avanzado brindando información al sistema de procesamiento para la toma de decisiones y posibles actuaciones.

El desarrollo de nueva tecnología ha permitido que las máquinas y herramientas sean una parte importante para el mejoramiento continuo en todo tipo de industrias, es por ello que se ha despertado un gran interés en la implementación de esta tecnología. El desarrollo de nuevas tecnologías que abarca la inteligencia artificial, ha permitido que muchas industrias la utilicen para resolver problemas relacionados con la medición, inspección y monitoreo de procesos en la industria (Correa, 2010, pp.13-15),

Actualmente muchas universidades desarrollan líneas de investigación en este ámbito generando aportes y avances en esta temática. Por otra parte las empresas, gobiernos y otras instituciones se benefician de estas técnicas que cada vez se emplean con mayor frecuencia.

Tecnología en telecomunicaciones vía dispositivo celular

Los teléfonos inteligentes son actualmente los dispositivos mayormente difundidos alrededor del mundo. Poseen un sin número de aplicaciones como reconocimiento facial, reconocimiento de habla, seguimiento de objetos y reconocimiento de patrones, etc.



Figura 2. Celular Smartphone con pantalla de vidrio.

Tomado de: Rocha, 2012.

Industrias de la producción.

En estas organizaciones la inteligencia artificial permite que sus procesos se realicen de una manera más eficiente y eficaz, mejorando notablemente la calidad del producto, así como un ahorro de los costos al disminuye notablemente el número de productos defectuosos y que necesitan reprocesamiento.

La inteligencia artificial facilita las entradas del diseño del producto figura 3 y las posibilidades de producción, planificación del proceso productivo, determinación de los métodos para la formación del personal entre otros. También realizan trabajos repetitivos reemplazando a varias plazas de trabajo con un trabajo significativo y de bajo costo de operación.

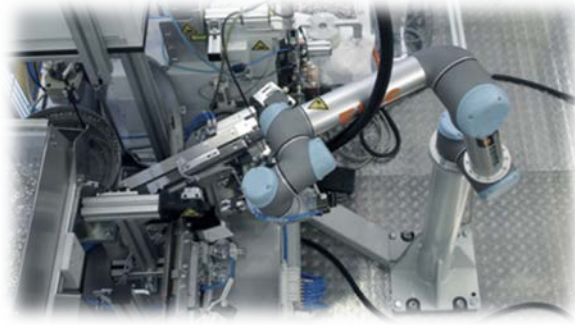


Figura 3. Brazo robótico capaz de realizar soldaduras blandas múltiples en piezas frágiles.

Tomado de: Wagner, 2015.

Robótica.

Se ha implementado la inteligencia artificial en la robótica de manera exitosa en los últimos años permitiendo el control de brazos por robot, ensamble de piezas por medio de robots, navegación de robots móviles, etc. Esta técnica en desarrollo creciente aumenta cada vez más la autonomía de los sistemas robóticos.



Figura 4. Robot Controlado por sensores.

Tomado de: Wagner, 2015.

Inteligencia artificial aplicada a la fabricación de productos.

Los aspectos beneficiados por técnicas de visión artificial incluyen la programación, ejecución de operaciones y fabricación del producto. La

inteligencia artificial aporta en el desarrollo en la fase de programación de la producción con lo cual facilitará la resolución de problemas de secuenciación de trabajos. En las áreas de fabricación uno de los elementos que más se ha utilizado y que ha revolucionado de cierto modo la industria en los últimos años es el robot industrial, el mismo que ha mejorado sus características de precisión y repetitividad afianzando la calidad de los procesos y productos.



Figura 5. Brazo Robótico en la industria automotriz.

Tomado de: International Metalmecánica , 2011.

Inteligencia artificial aplicada al control y Mantenimiento

La Inteligencia artificial dentro de la cadena de producción y fabricación del proceso de manufactura, permite la detección de fallas en la cadena productiva y la posterior toma de decisiones para su corrección, para ello se han desarrollado numerosos sistemas expertos tanto para el apoyo del control de calidad así como también para el mantenimiento, los cuales reciben una gran cantidad de datos en tiempo real, tanto del proceso que se está realizando así como de las máquinas que se están ejecutando, dando como salidas informes sobre la calidad del producto fabricado de modo que si existiese alguna falla del producto que se está fabricando el sistema recomendará inmediatamente acciones correctivas con el objetivo de eliminar los defectos encontrados. Para el caso de las máquinas el sistema de inteligencia artificial permitirá prever averías en las máquinas, brindando normas de buen funcionamiento para los operadores y los usuarios en general.



Figura 6. Sistemas de inspección y control de calidad.

Tomado de: Tecnoingeniería, 2008.

1.3. Visión Artificial.

La visión artificial es un campo de inteligencia artificial, que por vía de la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales (Fernández, 2010).

1.3.1. Aplicaciones de la visión artificial.

El observador humano utiliza un amplio escalafón de señales obtenidas a partir del color, la perspectiva, el sombreado y una variedad de experiencias individuales, ya que la capacidad de percepción humana depende de las decisiones tomadas por cada individuo, razón por la cual muchas empresas emplean un número significativo de trabajadores para que dediquen su tiempo exclusivamente a realizar el proceso de verificación, con la finalidad de decidir si el producto se encuentra en condiciones aptas o no (Figura 7).



Figura 7. Verificación del control de la calidad en tazas.

Tomado de: Sunchine inspection & web commerce worldwide, s.f.

Es por ello que hoy en día en muchas industrias existen departamentos encargados y especializados en las diversas aplicaciones de la visión artificial, entre las aplicaciones más importantes tenemos: reconocimiento y clasificación de diferentes tipos de objetos, inspección y control de la calidad, navegación en robótica, entre otras aplicaciones, lo que hace que hoy en día este sistema se vuelva más interesante para muchas empresas, ya que el sistema de visión artificial tiene la capacidad de captar y procesar información mediante el análisis de imágenes, por medio de una cámara y un software permitiendo llevar a cabo una mejora en la calidad de los productos y una optimización general en los procesos.(Universidad Nacional de Quilmes, 2005, pp.1-4).

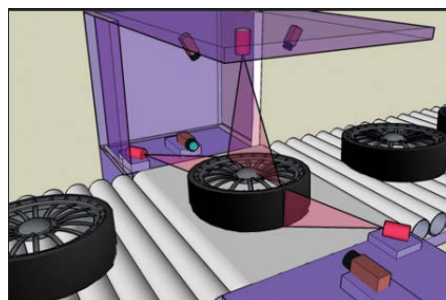


Figura 8. Inspección de llantas para rueda de vehículos mediante cámara de visión.

Tomada de: Infaimon, 2011.

1.3.2. Componentes de un sistema de visión artificial.

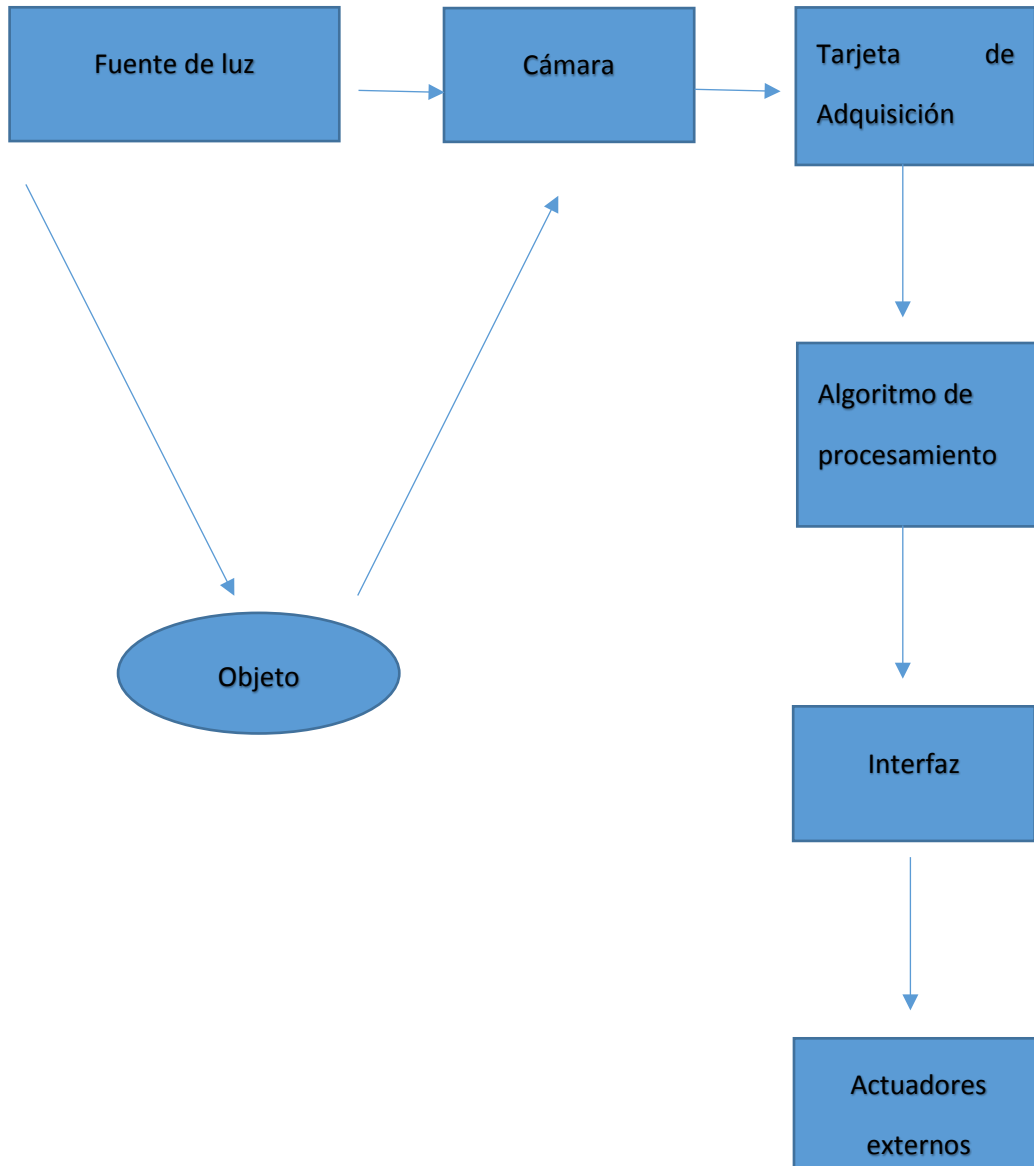


Figura 9. Elementos de un sistema de visión artificial.

Adaptada de: Cárdenas y Rosendo, 2012.

1.3.2.1. Partes físicas de un sistema de visión artificial.

Los componentes físicos de un sistema de visión artificial (figura 10), son:

- Microcontrolador.
- Computadora.
- Lampara de iluminación.
- Controlador lógico programable (PLC).
- Cámara.
- Protoboard.
- Sensor de movimiento.

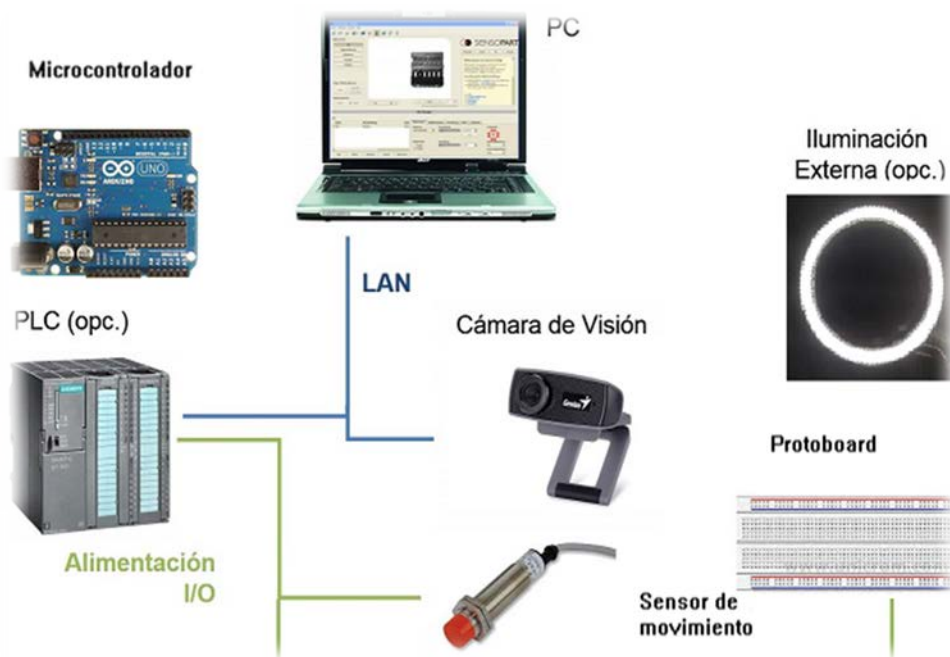


Figura 10. Componentes físicos de un sistema de visión artificial.

En la tabla 1 se encuentra una breve descripción de los componentes físicos de un sistema de visión artificial.

Tabla1.

Descripción de los componentes físicos de la visión artificial.

Componentes físicos de un sistema de visión artificial	Descripción
Microcontrolador.	Realiza ordenes grabas en su memoria.
Controlador lógico programable (PLC).	Establece comunicaciones con diferentes partes de control.
Computadora laptop	Se emplea para uso del software.
Cámara web	Captación de imágenes
Lámpara de iluminación.	Propicia la cantidad de luz adecuada.
Protoboard.	Tablero con orificios para insertar distintos componentes electrónicos.

1.3.2.2. Empleo de Software en visión artificial.

Todo sistema de visión artificial emplea un software que habitualmente brinda facilidades al operador para la tarea que requiere. La mayoría de aplicaciones se desarrollan en lenguajes de alto nivel y un entorno de análisis numérico para el cálculo, visualización y programación. Mediante este software se podrá:

- Interactuar con la cámara web para poder obtener imágenes en la etapa de adquisición y comunicar mediante interfaz gráfica.
- Obtener las características de los elementos de la imagen para posteriormente realizar un preproceso, proceso y análisis

1.3.3. Tipos de Iluminación utilizados en el sistema de visión artificial.

La iluminación en un sistema de visión artificial es determinante, ya que la iluminación permite que la cámara al momento de captar una imagen, sea adecuada y fácil de analizar, y poder determinar el cumplimiento de las especificaciones solicitadas. Además optimiza el contraste, normaliza cualquier tipo de variación de iluminación en el ambiente y simplifica el proceso de tratamiento posterior de la imagen.

Algunas técnicas de iluminación se describen a continuación.

Iluminación frontal.

La iluminación frontal (Figura 11), consiste en colocar la cámara enfocando al objeto en la misma dirección de la luz, con el propósito de reducir las sombras, suavizar las texturas y minimizar la influencia de rayas, polvo o imperfecciones que se encuentren en el objeto, con la iluminación frontal la cámara recibirá la luz reflejada del objeto. Para conseguir este tipo de iluminación se utilizan lámparas de anillos (Nogue y Antiaga, 2012, p.9).

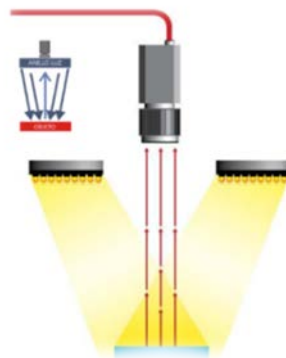


Figura 11. Esquema Iluminación frontal.

Tomado de: Nogue y Antiaga, 2012.

Iluminación lateral.

La iluminación lateral (Figura 12), es una técnica de iluminación que consiste en posicionar la cámara enfocando hacia el objeto, mientras que la dirección de la luz se la ubica lateralmente con un grado de inclinación que dependerá del grado deseado de resalte de los relieves. Este tipo de iluminación está recomendado para resaltar bordes, rayas y fisuras en una dirección determinada del objeto permitiendo tener una sombra muy definida. (Nogue y Antiaga, 2012, p.10).

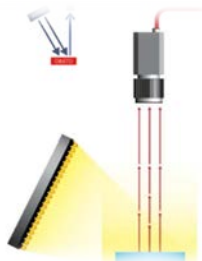


Figura 12. Esquema Iluminación lateral.

Tomado de: Nogue y Antiaga, 2012.

Iluminación de campo oscuro (Dark Field).

La iluminación de campo oscuro (Figura 13), consiste en proyectar una luz sobre el objeto con un ángulo muy pequeño respecto a la superficie donde se encuentra ubicado el objeto, permitiendo que encontrar zonas brillosas en objetos que presenten hendiduras o elevaciones. (Universidad Nacional de Quilmes, 2005, p.8).

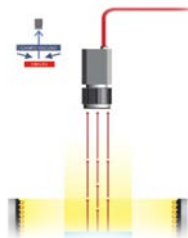


Figura 13. Esquema Iluminación de campo oscuro.

Tomado de: Nogue y Antiaga, 2012.

Iluminación Posterior (Backlight).

La iluminación Backlight (Figura 14), es una técnica de iluminación que consiste en emitir una luz desde la parte posterior del objeto, posibilitando delinear el contorno de las piezas, la iluminación tiene que ser uniforme en toda la superficie del objeto, este tipo de iluminación es muy utilizado para la inspección del borde de un objeto con mediciones muy precisas. (Nogue y Antiaga, 2012, p.12).

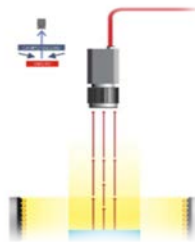


Figura 14. Esquema Iluminación posterior.

Tomado de: Nogue y Antiaga, 2012.

Iluminación axial difusa.

La iluminación axial difusa (Figura 15), es una técnica de iluminación que consiste en iluminar desde el mismo eje de la cámara con una luz uniforme, incluyendo el centro de la imagen, con esta técnica se puede iluminar uniformemente superficies que son refractivas, muy utilizada en inspecciones de códigos de materiales que son reflectantes, además realza detalles grabados y crea contrastes entre superficies especulares y difusas. La aplicabilidad de este tipo de iluminación (Universidad Nacional de Quilmes, 2005, p.5).

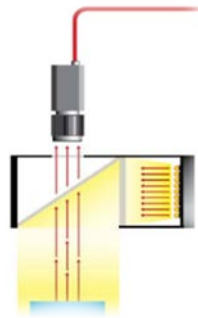


Figura 15. Esquema Iluminación axial difusa.

Tomado de: Nogue y Antiaga, 2012.

Iluminación difusa tipo domo

Con esta técnica de iluminación, la luz es emitida dentro de una cúpula esférica (Figura 16), producto de esto se obtiene una luz difusa en todas las direcciones, eliminando sombras y reflejos, permitiendo el suavizado de texturas y minimizando la influencia de rayas, polvo, relieves y curvaturas que pueda tener el objeto que se está inspeccionando. Esta técnica ha sido diseñada para aplicaciones complejas y difíciles con superficies irregulares que necesitan luz completamente uniforme.

Este tipo de iluminación es muy utilizado para la verificación de discos compactos, inspección de placas electrónicas, inspección de superficie de espejos, etc. (Nogue y Antiaga, 2012, p.13).

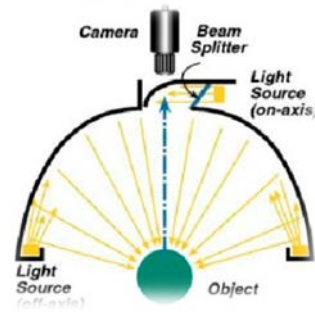


Figura 16. Esquema Iluminación difusa tipo domo.

Tomado de: Universidad de Quilmes, 2005.

Iluminación por láser.

La técnica de iluminación por láser o también denominada luz estructurada (Figura 17), consiste en colocar una fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto al cual se va iluminar y a la cámara, este tipo de iluminación es utilizada para determinar una tercera dimensión en el objeto, permitiendo obtener la percepción de profundidad e inspecciones en 3D. En la industria de metalmecánica es utilizada en el ajuste de control de corte y control de profundidad de objetos. (Nogue y Antiaga, 2012, p.15).

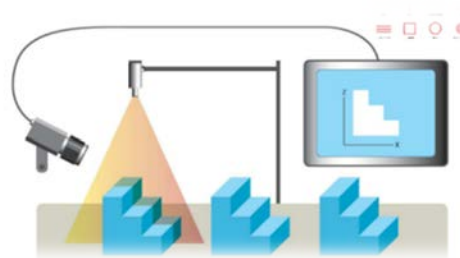


Figura 17. Esquema de Iluminación por láser.

Tomado de: Universidad de Quilmes, 2005.

Iluminación por fibra óptica.

La iluminación por fibra óptica (Figura 18), consiste en conducir la luz procedente de una bombilla halógena, o de xenón, que se encuentra en la fuente de iluminación a través de un haz de fibras ópticas que termina en un adaptador específico, el adaptador puede tener una forma circular, puntual, lineal o de panel. Actualmente este tipo de iluminación proporciona la luz más intensa de todos los tipos de iluminación que se utilizan para la visión artificial. (Nogue y Antiaga, 2012, pp.15, 17-21).



Figura 18. Esquema de Iluminación por fibra óptica.

Tomado de: Universidad de Quilmes, 2005.

Iluminación por LED.

La iluminación LED es una técnica de iluminación que utiliza los LED, los cuales proporcionan una intensidad de iluminación a un costo de mercado económico y con una duración aproximadamente de 100000 horas. (Nogue y Antiaga, 2012, pp.15, 17-21).



Figura 19. Esquema de Iluminación por fibra óptica.

Tomado de: Universidad de Quilmes, 2005.

1.3.4. Técnica de visión por computador.

La técnica de visión por computador, permite la obtención de la característica de los objetos a través del análisis de imágenes. El análisis de la imagen se basa en la descomposición de una imagen de color en sus tres canales básicos (RGB) rojo, verde, azul (Figura 20).

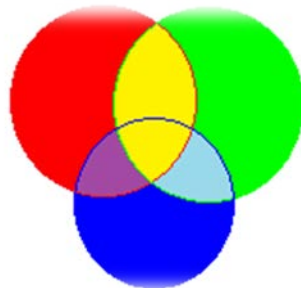


Figura 20. Representación de colores primarios RGB.

Adaptada de: Wikipedia, s.f.

Las características del color dependen de la iluminación directa e indirecta, acabado superficial, textura, brillo, geometría y color de la luz. La gran cantidad de parámetros considerados, dificultan el control y la identificación.

Normalmente la intensidad del color que predomina da la característica de color al objeto, es decir un objeto rojo tendrá más componente de píxeles con intensidad de color rojo que verde o azul.

La diferencia entre las intensidades se programa en ciertos algoritmos para identificar colores o tonos de los objetos.

1.3.4.1. Adquisición de imagen.

La adquisición de una imagen es el primer proceso del sistema de visión artificial. Capturar una imagen se la puede realizar por diferentes medios, uno de ellos es una cámara web. Mediante una fotografía o fotograma de video se obtiene información para el análisis logrando extraer sus características más destacadas según su funcionalidad. Una imagen digital, es una imagen $f(x, y)$ que ha sido dividida en coordenadas espaciales y en brillo en un sistema de coordenadas x, y (Figura 21), $f(x, y)$, representa la intensidad luminosa en el punto (x, y) , el cual se denomina pixel o unidad básica de una imagen. (Baeza, 2010, pp.17-21)

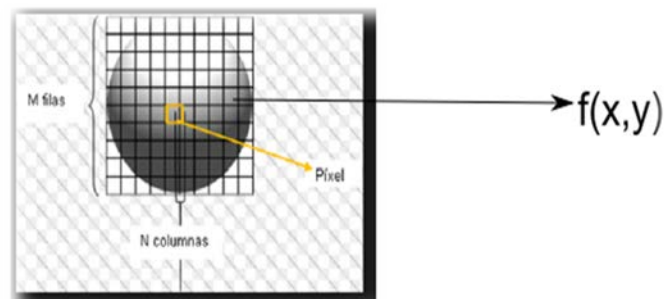


Figura 21. Descomposición de un objeto en una matriz $M \times N$.

Adaptada de: Monografias.com, s.f.

Una imagen de color es el conjunto de tres matrices, de $m \times n$ dimensiones siendo m y n la resolución en píxeles de la imagen capturada. Las intensidades de pixel en todos los casos se encuentra en el rango de 0 a 255 de intensidad, siendo el valor 0 la carencia de intensidad y 255 la mayor intensidad del color respectivo.

1.3.4.2. Operaciones básicas en visión artificial.

Las operaciones que puede realizarse con estas técnicas son múltiples, sin embargo para aplicaciones industriales, la mayoría de estas son de carácter básico y se describen a continuación

1.3.4.2.1. Conversión de una imagen RGB a escala de grises.

La conversión de una imagen en color a escala de grises, se realiza por medio de una media ponderada de los componentes de color de cada pixel, el valor de la intensidad va desde un rango de 0 hasta 255, representando el 0 como negro absoluto y 255 como blanco absoluto, esta conversión se realiza con la finalidad de reducir el proceso de análisis de la imagen (Vargas, 2010, p.40).

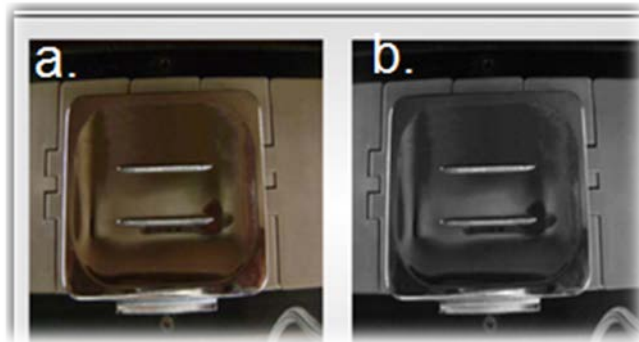


Figura 22. Imagen de color transformada a una imagen escala de grises.

a) Imagen original

b) Imagen a la conversión RGB.

Tomada de: Cárdenas, 2012.

1.3.4.2.2. Binarización de la Imagen.

El proceso de la binarización de la imagen tiene por objetivo convertir la imagen de escala de grises a una imagen en blanco y negro. Se emplea un filtro denominado umbral, el mismo que convertirá a 0 los valores inferiores al umbral (representa el porcentaje del valor máximo de intensidad). Si el valor supera el umbral, el pixel tomará un valor de 1. La imagen muestra una matriz de pixeles uno o ceros que es de fácil interpretación para el posterior análisis mediante computador.



Figura 23. Conversión de imagen escala grises a imagen binarizada.

a) Imagen original.

b) Imagen escala de grises.

Tomada de: Jiménez, s.f.

1.3.4.2.3. Preprocesamiento

La etapa de pre procesamiento, tiene por objetivo llevar un proceso de restauración de la imagen, con la finalidad de corregir las distorsiones que se presenten en la captura, debido a que cuando se adquiere una imagen por medio de cualquier sistema de captura, esta no es útil para el sistema de visión, debido a factores como deficiencia en la iluminación, obtención de imágenes de bajo contraste, entre otros factores (Betancourt, 2014).

1.3.4.2.4. Procesamiento.

En el procesamiento se llevan a cabo procesos como:

- **Filtros para mejoramiento de bordes.**

La detección de bordes permite obtener información sobre las fronteras de los objetos, además de segmentar la imagen, reconocer objetos, etc.

Se puede evaluar la cantidad de píxeles conectados, permitiendo descartar áreas grandes como pequeñas, realizando un filtrado y resaltando objetos de interés (Betancourt, 2014).

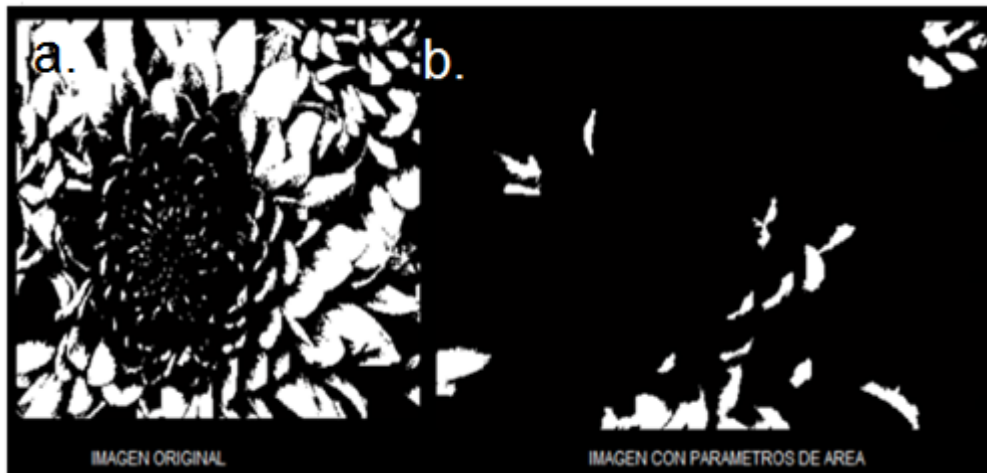


Figura 24. Imagen binarizada e imagen con las áreas discriminadas.

a) Imagen original

b) Imagen con parámetros de área

Tomada de: Betancourt, 2014.

- **Operador de Sobel.**

El operador de Sobel se utiliza en el procesamiento de imágenes, principalmente en la detección de bordes, el operador de Sobel calcula el gradiente de la intensidad de una imagen en cada pixel (punto), permitiendo suavizar la imagen y con ello evitar la aparición de bordes falsos (Cárdenas, 2012).

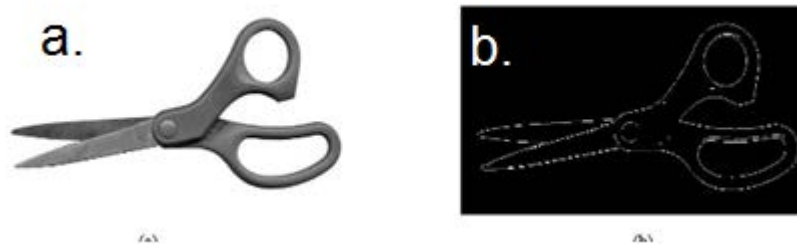


Figura 25. Imagen aplicada con mascara de Sobel.

a) Imagen original

b) Imagen operador sobel.

Tomada de: Cárdenas, 2012.

1.3.5. Visión artificial en el control de la calidad.

Uno de los mayores problemas que enfrenta el área de la calidad de muchas empresas es la inspección visual, ya que este proceso es realizado por personas en la mayoría de las industrias. “La exactitud del sistema humano de visión empeora con el trabajo repetitivo y monótono”. (Baeza, 2010, pp.17-21).



Figura 26. Imagen de inspección visual.

Tomada de : Ideal.es, s.f.

La inspección visual es una tarea muy propensa a variaciones inclusive de carácter psicológico ya que la mayoría de personas tienen un periodo limitado de atención, por lo que existe una alta probabilidad de distracción.

Una inspección lenta representa costos considerables, y optimizar el tiempo es de vital importancia para toda empresa, es por esta razón que generalmente se usan procedimientos de muestreo estadístico para reducir la necesidad de inspeccionar todo un lote de productos.

El margen de errores depende de la complejidad y dificultad de la tarea de inspección y cuanta disposición tenga la persona al momento de realizar esta actividad. Por lo que, una inspección de un lote al cien por ciento utilizando métodos manuales, no garantiza una buena calidad en la totalidad de un producto.



Figura 27. Imagen de inspección visual.

Tomada de : Ideal.es, s.f.

Según (Baeza, 2010, p.3), “Toda fase de inspección de calidad de un producto, es de gran importancia ya que verifica y controla que haya una baja probabilidad de obtener fallas’.

En la actualidad las industrias requieren que la detección de errores o fallas sean detectadas con mayor precisión, pero comprobar aquello en objetos de gran complejidad ha sido uno de los factores de vulnerabilidad en la percepción del ojo humano, es por ello que las empresas del mundo moderno han visto la necesidad de implementar sistemas más sofisticados, que les permitan controlar en forma precisa y acertada, la calidad de los productos y sean capaces de detectar aquellos errores que a un operario se le pudiera pasar por alto.

El control de calidad en la actualidad requiere que sus técnicas sean automatizadas, permitiendo disminuir los costos de producción, y al mismo tiempo lograr obtener una inspección visual objetiva y confiable, permitiendo la eliminación de piezas defectuosas, dando como resultado el ahorro de costos y un mejor reciclaje del material.



Figura 28. Brazo robótico utilizado para el control de la calidad.

Tomado de: Ingeinova group, s.f.

En la actualidad los clientes se están volviendo más exigentes en los niveles de calidad de los productos que adquieren, es por eso que las industrias manufactureras deben realizar un mayor esfuerzo para poder permanecer o aspirar a liderar el mercado según este corresponda. En muchas industrias se ha implementado el sistema de visión artificial en sus plantas de producción con el fin de mejorar la calidad de sus productos, para este proyecto se presentará dos casos de fábricas en donde se ha implementado este sistema, el uno será una factoría de Ford Almussafes ubicado en Valencia España y el otro en la Universidad Politécnica de Valencia junto con la empresa privada Cristol.

1.3.5.1. Caso de implementación de sistema de visión artificial en factoría Ford Almussafes.

En la mayoría de industrias de producción de vehículos, existen operarios especializados que se encargan de la inspección de las carrocerías pintadas buscando defectos sobre las mismas, se estima que aproximadamente en más de un cincuenta por ciento los defectos menores no son detectados en el corto lapso de tiempo de paso de las carrocerías por la zona de inspección, por lo que los defectos no detectados constituyen fuentes de corrosión que reducirán el tiempo de vida de la carrocería. (Universidad Politécnica de Valencia, 2012, p.4).

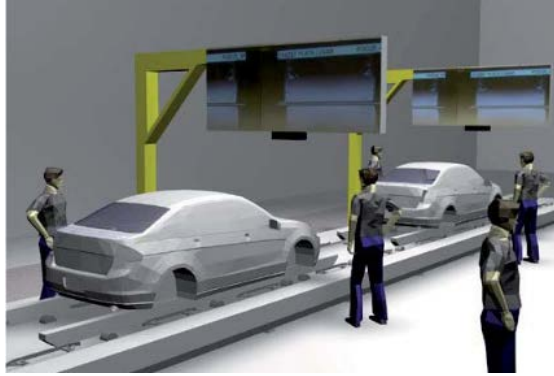


Figura 29. Control de calidad en una factoría automotriz.

Tomado de: Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Para evitar este tipo de inconvenientes en la factoría automotriz Ford Almussafes se utiliza el sistema de visión artificial que permitió que sea posible la inspección de 1700 vehículos por día en los periodos de mayor producción, además permitió la adquisición de todas las imágenes de la carrocería en menos de 10 segundos, permitiendo detectar más del noventa por ciento los defectos que no son detectados en una inspección manual.

1.3.5.2. Caso de implementación de sistema de visión artificial de Universidad Politécnica de Valencia junto con la empresa Crisol.

La Universidad Politécnica de Valencia junto con la empresa Crisol, desarrolló algoritmos de visión artificial para la estimación de cantidad de frutas específicamente naranjas, para ellos previamente realizó un estudio y selección del hardware necesario como tarjetas, ordenadores, cámaras, etc y la integración del sistema en la cadena de producción incluyendo el control de los pulverizadores. (Universidad Politécnica de Valencia, 2005, p.2).



Figura 30. Sistema de adquisición de imágenes y tratamiento difusor de cera.

Tomado de: Isabel, 2005.

Este sistema consiste en dos cámaras de video junto con un sistema de iluminación, con la cual se capta la imagen de la cinta transportadora para posteriormente ser enviado a una unidad de análisis y control, la unidad de análisis y control analiza la imagen realizando un conteo de la fruta que entra en la línea de encerrado y en función de la información suministrada por las cámaras, realiza un ajuste continuo de los pulverizadores. (Universidad Politécnica de Valencia, 2005, p.2).

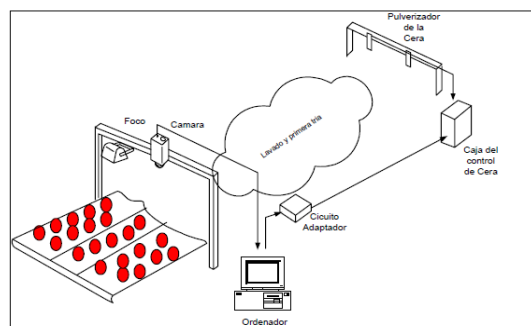


Figura 31. Esquema del sistema de visión artificial empresa Crisol.

Tomada de: Isabel, 2005.

1.3.6. Herramientas utilizadas para el control de calidad.

Existen algunas formas de controlar un proceso, analizar los riesgos, buscar fallos, mejorar los sistemas, etc. En el presente trabajo se detallaran algunas de las principales herramientas básicas que se utilizan para el control de calidad como son:

1.3.6.1. Gráficos de control.

Los gráficos de control son parte de las técnicas de la calidad, que permiten mediante métodos estadísticos analizar el comportamiento de los procesos en el tiempo en relación con una determinada variable que se desea tener bajo control, poder predecir en alguna manera el comportamiento de un proceso y poder determinar si este proceso está controlado, o por el contrario esta fuera de los límites que se establecieron previamente. Las gráficas de control no logran un control estadístico como un fin, sino que permiten reducir la variación. En los gráficos de control existen límites superior e inferior, que representarán los bordes de aceptabilidad de las variables. Si todos los puntos de la gráfica se encuentran entre los dos límites de control significa que el proceso se encuentra bajo control, caso contrario se puede atribuir a una causa, por lo que hay que comenzar una búsqueda de dicha causa.

La creación de un gráfico de control consta de las siguientes etapas:

- Definir lo que se va a medir.
- Recolectar datos.
- Ingresar los datos.
- Calcular el promedio de los datos.
- Calcular la desviación estándar.
- Calcular los límites de control.

Existen diferentes tipos de gráficos de control, los cuales consisten en dos tipos:

1.3.6.1.1. Gráficos de control por atributos.

La gráfica de control por atributos es utilizado cuando se requiere conocer si un producto de un determinado proceso cumple o no con los criterios establecidos. Una de las ventajas de utilizar la gráfica de control por atributos es su fácil interpretación por parte de las personas.

1.3.6.1.2. Gráficos de control por variables.

La gráfica de control por variables evalúa aspectos cuantitativos de una determinada característica y muestra los resultados a través del tiempo. Una ventaja de utilizar esta gráfica consiste en la alerta que brinda de manera rápida de los problemas de calidad que se presenten con respecto a la gráfica de control por atributos.

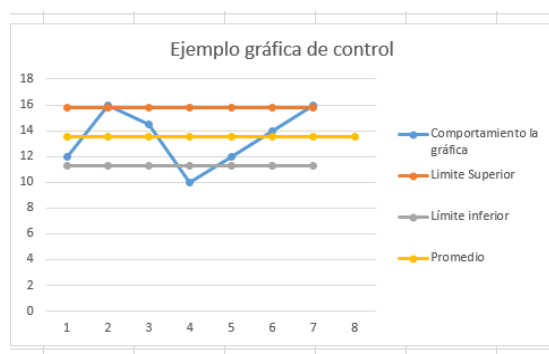


Figura 32. Ejemplo gráfica de control.

Para calcular los límites superior e inferior, es necesario calcular previamente el promedio y la desviación estándar (Figura 33), ya que el límite superior es la suma del promedio más la desviación estándar, mientras que el límite inferior es a la resta del promedio y la desviación estándar.

Promedio	Desv Esta	LS	LI
13,5	2,25462488	15,7546249	11,2453751

Figura 33. Ejemplo del cálculo de los límites superior e inferior.

1.3.6.2. Diagrama causa efecto (Ishikawa).

Conocido también como diagrama de espina de pescado (Figura 34), este diagrama es una representación gráfica compuesta de líneas y símbolos que tiene por objetivo representar y localizar las causas que provocaron un defecto, y por lo tanto corregir sus causas. Es probable que para cada defecto existan diferentes categorías principales de causas conocidas como las 6M



Figura 34. Diagrama causa- efecto.

Adaptada de: Blanco, s.f.

1M: Maquinaria.

2M: Mano de obra.

3M: Materiales.

4M: Medio Ambiente.

5M: Método.

6M: Mantenimiento.

Estas causas principales deberán ser ajustadas dependiendo de la naturaleza del problema a resolver, constituyendo las “espinas principales” del diagrama.

La forma de construir un diagrama está constituido por tres etapas las cuales son:

La primera etapa (Figura 35), consiste en representar mediante una flecha horizontal apuntando hacia la derecha y en la que el efecto a investigar se enmarca dentro de un cuadro situado en la punta de la flecha principal. (Rey, 2003, p.83).



Figura 35. Primera etapa de la construcción del gráfico causa efecto.

En la segunda etapa (Figura 36), en la que las causas principales (método, máquina, medio, mano de obra, materiales, mantenimiento), se inscriben en los cuadros situados en paralelo y a cierta distancia de la flecha principal, tanto por la parte superior como inferior.



Figura 36. Segunda etapa de la construcción del gráfico causa efecto.

En la tercera etapa (Figura 37), se van a notar todas las causas secundarias alrededor de la causa principal con las que se relacionan y quedar claramente establecidas. (Rey, 2003, pp.83-85).

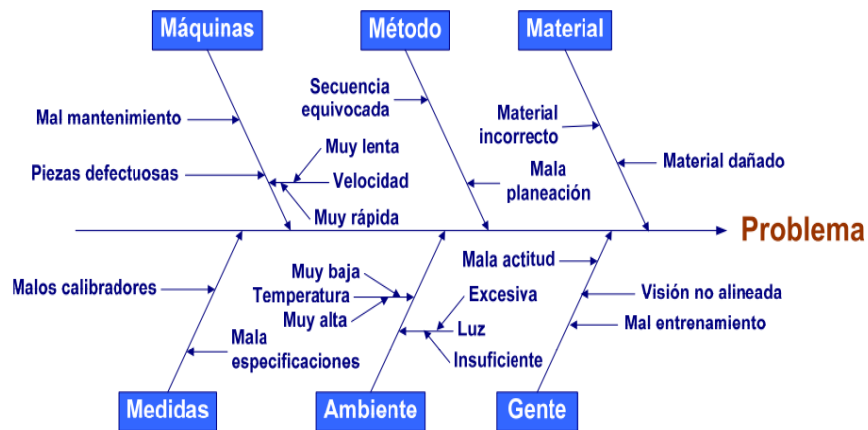


Figura 37. Tercera etapa de la construcción del gráfico causa efecto.

Tomado de: Pérez, 2013.

1.3.6.3. Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto es una gráfica (Figura 38), donde se organizan distintas clasificaciones de datos de mayor a menor. Por medio de este diagrama se identifican la criticidad de problemas o causas, proporcionando una sencilla y rápida visión a la identificación de los problemas presentados.

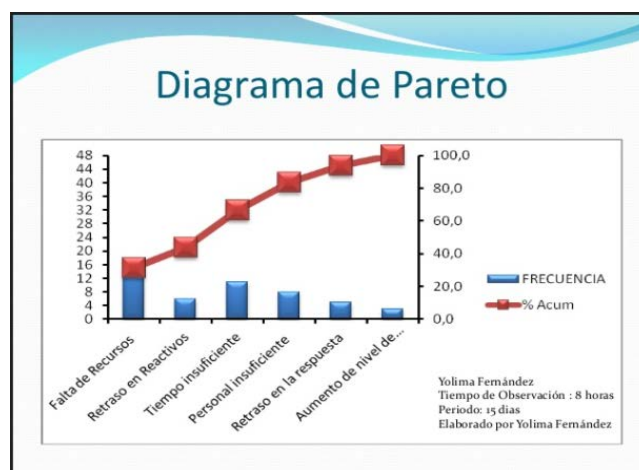


Figura 38. Ejemplo de gráfico de Pareto.

Tomado de: Fernández ,2013.

1.3.6.4. Tormenta de ideas (brainstorming).

Tormenta de ideas o brainstorming, es una herramienta didáctica de trabajo grupal que busca facilitar el surgimiento de nuevas ideas de algún problema determinado. Esta técnica se la realiza de manera grupal e intenta que cada miembro participe en la aportación de ideas para la resolución de una determinada situación.

En la siguiente figura (Figura 39), se tiene un ejemplo de lluvia de ideas en la cual se tiene en la parte central, la situación a resolver, mientras que en los extremos se encuentran las múltiples ideas para la resolución de ese problema.

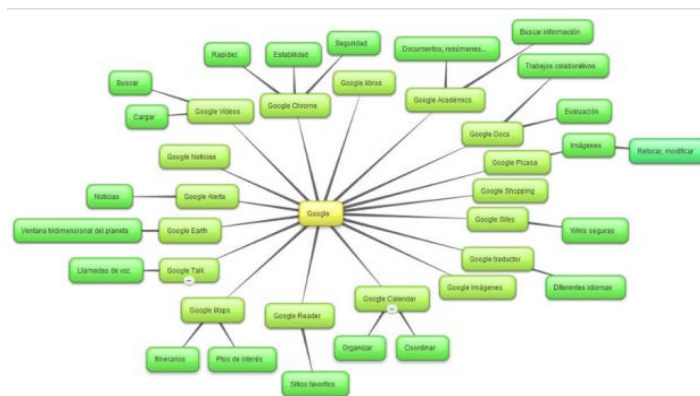


Figura 39. Ejemplo de tormenta de ideas (brainstorming).

Tomado de: García, 2011.

2. CAPITULO II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD.

El Sistema automático de interés en este trabajo se desarrollará para su implementación en módulos flexibles de manufactura existentes en el laboratorio de Producción Industrial de la Universidad de las Américas.

2.1. Descripción de operación de módulos de manufactura flexible.

Los módulos existentes para el proceso de manufactura flexible (Figura 40), constan de tres principales componentes:

- Estación de distribución
- Estación de verificación.
- Estación de clasificación

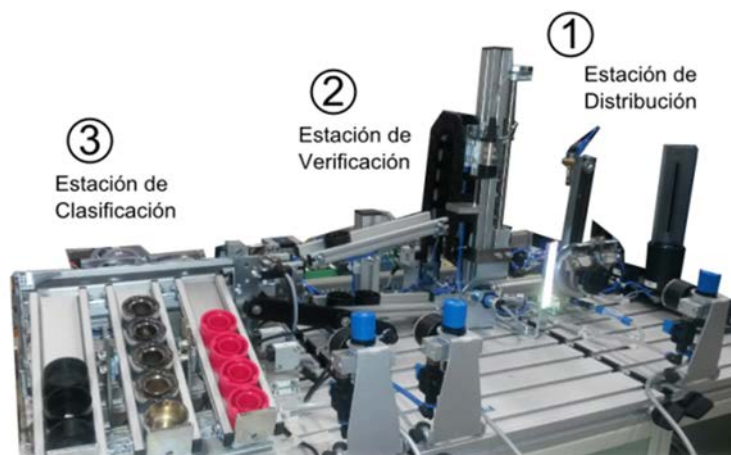


Figura 40. Componentes del módulo flexible.

En la estación de distribución donde se encuentra la posición A (Figura 41), las piezas se apilan. Mediante un pistón neumático pasan las piezas de la posición A hacia la posición B, esta misma estación de distribución tiene un brazo que transporta la pieza del punto B al punto C del siguiente módulo. EL brazo posee una ventosa de vacío para sujetar la pieza a ser transportada.

Al llegar la pieza al punto C hay dos sensores y un ascensor. Una vez que ha llegado la pieza a C, la pieza sube a D con el elevador. En D la pieza es medida

con un sensor que permite tomar la altura. Si la pieza tiene la altura adecuada entonces continuará por la rampa hasta E, caso contrario volverá a bajar el ascensor y en el punto C se expulsará al elemento rechazado por la altura. Las piezas que tienen altura adecuada se transportan a través de la rampa con deslizamiento de aire por debajo para que las piezas puedan deslizarse hasta el punto E, posteriormente la pieza se ubica en una banda transportadora del módulo de clasificación en F.

En la estación de clasificación tiene dos sensores ópticos y un sensor inductivo, los cuales permitirán la clasificación de las piezas, los sensores ópticos detectarán el color de las piezas rojas y negras, mientras que el sensor inductivo detectará el color de las piezas metálicas.

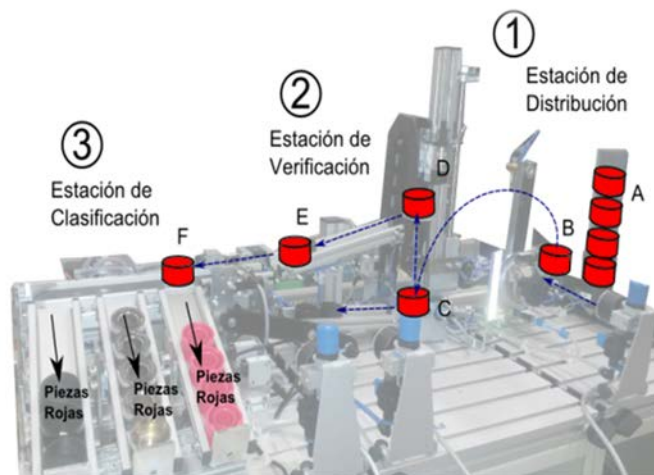


Figura 41. Recorrido de las piezas por las diferentes estaciones del módulo flexible.

Se implementará un sistema automático de visión artificial en la estación de clasificación mediante la implementación de una cámara web, servomotor, lámpara led y sensor de movimiento. El sensor de movimiento (Figura 42), se implementará primero, con el afán de detectar que una pieza ha entrado al módulo.

La cámara web se encuentra empotrada en un soporte en la parte superior del módulo flexible posterior al sensor de movimiento, rodeando a la cámara web se colocará una lámpara circular de iluminación. Al final del sistema se instalará un

servomotor, el cual también servirá de compuerta para sacar de la línea a las piezas con defecto

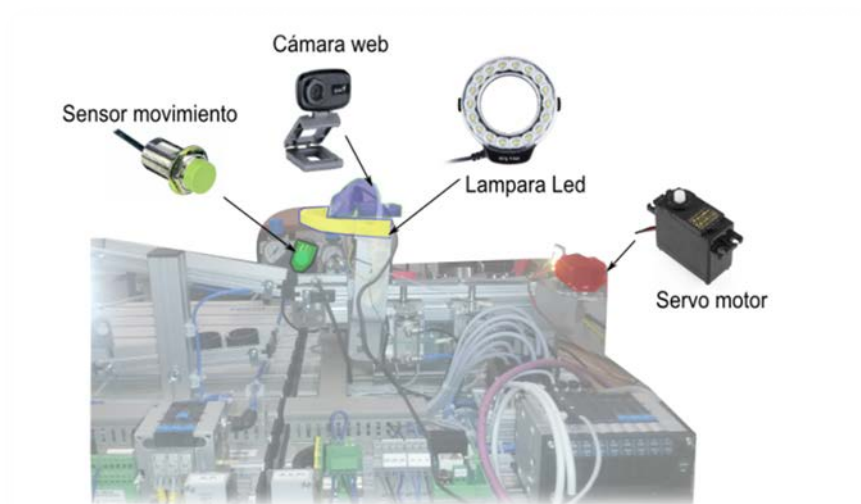


Figura 42. Componentes instalados en el módulo flexible

2.2. Esquema y selección de componentes para el sistema de visión artificial.

2.2.1. Esquema de los componentes utilizados para el sistema de visión artificial.

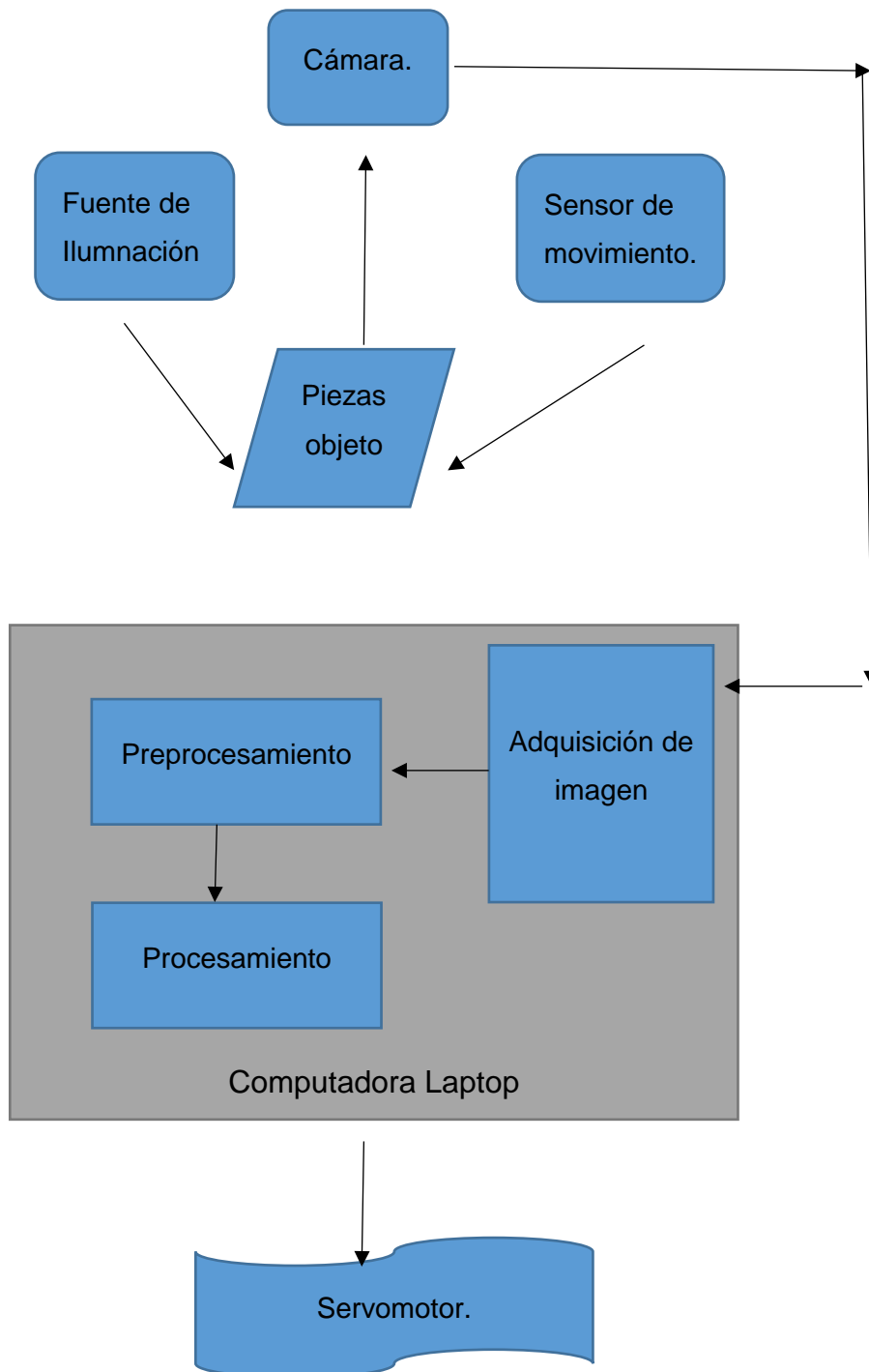


Figura 43. Esquema componentes visión artificial.

2.2.2. Esquema de conexión de los componentes para el sistema de visión artificial.

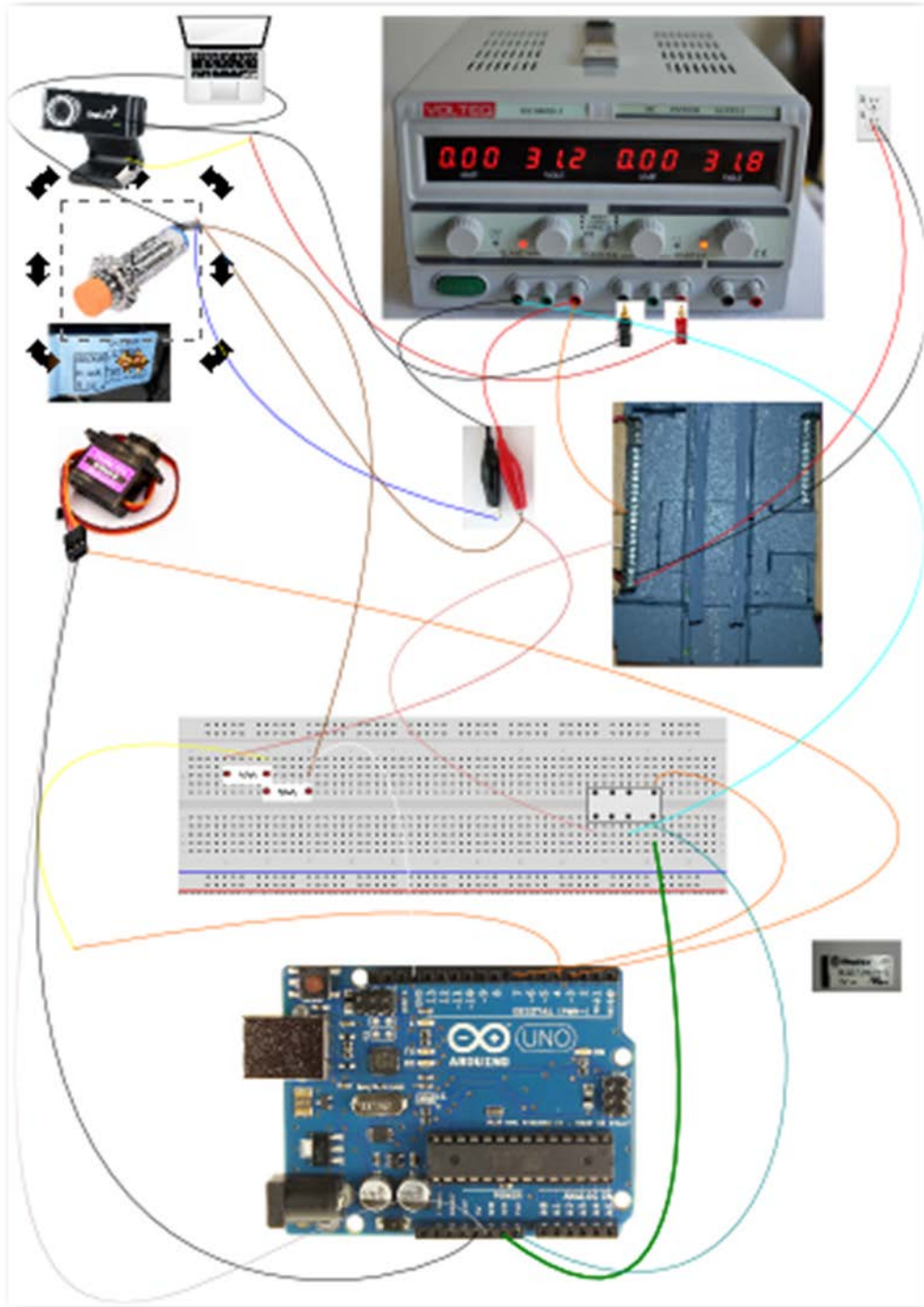


Figura 44. Conexión de los componentes

2.2.3. Selección de componentes físicos.

Para el desarrollo de este sistema, se han seleccionado componentes básicos por tratarse de una aplicación controlada y en un entorno cerrado. Los componentes que se emplearán se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.

Partes físicas del sistema de visión artificial.

Hardware (Partes físicas)	Descripción
Microcontrolador Arduino	<p>El microcontrolador arduino es una plataforma libre de computación, basada en una placa que contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad central de procesamiento. • Unidades de memoria. • Puertos de entrada y salida.
Sensor de Movimiento	<p>Los sensores de movimiento son dispositivos capaces de activar o desactivar diferentes elementos mediante corriente eléctrica simplemente detectando algún movimiento dentro de su rango de acción.</p>
Protoboard	<p>El Protoboard es un tablero electrónico el cual posee gran cantidad de orificios para poder insertar los dispositivos electrónicos y cables con la finalidad de armar circuitos.</p>
Regulador de voltaje	<p>Es un dispositivo electrónico que permite mantener un nivel de tensión constante.</p>
Cámara	<p>Es un dispositivo que permite la obtención de imágenes en la etapa de adquisición, con la alternativa de importar imágenes guardadas en el sistema.</p>
Lámpara de iluminación	<p>Es una lámpara de focos led, que tiene el propósito de iluminar los objetos.</p>

Dado que la cámara de visión puede ubicarse muy cerca del objeto, se seleccionará una cámara de bajo costo, la cual será una cámara web de marca Genius facecam 1000x. Se empleará un sensor de movimiento para que comunique al computador al momento en que debe tomar una imagen para analizarla.

La lámpara de iluminación de focos Led, permitirá una mejor captación y procesamiento con el fin de obtener un mejor resultado de las imágenes cuando se evalúe por parte del sistema el reconocimiento del color, tamaño y forma. Para poder tener una adecuada iluminación artificial, será necesario conectar la lámpara de iluminación a un regulador de voltaje, el cual permitirá poder controlar la intensidad de luz. El protoboard permitirá conectar resistencias para poder realizar un divisor de voltaje, el cual permitirá bajar el voltaje, para que los componentes como el arduino puedan operar.

2.2.4. Selección de Software.

Existen en el mercado muchos software para la implementación de un sistema de visión artificial como:

- Open Cv.
- Ni Vision.
- Sherlock 7. 1350.
- Inspect1.550.
- Roborealm.
- Matlab.

De todos estos softwares de programación se decidirá por utilizar Matlab Student, ya que es un software probado y robusto en el cual existen tutoriales de la programación, instrucciones y librería de funciones, que se encuentran disponibles en la plataforma de internet, permitiendo un mejor entendimiento a la hora de realizar la programación. El funcionamiento del sistema se verificará posteriormente a fin de validar la selección de los componentes y proponer algunas mejoras para trabajos posteriores en esta temática.

2.3. Implementación de un sistema automático de visión artificial para el control de la calidad.

Los sistemas automáticos de visión artificial aplican iguales criterios de control de calidad a cada una de las piezas revisadas, logrando una alta fiabilidad al momento de realizar la inspección. Para el diseño de un sistema de inspección automático de visión artificial se consideraran los siguientes elementos: Módulos flexibles, computador portátil, sensor de movimiento, placa arduino, controlador lógico programable (plc), cámara web y tarjeta electrónica para circuitos.

2.3.1. Diseño de iluminación.

En diseño de iluminación de este proyecto se utilizará una tira led (Figura 45), la cual se colocará de forma circular en una pieza que se diseñará en la impresora 3D del laboratorio de Producción Industrial. Se realizó algunas pruebas con la iluminación cuando poníamos luz directa existía bastante brillo por tal manera se utilizó la luz de este tipo ya que el material de la pieza es brillante.

El entorno, papel pantalla, iluminación led, variable intensidad con voltaje que no interviene con la cámara, deben eliminar los brillos al máximo en piezas metálicas.

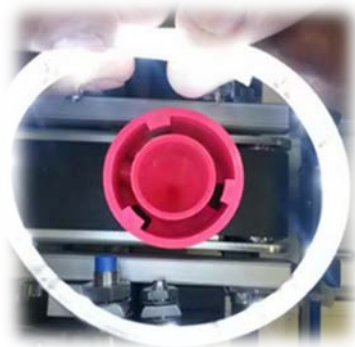


Figura 45. Tira led colocada de forma circular.

2.3.2. Adquisición de una imagen.

Para el sistema de adquisición de imagen se utilizará una cámara web común de computador, ya que estas cámaras son de fácil instalación, además que la resolución de estas cámaras no son muy altas lo que resulta ser una ventaja, al momento de procesar la imagen, ya que al tener una cantidad baja de pixeles el esfuerzo que realiza el computador al momento del tratamiento de imagen es menor, favoreciendo el tiempo de análisis de la imagen y adquisición de la información. La cámara web (Figura 46), será empleada para la realización de este proyecto, sin embargo cabe resaltar que existen en el mercado cámaras de mayor precisión, diseñadas especialmente para este tipo de aplicaciones.



Figura 46. Cámara web Genius utilizada para este proyecto

La lámpara alrededor de la cámara Web (Figura 47), se conectará al regulador de voltaje, se deberá ajustar la intensidad para lograr que la cámara Web capte de mejor manera la forma, color y tamaño de las piezas que se analizarán.

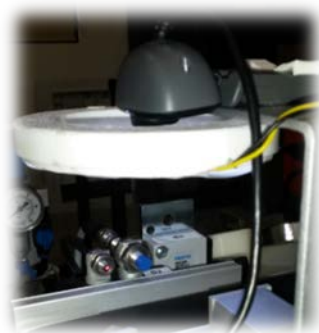


Figura 47. Soporte de tira LED.

Además de la cámara web de computador se emplearán otros componentes como: una lámpara de iluminación led circular y el software de análisis, el cual servirá como interfaz entre el computador y la cámara web. Para ello se utilizará un código (Figura 48), el cual tiene la función de leer el archivo en este caso la imagen y lo transforma en una matriz para ser guardado.

```
J=getsnapshot(vid);
```

Figura 48. Código de adquisición de imagen.

2.3.3. Preprocesamiento.

La etapa del preprocesamiento consistirá en tomar la matriz guardada en el software, para transformarla de formato RGB a un formato de escala de grises (intensidad 0-255) con la finalidad de reducir el tiempo al momento del análisis de la imagen.

Posteriormente se transformará a una imagen binaria con el objetivo de reducir al mínimo la cantidad de datos de la imagen y facilitar operaciones de detección de contornos (Figura 49).

```
K=rgb2gray(maskedImage);
umbral=0.6;
bw=im2bw(K,umbral);
bw=bwareaopen(bw,60);
[B L]=bwboundaries(bw,8);
[indx n]=size(B);
R=ones(size(bw));
subplot(2,3,6);
imshow(R);
hold on
for c=1:indx
    contorno=B{c};
    plot(contorno(:,2),contorno(:,1),'k')
end
end
for c=1:indx
    byor(contorno(:,5)'\contorno(:,7)'\,K,
    contorno=B{c};
end
end
```

Figura 49. Código en Matlab Student pre procesamiento.

2.3.4. Procesamiento.

Luego de la etapa de preprocesamiento, se aplicarán funciones que nos permitirán adquirir información sobre tamaño, forma y color, para alertar al sistema de defectos presentes en las piezas. Esta etapa se desarrollará mediante la información adquirida del sistema completo (figura 50) y procesándola con la ayuda del computador, algoritmos y software de análisis.

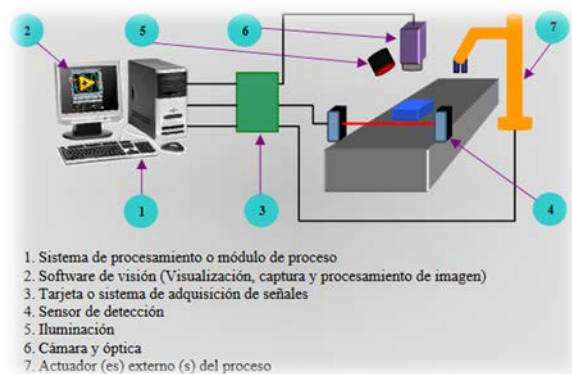


Figura 50. Elementos físicos de un sistema de procesamiento por computador.

Tomado de: Universidad Politecnica de Valencia, 2012.

2.3.4.1. Determinación por tamaño.

Para la determinación del tamaño de las piezas que pasarán por la banda transportadora del módulo flexible, se realizará mediante una variable en el código denominada área (Figura 51), si esta variable área es mayor a un número determinado de pixeles (1300 pixeles) entonces se considera como defecto.

```
areas = regionprops(L,'area');%forma y tamaño
```

Figura 51. Código para la determinación del tamaño.

2.3.4.2 Determinación por forma.

La determinación de las formas de las piezas que van a pasar por la banda transportadora del módulo flexible, se realizará mediante el cálculo de la métrica. La métrica es una relación entre el área de un contorno cerrado y el cuadrado de su superficie.

- Si el valor de la métrica se aproxima a un valor de 1 entonces es un círculo.
- Si la métrica se aproxima a valores intermedios entre 1 y 0 entonces es un cuadrado.
- Si la métrica se aproxima a un valor de 0 entonces es un triángulo.

$$\text{métrica circunferencia} = 4\pi * \frac{\text{área}}{\text{perimetro}^2} \quad (\text{Ecuación 1}).$$

Estas métricas se programarán en Matlab Student, mediante un algoritmo lógico **If end**, para que el programa pueda identificar la correspondiente figura geométrica.

```

metrica = 4*pi*(area/(perimetro*perimetro));
if metrica < 0.7
    disp('Es un triangulo');
    sound(Rtri,frec);
end
if metrica >= 0.84
    disp('Es un circulo');
    sound(Rcirc,frec);
end
if metrica>=0.7 && metrica <0.84
    disp('Es un cuadrado');
    sound(Rcuadr,frec);
end
end

```

Figura 52. Código en Matlab Student de los rangos de las métricas

En la Figura 53, se observan las figuras geométricas que se colocaron, en el centro de algunas piezas del módulo flexible, con el objetivo de que el sistema de visión artificial, pueda reconocer con éxito la geometría correcta, ver Anexo1.



Figura 53. Figuras geométricas en piezas del módulo flexible.

2.3.4.3. Determinación por Color.

Para determinar los colores de las figuras que son rojo, negro o plata y color diferente , se procederá a introducir unas variables en el software (Figura 54), los cuales permitirán leer los colores primarios RGB (Red, Green, Blue), a estas variables se las evaluará dependiendo de ciertos rangos, con el propósito de determinar los colores en las figuras.

En las variables (Figura 54), se guardarán las intensidades de los tres colores primarios (Red, Green, Blue), estas variables son:

- **Color R:** variable donde se guarda las intensidades de color rojo.
- **Color G:** variable donde se guarda las intensidades de color verde.
- **Color B:** variable donde se guarda las intensidades de color azul.

```
ColorR = max(max(J(:, :, 1)));
ColorG = max(max(J(:, :, 2)));
ColorB = max(max(J(:, :, 3)));
ColorI = max(max(J(:, :, 3)));
```

Figura 54. Código de lectura de intensidades.

Posteriormente se sumarán las intensidades de cada color en las siguientes variables (Figura 55):

- **Cant R** variable donde se guarda el valor de la suma de las intensidades de color rojo.
- **Cant G** variable donde se guarda el valor de la suma de las intensidades de color verde.
- **Cant B** variable donde se guarda el valor de la suma de las intensidades de color azul.

```
CantR=sum(sum(J(:,:,1)));
CantG=sum(sum(J(:,:,2)));
CantB=sum(sum(J(:,:,3)));
CantA=sum(sum(J(:,:,4)));
```

Figura 55. Código de suma de intensidades de cada color.

Finalmente se realizará la diferencia absoluta de los colores primarios de las variables donde se guardarán el valor de la sumas de intensidades de los colores y se identificará el color, si las variables superan un rango establecido. (Figura 56).

```
if CantRmenosB < 1000000
    daniel=1;
    opcion=1;
end

if DifGmenosB>5000000 && daniel==0
    %daniel=1;
    opcion=2;
end

if DifGmenosB<3000000 && daniel==0
    opcion=3;
end
```



```

switch (opcion)
case 1
    disp('es rojo');
    daniel=1;

case 2
    disp('es un color diferente');
    %a.digitalWrite(10,1);
    sound(Pcolordif);
    daniel=1;
    pause(3);

case 3
    disp('es color negra o plata');

```

Figura 56. Códigos para identificación de color mediante rangos establecidos.

2.4 Comunicación entre sistema de procesamiento y sistema mecánico.

Una comunicación entre un sistema de procesamiento y un sistema mecánico se realizó mediante conexiones del protoboard, microcontrolador, sensor de movimiento y servomotor.

2.4.1. Conexión del protoboard.

La utilización de un protoboard en el presente proyecto será necesario para realizar lo siguiente:

- Facilitar la conexión y la comunicación del sensor de movimiento y servomotor con el software.
- Modificar el voltaje de 24 v (voltios) de entrada, a 5v de salida, mediante un divisor de voltaje que permitirá al sensor obtener una señal cuando una pieza se encuentra lista para su reconocimiento (bajo la cámara).
- Conectar a la placa arduino, la cual funciona con 5v.

Se empleará un divisor de voltaje que se analizará mediante la fórmula:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{int} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Al reemplazar esta ecuación por valores numéricos se obtiene:

V_{out} (Voltaje de salida) = 5v, voltaje que se espera obtener.

V_{int} (Voltaje de entrada) = 24v, voltaje que se obtiene de la fuente (regular de voltaje).

R_1 = A esta resistencia, se le dio un valor de 10 k Ω que se buscó en la tabla de resistencias comerciales, entonces reemplazando:

$$5V = \frac{R_2}{10K\Omega + R_2} * 24V \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\frac{5V}{24V} = \frac{R_2}{10K\Omega + R_2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$5(10K\Omega + R_2) = 24R_2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$50K\Omega = 19R_2 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$R_2 = 2,6 K\Omega \approx 2,7K\Omega \quad (\text{Ecuación 7})$$

Mediante los cálculos matemáticos de la fórmula de divisor de voltaje se determinó que el valor de $R_2 = 2,6 K\Omega$, valor que no es comercial en las resistencias, por lo que se adquirió una resistencia de 2,7 K Ω , siendo este un valor comercial.

Valores Comerciales de Resistores							
Colores	Multiplicador						
	Oro	Negro	Marrón	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde
Marrón - Negro	1.0 [Ω]	10 [Ω]	100 [Ω]	1.0 [KΩ]	10 [KΩ]	100 [KΩ]	1.0 [MΩ]
Marrón - Rojo	1.2 [Ω]	12 [Ω]	120 [Ω]	1.2 [KΩ]	12 [KΩ]	120 [KΩ]	1.2 [MΩ]
Marrón - Verde	1.5 [Ω]	15 [Ω]	150 [Ω]	1.5 [KΩ]	15 [KΩ]	150 [KΩ]	1.5 [MΩ]
Marrón - Gris	1.8 [Ω]	18 [Ω]	180 [Ω]	1.8 [KΩ]	18 [KΩ]	180 [KΩ]	1.8 [MΩ]
Rojo - Rojo	2.2 [Ω]	22 [Ω]	220 [Ω]	2.2 [KΩ]	22 [KΩ]	220 [KΩ]	2.2 [MΩ]
Rojo - Violeta	2.7 [Ω]	27 [Ω]	270 [Ω]	2.7 [KΩ]	27 [KΩ]	270 [KΩ]	2.7 [MΩ]
Naranja - Naranja	3.3 [Ω]	33 [Ω]	330 [Ω]	3.3 [KΩ]	33 [KΩ]	330 [KΩ]	3.3 [MΩ]
Naranja - Blanco	3.9 [Ω]	39 [Ω]	390 [Ω]	3.9 [KΩ]	39 [KΩ]	390 [KΩ]	3.9 [MΩ]
Amarillo - Violeta	4.7 [Ω]	47 [Ω]	470 [Ω]	4.7 [KΩ]	47 [KΩ]	470 [KΩ]	4.7 [MΩ]
Verde - Azul	5.6 [Ω]	56 [Ω]	560 [Ω]	5.6 [KΩ]	56 [KΩ]	560 [KΩ]	5.6 [MΩ]
Azul - Gris	6.8 [Ω]	68 [Ω]	680 [Ω]	6.8 [KΩ]	68 [KΩ]	680 [KΩ]	6.8 [MΩ]
Gris - Rojo	8.2 [Ω]	82 [Ω]	820 [Ω]	8.2 [KΩ]	82 [KΩ]	820 [KΩ]	8.2 [MΩ]
Blanco - Negro	9.1 [Ω]	91 [Ω]	910 [Ω]	9.1 [KΩ]	91 [KΩ]	910 [KΩ]	9.1 [MΩ]

Tolerancias: Verde ±0.5% - Marrón ±1% - Rojo ±2% - Oro ±5% - Plata ±10% - Sin color ±20% ----- K = 1.000, M = 1.000.000

Figura 57. Tabla de valores comerciales.

Tomado de: DigiKey Electronics, s.f.

2.4.2. Conexión de placa arduino.

Primero se descargará e instalará en el computador un programa de Software libre de Arduino disponible en la plataforma de Internet, para este caso se procedió a descargar la versión de Arduino 1.0.6.

ARDUINO 1.0.6

Classic Arduino IDE, to be used with any Arduino board, but Arduino Yún and Arduino DUE. Refer to the [Getting Started](#) page for Installation instructions. [See the release notes.](#)

[Windows Installer](#)
[Windows ZIP file for non admin install](#)

Mac OS X

[Linux 32 bits](#)
[Linux 64 bits](#)

[Source](#)

Figura 58. Software Arduino versión 1.0.6.

Instalado y descargado el software de arduino versión 1.0.6, se procederá a conectar con un cable USB a la placa arduino con el computador, para la comunicación software y hardware de Arduino se utilizará Matlab Student, en el cual se introducirá una variable en el código de programación (Figura 59), para la ejecución del detector de movimiento y el servo motor.

Las configuraciones de las correspondientes variables son:

a=arduino ('COM3'): Comunicación mediante el puerto 3 del computador entre software y hardware del arduino.

a.pinMode (7, 'output'): Configura una salida en el pin 7 de la placa arduino y la variable

a.pinMode (4, 'input'): Configura una entrada en el pin 4 de la placa arduino y la variable.

```
a=arduino('COM3');
a.pinMode(7,'output');
a.pinMode(4,'input');
```

Figura 59. Código de comunicación Matlab versión estudiantil con placa arduino.

2.4.3. Conexión del sensor de movimiento.

El sensor de movimiento se ubicará antes que la cámara web (Figura 60), con el objetivo de que al pasar cada una de las piezas, estas puedan ser detectadas por el sensor de movimiento, mediante el envío de una señal al computador, el cual ejecutará el código de programación.



Figura 60. Sensor de movimiento usado en módulo flexible.

Para que se pueda realizar la comunicación entre el software y el sensor de movimiento, será necesario introducir el siguiente código de programación (Figura 61).

```

clc
a=arduino('COM3');
a.servoAttach(3)
a.pinMode(7,'output'); %prende el rele para ordenar paro a plc
a.pinMode(5,'input');
a.pinMode(4,'input'); %el sensor prende 4 de arduino
a.pinMode(6,'input'); %el sensor prende 6 de arduino
a.pinMode(2,'input');

```

Figura 61. Código Matlab Sensor de movimiento

2.4.4. Conexión del servomotor.

El servo motor permitirá que las piezas con defecto salgan de la línea, con la finalidad de no clasificarlas dentro del proceso. Mediante un código (Figura 62), de programación el software comunicará el computador con el servo motor.

```
a=arduino('COM3');  
a.pinMode(7,'output');  
%arduino = arduino('/dev/ttyS101')  
a.servoAttach(3)  
a.servoWrite(3, 30)  
a.digitalWrite(7,1);  
x = 0; %variable para almacenar posiciones  
max = false; %variable booleana para decidir si hay que sumar o restar  
%x = x + 1; %variable para almacenar posiciones  
%x = x - 1; %variable booleana para decidir si hay que sumar o restar
```

Figura 62. Código de comunicación del computador con el servomotor.

La finalidad del servo motor en el módulo flexible, será levantar una compuerta metálica fabricada en el laboratorio, para que acoplada al servomotor, esta pueda girar un ángulo de 90 grados, y levante la compuerta (Figura 63), y pueda detener el proceso de clasificación en el PLC, para que puedan salir las piezas defectuosas.

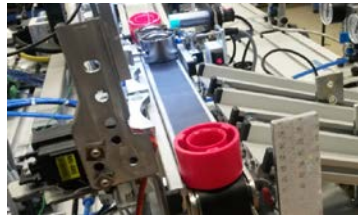


Figura 63. Servomotor con la compuerta abierta para expulsar pieza defectuosa.

2.5 Secuencia de imágenes de reconocimiento del sistema de visión artificial.


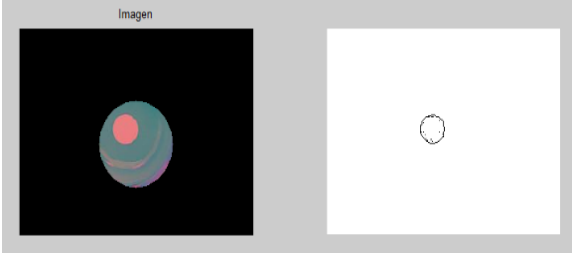
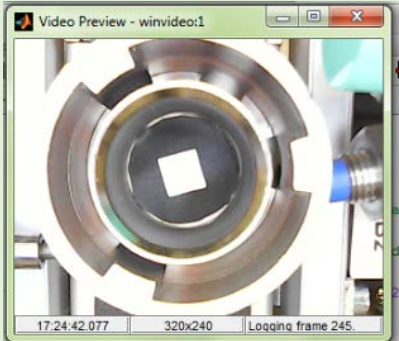
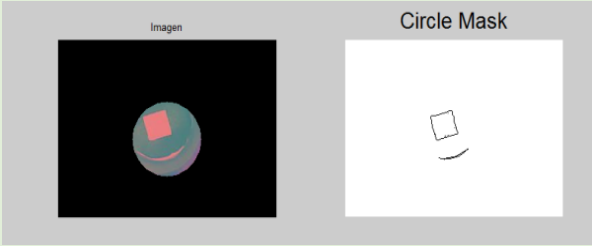
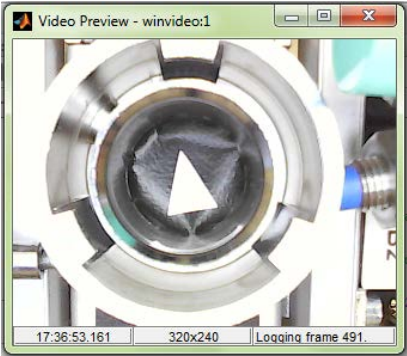
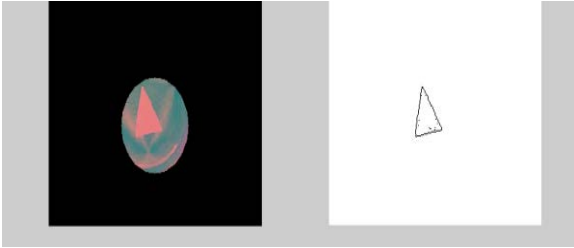
COLOR PLATA			
Figuras.	Imagen original	Región de análisis	Detección de Color y Forma
Circulo			<pre>Command Window es color negra o plata Es un circulo</pre>
Cuadrado			<pre>Command Window es color negra o plata Es un cuadrado</pre>
Triángulo			<pre>Command Window es color negra o plata Es un triangulo</pre>

Figura 64. Secuencias de imágenes de reconocimiento color plata.

COLOR ROJO			
Figuras.	Imagen original	Región de análisis	Detección de Color y Forma
Circulo			<pre>Command Window es rojo Es un circulo</pre>
Cuadrado			<pre>Command Window Es un cuadrado Movement es rojo</pre>
Triángulo			<pre>Command Window es rojo Es un triangulo Movement</pre>

Figura 65. Secuencia imágenes de reconocimiento del color rojo.

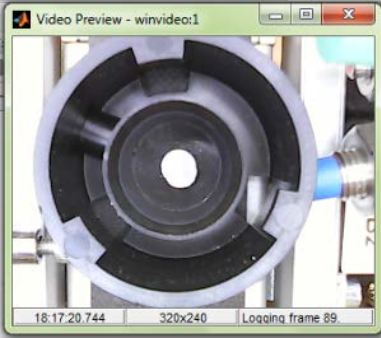

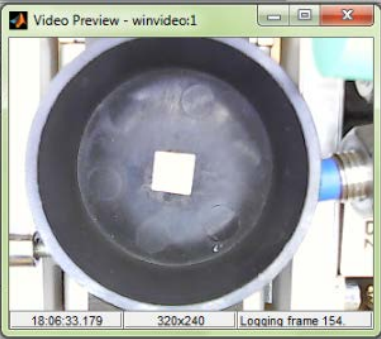
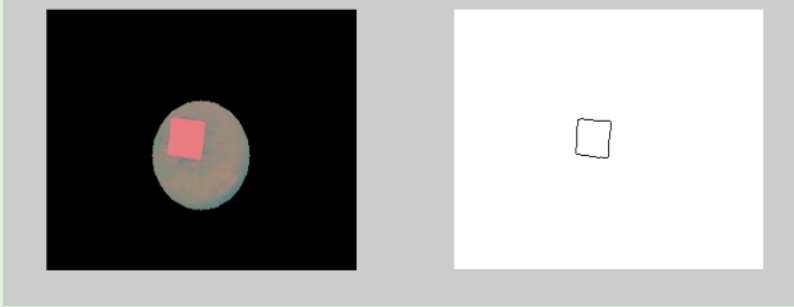
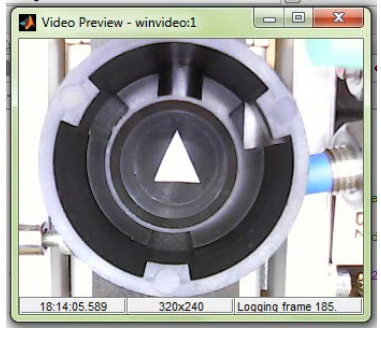


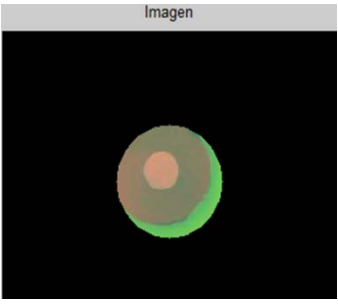
COLOR NEGRO			
Figuras.	Imagen original	Región de análisis	Detección de Color y Forma
Circulo			<pre>Command Window es color negra o plata Es un circulo ..</pre>
Cuadrado			<pre>Command Window es color negra o plata Es un cuadrado</pre>
Triángulo			<pre>Command Window es color negra o plata Es un triangulo</pre>
DIFERENTE COLOR			
			<pre>f1 >> es color 'difernte' e</pre>

Figura 66. Secuencia imágenes de reconocimiento del color negro.

3. CAPITULO III ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE CONTROL POR VISIÓN ARTIFICIAL.

Para el análisis del sistema diseñado, se requerirá de variables que forman parte del sistema de funcionamiento y características relacionadas con la detección de defectos y número de aciertos del sistema.

3.1. Variables de control.

El sistema posee tres opciones de detección en las piezas. Para detectar el color, se obtienen valores en un rango establecido. (Tabla 3), para el control de la forma se empleará la métrica de la circunferencia $4\pi * \frac{\text{área}}{\text{perímetro}^2}$ que determinará la forma de la figura mediante valores que oscilarán entre uno y cero. (Tabla 3). Para el control de tamaño se necesita obtener los datos de la variable área, la cual si es mayor a un número determinado de pixeles (1300 pixeles), entonces se considera como un defecto. (Tabla3).

Tabla 3.

Tabla de rangos numéricos para la detección de color, forma y tamaño.

Variable	Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Color	Rojo	541877,20	942304,14	Intensidad luminosa
	Negra o plata	1874756,98	3045748,85	
	Color diferente	5682837,50	8082962,00	
Forma	Circulo	0,86	0,91	Adimensional
	Triangulo	0,45	0,62	
	Cuadrado	0,72	0,82	
Tamaño	Circulo	905,42	913,25	Pixeles cuadrados
	Triángulo	994,38	1004,45	
	Cuadrado	1131,42	1140,91	

En todos los procesos se obtiene resultados, sobre los cuales podemos realizar mediciones y comprobar si existe alguna variabilidad, esta puede alta o baja,

aceptable o inaceptable dependiendo del proceso. Por ello en este capítulo se verificará mediante gráficos de control la detección de errores que el sistema pueda presentar y con ellos disminuir la variabilidad del desempeño, determinado las causas de los problemas que pudieran presentarse mediante un diagrama causa efecto en la cual se represente las diferentes teorías propuestas acerca de las causas que generaron el problema.

Se realizarán un total de 108 pruebas y se verificará una posible variabilidad del desempeño del sistema que podría tener al momento de detectar el tamaño, forma y color.

3.2. Pruebas de funcionamiento.

Para las pruebas de funcionamiento fue necesario, tener en cuenta aspectos como iluminación y brillo de las piezas plateadas, ya que una correcta iluminación repercutió de manera importante en la identificación correcta del sistema en las variables de color, forma y tamaño.

Para obtener una adecuada iluminación fue necesario colocar un papel calco en la lámpara de focos LED, debido a que las piezas de color plateado tienen mucho brillo y esto repercutía de manera negativa en la identificación del color tamaño y forma de las piezas. Además fue necesario calibrar la potencia del regulador de voltaje, el cual se colocó en 11.3 Voltios ya que de esta manera el sistema tiene un funcionamiento aceptable.

3.3. Análisis de resultados.

Mediante gráficos de control, se podrá comprobar la estabilidad del sistema de visión artificial, se realizará tres gráficos de control en cada variable (color, forma y tamaño), los gráficos se obtendrán de los datos obtenidos a partir de las muestras recogidas, mientras mayor sea el tamaño de la muestra, la probabilidad de detectar variaciones en los datos aumenta, para este proyecto se recogerán doce muestras por cada característica que tengan las variables.

3.3.1. Análisis de variable color.

El análisis de la variable de color, permitirá evaluar la medida del comportamiento en el sistema al momento de detectar los valores numéricos establecidos para los colores rojo, negro o plata y diferente color.

Primero se obtuvo los valores numéricos de la diferencia absoluta de los colores primarios RGB (rojo, verde, azul), de las doce muestras de cada uno de los colores (rojo, negro o plata y diferente color) a identificar por parte del sistema.

En la Tabla 4, se puede observar los valores del análisis de los colores rojo, negro o plata y color diferente, analizados por el sistema, Para este análisis se hizo pasar por la banda de clasificación del módulo flexible doce veces una pieza por cada color con el objetivo de obtener los valores de la intensidad luminosa y constatar si existe variabilidad de los valores (Tabla 4), Este procedimiento que se realizó para el análisis de colores, fue el mismo que se realizó para el análisis del tamaño (Tabla 7), y la forma (Tabla 10), sino que aquí se identificó los valores de los píxeles y la métrica respectivamente.



Figura 67. Análisis del sistema de los colores, formas y tamaño.

Tabla 4.

Tablas de obtención de los datos de las doce muestras de los tres tipos de colores analizados por el sistema.

Tabla detección de color piezas rojas												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
830468	938000	689789	770545	625789	1250000	593000	790843	560000	595000	542654	719000	Valores

Tabla detección piezas color diferente												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
4789000	8100468	7750000	7845000	5488675	7832000	7345679	7856000	5723000	6650000	7778000	5436975	Valores

Tabla detección de color piezas color negras o plata.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
899468	2858000	2580000	2745000	2935000	2693000	2710000	2158000	2983000	2754000	2234567	1973000	Valores

Una vez obtenidos los valores de las doce muestras por cada color a identificar por el sistema, se procedió a calcular el promedio y la desviación estándar con el objetivo de calcular los límites superior e inferior y poder observar gráficamente que variables se encuentran fuera de los límites de control. (Tabla 5).

Tabla 5.

Tabla de los promedios y desviaciones estándar de los colores.

PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Pieza Color diferente	
6882899,75	1200062,25
Pieza color negra o plata	
2460252,92	585495,94
Pieza color rojo	
742090,67	200213,47

Con los datos de la Tabla.5 se calculó el límite superior sumando el promedio con la desviación estándar mientras que al límite inferior restando el promedio con la desviación estándar (Tabla 6).

Tabla 6.

Tabla de los límites de control de los colores.

LÍMITES DE CONTROL	
LÍMITE SUPEROR (LCS)	LÍMITE INFERIOR (LCI)
Pieza de color diferente	
8082962,00	5682837,50
Pieza de color negra o plata.	
3045748,85	1874756,98
Pieza de color rojo.	
942304,13	541877,20

Mediante las gráficas de control que se realizaron para los colores: rojo, negro o plata y color diferente, se pudo visualizar lo siguiente:

En la gráfica de control del color diferente, se pudo comprobar experimentalmente y visualizar mediante la gráfica (Figura 68), que el sistema tuvo un error de identificación en la primera prueba, posteriormente se observó que el sistema ya no presentó problemas, a pesar de que en la gráfica se puede apreciar que en el punto cinco y doce, las variables se encuentran ligeramente fuera de los límites de control.

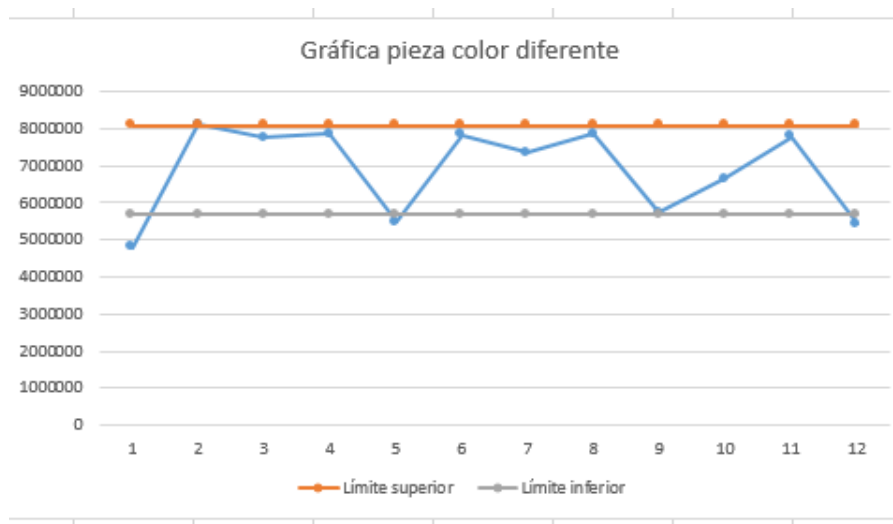


Figura 68. Gráfico de control para identificación del color diferente.

En la gráfica de control del color negro o plata, se pudo comprobar experimentalmente y visualizar mediante la gráfica (Figura 69), que el sistema tuvo un error de identificación en la primera prueba, en las siguientes pruebas se observó que los valores del sistema se encontraron en los límites de control establecidos, calculando de manera correcta el color negro o plata.

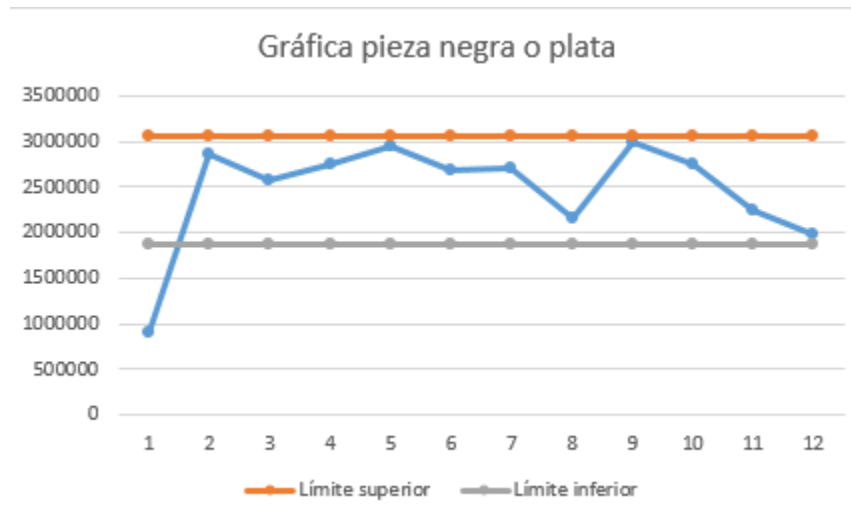


Figura 69. Gráfico de control para identificación del color negro o plata.

En la gráfica de control del color rojo, se pudo comprobar experimentalmente y visualizar mediante la gráfica (Figura 70), que el sistema arrancó con la identificación del color rojo de manera correcta hasta la sexta prueba donde se presentó un error de identificación, para posteriormente volver a identificar de manera correcta al color rojo.

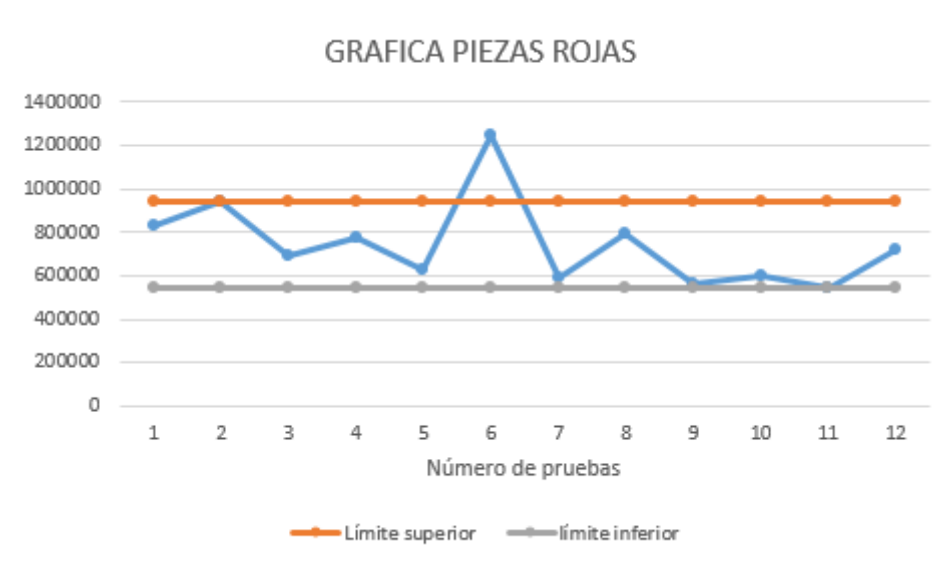


Figura 70. Gráfico de control para identificación del color rojo.

3.3.2. Análisis de variable forma.

Tabla 7.

Tabla de obtención de datos de las doce muestras de los tres tipos de figuras analizadas por el sistema.

Tabla detección de figura cuadrada												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
0,74	0,73	0,9	0,79	0,75	0,8	0,76	0,75	0,72	0,77	0,73	0,79	Valores

Tabla detección de figura triangular												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
0,75	0,53	0,51	0,52	0,51	0,58	0,62	0,54	0,48	0,45	0,45	0,46	Valores

Tabla detección de figura circular												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
0,9	0,91	0,9	0,9	0,87	0,86	0,83	0,86	0,87	0,9	0,9	0,91	Valores

El análisis de la variable forma, permitirá evaluar el comportamiento del sistema de visión al momento de detectar los valores de las métricas de las tres figuras geométricas: cuadrado, círculo y triángulo. Una vez que se obtiene los valores de la métrica de las doce muestras de cada figura, se procedió a calcular el promedio y la desviación estándar de esos valores, con el objetivo de calcular los límites superior e inferior y poder analizar el comportamiento del sistema de visión al momento de identificar las figuras geométricas (Tabla 8).

Tabla 8.

Tabla de obtención del promedio y desviación estándar de los datos de las figuras geométrica.

PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Figura cuadrada	
0,77	0,05
Figura circular	
0,88	0,03
Figura triangular	
0,53	0,09

El límite superior se calculó sumando el promedio y la desviación estándar de las métricas de doce muestras, mientras que al límite inferior restando al promedio con la desviación estándar (Tabla 9).

Tabla 9.

Tabla de los límites de control de las figuras geométricas.

LÍMITES DE CONTROL	
LÍMITE SUPERIOR (LCS)	LÍMITE INFERIOR (LCI)
Figura cuadrada	
0,82	0,72
Figura circular	
0,91	0,86
Figura triangular	
0,62	0,45

Mediante las gráficas de control que se realizaron con los datos anteriores, se pudo visualizar lo siguiente:

En la gráfica de control de la figura geométrica cuadrada, se pudo comprobar experimentalmente y visualizar (Figura 71), que el sistema arrancó correctamente con el reconocimiento hasta la tercera prueba, donde se presentó un error de identificación, para posteriormente volver a identificar de manera correcta la figura geométrica cuadrada.

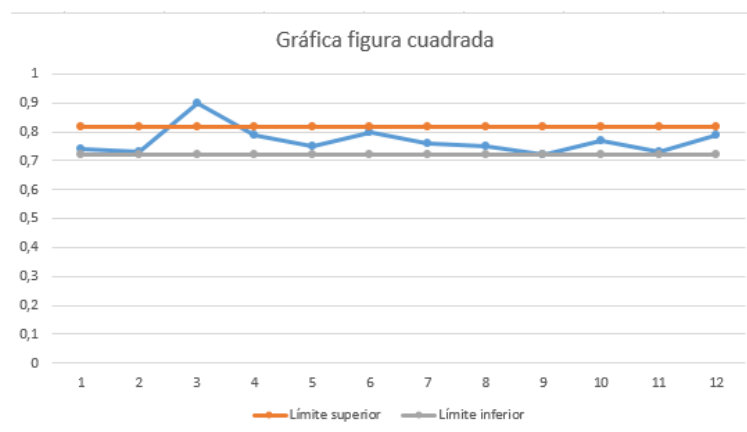


Figura 71. Gráfico de control para identificación de figura geométrica cuadrada.

En la gráfica de control de la figura geométrica circular, se pudo comprobar experimentalmente y visualizar (Figura 72), que el sistema arrancó correctamente, hasta la séptima prueba, donde se presentó un error de identificación de la figura geométrica circular.

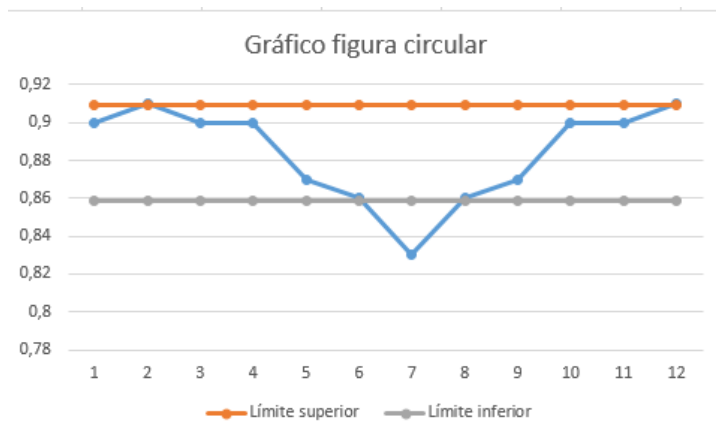


Figura 72. Gráfico de control de identificación de la figura geométrica circular

En la gráfica de control de la figura geométrica triangular, se pudo verificar experimentalmente y visualizar (Figura 73), que el sistema arranca de manera errónea con la identificación, luego el sistema identificó de manera correcta a la figura geométrica triangular.

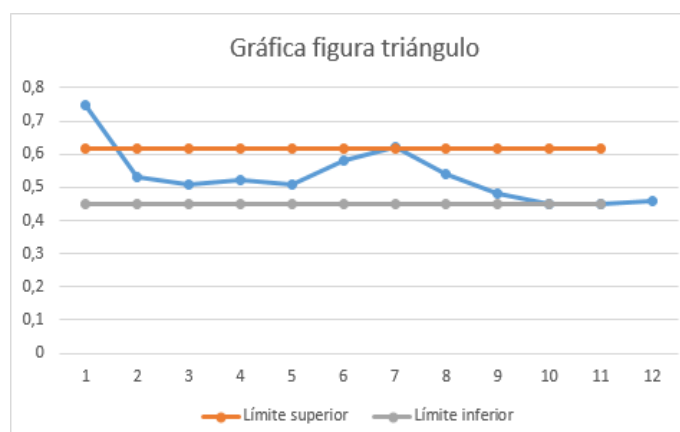


Figura 73. Gráfico de control de identificación de la figura geométrica triangular.

3.3.3. Análisis de la variable tamaño.

Tabla 10.

Tabla de obtención de datos de las doce muestras de las variables por tamaño.

Tabla tamaño círculo.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
919	907	908	905	910	907	906	910	913	912	906	909	Valores

Tabla tamaño cuadrado.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
1145	1132	1131	1133	1143	1136	1132	1140	1134	1136	1132	1140	Valores

Tabla tamaño triángulo												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Número de pruebas
997	1007	1002	998	995	995	994	1001	998	994	1003	1009	Valores

El análisis de variable tamaño, permitirá considerar como defectos a las piezas con un tamaño de área mayor a 1300 píxeles, en este análisis hay que considerar que no existió errores por parte del sistema ya que ninguna de las piezas que se consideró para este muestreo superaron dicho valor. Por lo que en este caso los valores que se encuentran fuera de los límites superiores e inferiores, reflejarían una mayor probabilidad de aproximación al defecto, ya que sus valores se aproximan al valor de 1300 píxeles.

Tabla 11.

Tabla obtención de promedio y desviación estándar de los datos de la variables tamaño.

PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Tamaño área cuadrado	
1136,17	4,75
Tamaño área circular	
909,33	3,92
Tamaño área triangular	
999,42	5,04

El límite superior se calculó sumando el promedio y la desviación estándar de la tabla 11. Mientras que al límite inferior restando el promedio con la desviación estándar.

Tabla 12.

Tabla de los límites de control y defectos de la variable tamaño.

LÍMITES DE CONTROL		
LÍMITE SUPERIOR (LCS)	LÍMITE INFERIOR (LCI)	LÍMITE DEFECTO
Tamaño área cuadrado		
1140,91	1131,42	1300
Tamaño área circular		
913,25	905,42	1300
Tamaño área triangular		
1004,45	994,38	1300

Mediante las gráficas de control que se realizaron se observó lo siguiente:

En la gráfica de control del área de tamaño cuadrado, se pudo comprobar visualmente (Figura 74), que los valores primero y quinto se encuentran fuera de los límites de control, siendo estos dos valores los más próximos a 1300 pixeles, valor que considera a las piezas como un defecto.

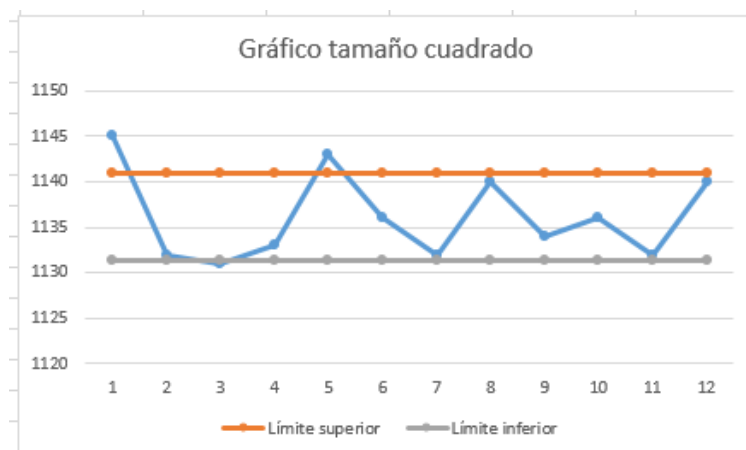


Figura 74. Gráfico de control de la variable tamaño cuadrado.

En la gráfica de control del área de tamaño circular, se pudo comprobar visualmente (Figura 75), que el valor primero se encuentra fuera de los límites de control, siendo este valor el que más se aproxima a 1300 pixeles, valor que considera a las piezas como un defecto.

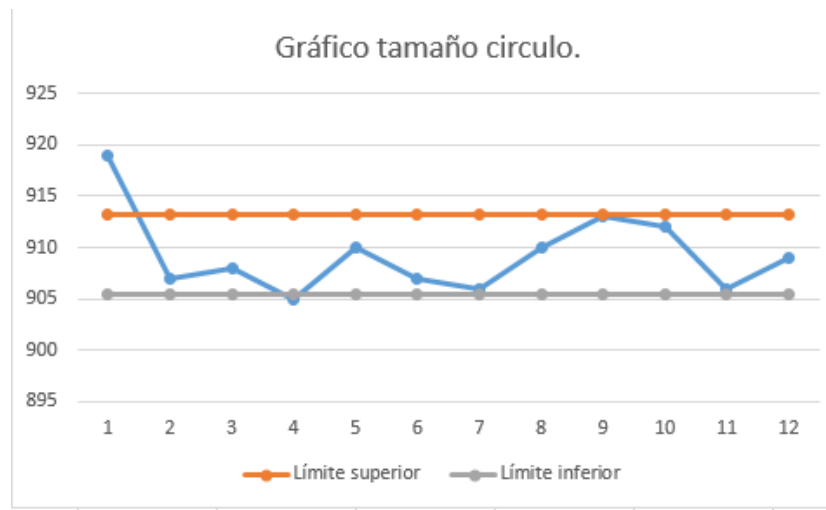


Figura 75. Gráfico de control de la variable tamaño círculo.

En la gráfica de control del área de tamaño circular, se pudo comprobar visualmente (Figura 76), que los valores dos y doce se encuentra fuera de los límites de control superior, siendo estos valores los más próximos a 1300 pixeles, valor que considera a las piezas como un defecto.

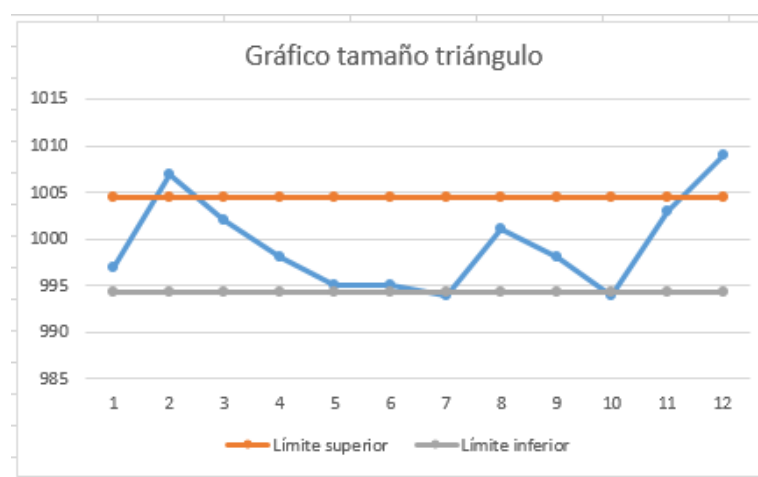


Figura 76. Gráfico de control de la variable tamaño triángulo.

3.4. Diagrama causa efecto.

Para el presente proyecto fue necesario realizar un diagrama causa efecto o diagrama de Ishikawa, con la finalidad de conocer las posibles causas de los errores del sistema de visión al momento de detectar las variables y por lo tanto poder corregir las causas que ocasionaron estos problemas. En la figura 72 se detalla mediante el diagrama espina de pescado las posibles causas que pudieron provocar los problemas de identificación de variables.

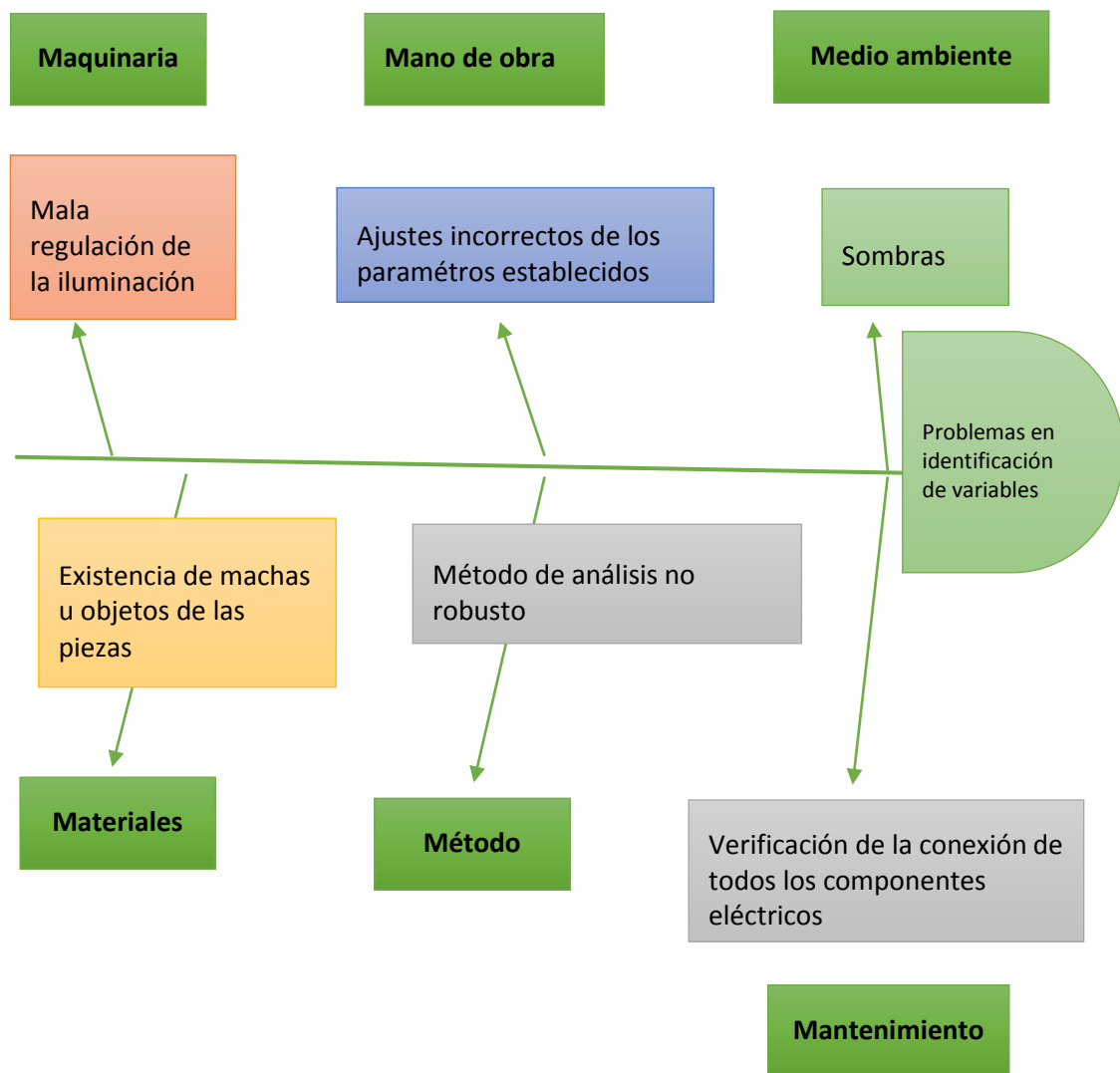


Figura 77. Diagrama de Ishikawa de las posibles causas que originaron errores en la identificación de las variables.


4. CAPITULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO.


4.1. Costo de cada Material.

Para poder realizar el análisis económico fue necesario primero conocer el costo de los componentes utilizados para este proyecto, los cuales se detallan a continuación:


Sensor de movimiento	Precio
	\$ 40,00
	Cantidad 1


Controlador lógico Programable(PLC)	Precio
	\$ 250
	Cantidad 2


Tira foco LED (1 metro)	Precio
	\$15
	Cantidad 1

Servo motor 9 kg.	Precio
	\$18
	Cantidad 1


LINTERNA LED	Precio
	\$15
	Cantidad 1

Microcontrolador (arduino)	Precio
	\$65
	Cantidad 1

Protoboard	Precio
	\$22
	Cantidad 1

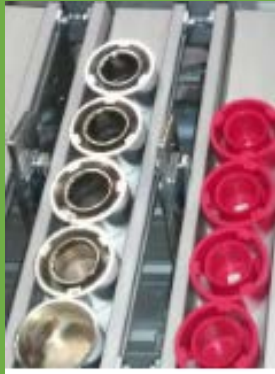
Resistencias	Precio
	\$0,15
	Cantidad 6

Regulador de voltaje	Precio
	\$ 125
	Cantidad 1

Relé	Precio
	\$ 2,90
	Cantidad 1

Pintura Spray	Precio
	\$ 4
	Cantidad 2

Cámara web	Precio
	\$ 23
	Cantidad 1

Impresión 3D Plástico	Precio
	\$ 15
	Cantidad 6

Posteriormente a la descripción de los materiales que se utilizaron con sus respectivos costos, se calculó el total del costo de las herramientas utilizadas para este proyecto. La multiplicación de la cantidad y costo de cada herramienta dio como resultado el costo total y para obtener el total del costo directo se realizó la suma de todos los costos totales (Tabla 13), lo cual dio como resultado \$ 949,80.

Tabla 13.

Costo materiales Directos

Lista de Herramientas			
Herramienta	Cantidad	Costo	Costo total
Sensor de movimiento	1	\$ 40,00	\$ 40,00
PLC	2	\$ 250,00	\$ 500
Linterna Led	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Foco Tira Led	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Servo motor de 9 kg	1	\$ 18,00	\$ 18,00
Microcontrolador	1	\$ 65,00	\$ 65,00
Protoboard	1	\$ 22,00	\$ 22,00
Resistencia	6	\$ 0,15	\$ 0,90
Regulador de voltaje	1	\$ 125	\$ 125,00
Relé	1	\$ 2,90	\$ 2,90
Cámara sensorial	1	\$ 23,00	\$ 23,00
Impresión 3d (plástico)	6	\$ 15,00	\$ 90,00
Pintura Spray	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Matlab student	1	\$ 25,00	\$ 25,00
	TOTAL		\$ 949,80

4.2. Costo de Mano de obra.

Para obtener el costo de mano de obra (Tabla 14), se realizó en base a los siguientes datos:

- El costo por hora de trabajo del estudiante es 15 dólares.
- Al día se trabajan 5 horas.
- El estudiante desarrolla el proyecto 4 días a la semana.
- El proyecto dura un aproximado de 4 meses.

Tabla 14.

Costo materiales Directos.

Tipo	Costo Diario	Costo Mensual	Costo por proyecto (4 meses)
Mano de obra	\$ 75	\$ 1200	\$ 4800
TOTAL	\$ 75	\$ 1200	\$ 4800

4.3 Costo de materiales indirectos.

El único costo indirecto fue la utilización del módulo flexible, para lo cual tenemos que conocer su respectiva depreciación (Tabla 15) en los 4 meses que duro el proyecto.

Para calcular el costo de la depreciación, se necesitó conocer el valor del costo del módulo flexible, además se realizó una estimación del precio que tendría el modulo flexible al final de su vida útil (Tabla 15) , una vez obtenidos estos datos, se procedió a calcular el valor de la depreciación total, mediante la resta entre el valor de la inversión y el valor de la estimación, el valor de la resta fue de 23000, este valor se dividió para quince años, tiempo que se estima de vida útil del equipo, el valor de la división fue \$1533 , debido que para la implementación de este proyecto se necesitó meses y no años, el valor de \$1533 se dividió para doce y posteriormente se multiplicó para los meses trabajados.

Tabla 15.

Depreciación de los materiales indirectos utilizados.

Depreciaciones						
#	Material indirecto	Valor inversión	Estimación de precio final vida útil (año)	Vida útil	Duración del proyecto (meses)	Depreciación Total
1	Modulo flexible	\$ 25000	\$2000	15 años	4	\$ 511,11
Total depreciación						\$ 511,11

4.4. Resumen de todos los costos empleados.

Por último se calculó el resumen de costos totales (Tabla 15), que se utilizó para la implementación del sistema de visión artificial para mejorar las capacidades técnicas del módulo flexible que se encuentra en el laboratorio de producción industrial de la Universidad de las Américas.

Tabla 16.

Costos Totales.

Resumen de Costos totales		
	Descripción	Costo Total
Costos Directos		
1	Materiales Directos	\$ 949,80
2	Mano de Obra Directa	\$ 4800
	Subtotal	\$ 5.749,80
Costos Indirectos		
1	Modulo flexible	\$ 511,11
	Subtotal	\$ 511,11
	Total	\$ 6.260,91

4.5 Beneficios de la implementación de visión artificial para una empresa mediante análisis VAN Y TIR.

Con el objetivo de ilustrar los beneficios que tiene este sistema para las empresas al momento de implementar un sistema de visión artificial, se utilizarán datos supuestos y que no corresponden a datos reales de una empresa.

Primero se ingresan los datos de los costos de implementación del sistema de visión artificial (Tabla 17), que tendría una empresa, hay que resaltar que estos costos pueden variar ya sea por la mano de obra al momento de realizar la conexión del sistema eléctrico, o la variabilidad de costos que pueden tener las herramientas.

Tabla 17.

Tabla de implementación del sistema de visión artificial.

Herramientas.	Cantidad.	Costo.	Costo total.
Cámara de visión.	2	\$200	\$400
Sistema de iluminación	2	\$300	\$600
Instalación y conexión del sistema eléctrico	----	\$300	\$300
Instalación y programación del Software.	1	\$450	\$450
Total			\$1750

Costo total de implementación del sistema de visión artificial \$1750.

Es necesario conocer el tiempo aproximado que toma una persona al momento de realizar la inspección de un producto, para ello se realizará diez muestras de tomas de tiempos aproximados (Tabla 18). A los mismos que se sacará un promedio el cual es de aproximadamente 8 segundos. Para conocer cuántos productos podrá una persona inspeccionar, se tomará como base el promedio de los 8 segundos y las horas aproximadas que un trabajador labora en una empresa. Con los datos anteriores se concluye que una persona puede

inspeccionar en su jornada laboral de 8 horas diarias aproximadamente unos 3600 productos.

Tabla 18.

Tabla de tiempos que toma una persona en la revisión de un producto.

Tiempo aproximado de revisión de una persona	
Número de pruebas	Tiempos (segundos)
1	6
2	8
3	9
4	9
5	8
6	9
7	7
8	8
9	9
10	7
Total	8

Por lo general en una empresa se considera tener al menos tres trabajadores que se encarguen de la inspección de calidad, con el objetivo de agilizar el despacho de los productos. La Tabla 19 y la Tabla 20, se utilizarán para realizar una comparación de la calidad y productividad en la línea de inspección, para este ejemplo se tomará en cuenta que para la tarea de inspección manual se necesitaron tres trabajadores y que el porcentaje de error de los tres trabajadores al momento de la inspección es del 7%. Es importante aclarar que para este ejemplo el porcentaje de error humano se refiere a productos que a criterio de los trabajadores no fueron considerados para su distribución.

Tabla 19.

Productos inspeccionados manualmente.

PRODUCTOS INSPECCIONADOS MANUALMENTE					
Número diario de productos inspeccionados por cada trabajador.	Número de trabajadores que realizan la tarea de inspección de un producto.	Total de productos inspeccionados diariamente	% error	Productos diarios despachados para la venta.	Productos anuales despachados para la venta.
3600	3	10800	7%	10044.	2410560

Para desarrollar la tabla de productos inspeccionados por el sistema de visión artificial (Tabla 20), se tomó en cuenta que el sistema tarda aproximadamente 2 segundos en inspeccionar un producto, por lo que en una jornada de 8 horas, el sistema de visión artificial inspecciona 14400 productos diarios.

Tabla 20.

Productos inspeccionados automáticamente.

PRODUCTOS INSPECCIONADOS AUTOMÁTICAMENTE.			
Número diario de productos inspeccionados.	% de error del sistema.	Productos diarios despachados para la venta.	Productos anuales despachados para la venta.
14400.	2%	14112.	3385380.

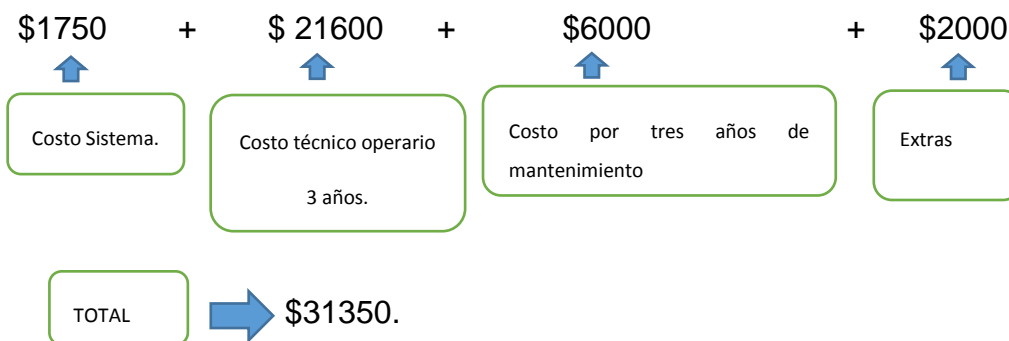
Mediante este método didáctico, se refleja que el sistema de visión artificial produjo un aumento en la productividad y una mejora en la calidad.

Para este caso didáctico, el cálculo del costo de oportunidad de capital empleado para una inversión (VAN) y la tasa interna de retorno(TIR), se presentará en dos escenarios: El primer escenario será en aquella empresa donde la tarea de inspección es realizada solo por operarios y el segundo escenario donde la tarea de inspección se realizará por un sistema automático de visión artificial, como datos adicionales para realizar una estimación de flujos de caja en los dos casos se supondrá que cada producto tiene un costo de \$0,01 el cual se lo multiplicará

por los productos anuales que fueron despachados para la venta para conocer el valor de ganancia que se obtuvo en los dos casos, el periodo será de tres años, a una tasa de descuento del 10%, valor que se tomó haciendo referencia del anexo 1.

A la revisión de productos realizada por operadores se la denominará control A, mientras que a la revisión de productos realizada de forma automática se la denominará control B, para el control A, se tomará como inversión o desembolso inicial al pago total que se realiza en tres años a los trabajadores del área de inspección, ya que para toda empresa es indispensable contar con una línea de inspección que permita garantizar la calidad de sus productos, para que la tarea de inspección sea efectiva y para este caso de ejemplo se contratará al menos tres trabajadores, los cuales tienen un sueldo básico unificado de \$375, este sueldo multiplicado por 12 meses da un total de \$4500 y este valor multiplicado por 3 ya que son tres trabajadores da \$13500 por año, pero como el periodo de tiempo en el cual se va a determinar si la inversión se pagará por sí misma es de tres años, se necesitará conocer el monto total de inversión por implementar una línea de inspección conformada por operadores en los tres años, por lo que al último valor se lo multiplicará por tres.

Para el control B, las inversiones son: implementación del sistema de visión artificial, el pago del técnico de operación para que se encargue del funcionamiento del sistema en los tres años, mantenimiento del sistema y extras. Para este ejemplo el técnico de operación del sistema de visión artificial tendrá un salario de \$600 mensuales.



Como se observa en la Tabla 21, el VAN del control B genera mayores ganancias a las inversiones de capital que el control de tipo A, por lo que implementar un sistema de visión artificial aporta un mayor valor para la empresa.

Tabla 21.

Tabla Van y Tir de los controles A Y B.

Control	Inversión de la implementación para línea de inspección	Año 1	Año 2	Año 3	VAN	TIR
A	-\$40500	\$24115	\$25000	\$24000	\$20115,4	37%
B	-\$31350	\$34000	\$30000	\$33000	\$49145,9	89%

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

Existen múltiples alternativas en soluciones de visión artificial para la industria con muchas aplicaciones que beneficiarían en mejorarlas de la producción y reducción de costos.

La obtención de variables de calidad es un proceso que lleva un nivel de preparación técnica en programación. Cada variable se debe ser analiza por separado y la técnica puede diferir en muchos casos dependiendo del objeto que se analice.

La técnica de visión artificial interactúa con el sistema físico y software empleado, es un sistema que tiene muchas variables las cuales facilitan la programación.

La implementación de los sistemas de visión artificial implementan un control al 100 % de las piezas, los parámetros de programación pueden ser susceptibles a variaciones en el tiempo debido a condiciones de iluminación.

Las pruebas realizadas presentan un error mínimo en la detección de forma y color. a pesar de esto el sistema proporciona una adecuada forma y color. Cabe destacar que este sistema es regulable y al depender de la luz variable este debe calibrarse como todo sensor o equipo de detección.

EL ambiente controlado de iluminación mejora notablemente los procesos de reconocimiento por visión artificial. La iluminación por tanto juega un papel determinante para un mejor funcionamiento del sistema.

Se ha logrado controlar con éxito las variables de tamaño y forma, mientras que la variable color es susceptible a cambios debido a la iluminación de la variable en el entorno de trabajo.

La implementación del sistema de visión artificial servirá para el aprendizaje y prácticas de laboratorio en las asignaturas de hidráulica, automatización.

Mediante el método didáctico que se empleó en la presente tesis, se pudo observar que con la implementación de un sistema de visión artificial en la línea

de inspección con las características expuestas, existe una mejora y aumento de la calidad, productividad e ingresos económicos para la empresa.

Se ha demostrado mediante un ejemplo didáctico que con la implementación del sistema de visión artificial, se obtiene una mayor rentabilidad en términos absolutos netos, y una tasa alta de rendimiento.

5.2 Recomendaciones.

Para futuros proyectos, es necesario tener conocimientos básicos en programación de Matlab o cualquier lenguaje de programación, que faciliten la implementación de futuros proyectos similares.

Se recomienda a los estudiantes utilizar el sistema de visión artificial para el aprendizaje y prácticas en el laboratorio que permitan la mejora e implementación de nuevos sistemas.

Se recomienda que para futuras pruebas de este sistema, se tenga una iluminación adecuada para facilitar la obtención correcta de las variables.

Para una mejor y adecuada evaluación de las variables, se podría adquirir una cámara que tenga una mejor resolución.

REFERENCIAS.

- Alfaro, J. Mondejar, J. Vargas, M. (2010). *Gráficos multivariados aplicados al control de la calidad*. Recuperado el 15 de noviembre del 2010 de <https://books.google.com.ec/books?id=rCuO0Ye1ml4C&printsec=frontcover&dq=graficos+de+control+calidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj4jpPU5MvQAhXFRSYKHV4tDiUQ6AEIO TAF#v=onepage&q=graficos%20de%20control%20calidad&f=false>.
- Angulo, JM., Romeros. y Angulo, I. (2006). *Microcontroladores "PIC": diseño práctico de aplicaciones*. (2. ed.). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Aristondo, J. (2010). *Algoritmo de reconocimiento de forma y color para una plataforma robótica*. Euskal Herriko Unibertsitatea Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.
- Banco Central del Ecuador. (s.f.). *Tasas de Interés*. Recuperado el 5 Noviembre del 2016 de <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/148-tasas-de-inter%C3%A9s>.
- Benchimol, D. (2011). *Electrónica Práctica*. *netUsers*. 17 (1). 31-33. Recuperado el 21 de Agosto 2000 de <https://www.downlossless.net/user/UC1C39IK33kecJFzZC2FoF3A>.
- Betancout, D. (2014). *Sistema de visión por computador para detectar hierba no deseada en prototipo de cultivo de frijol usando ambiente controlado*. Pontificia Universidad Católica de Colombia.
- Blanco, Jose. (s,f). *Figura de Diagrama Causa- Efecto*. Recuperado el 9 de Octubre del 2014 de: <http://dbcalidad.blogspot.com/2014/10/el-diagrama-causa-efecto-ishikawa.html>.
- Cardenas, M. (2012). *Automatización de un sistema de centrado de componentes utilizando visión artificial*. Universidad Politécnica Salesiana.

Chang, R. Niedzwiecki, M. (1993). *Herramientas para mejora continua de la calidad*. (2ª ed.). Recuperado el 25 de Marzo 1993 de <https://books.google.com.ec/books?id=kBaoNI3OheAC&pg=PA83&dq=graficos+de+control+calidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj4jpPU5MvQAhXFRSYKHV4tDiUQ6AEITjAJ#v=onepage&q=graficos%20de%20control%20calidad&f=false>.

Circuitos electrónicos. (s.f.). Estructura del protoboard. Recuperado el 3 de Octubre del 2007 de <http://www.circuitoselectronicos.org/2007/10/el-protoboard-tableta-de-experimentacin.html>.

Cubero, S. (2012). *Diseño e implementación de nuevas tecnologías basadas en visión artificial para la inspección no destructiva de la calidad de fruta en campo y mínimamente procesada* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia.

Digi-Key Electronics.s.f. *Tabla de Resistencia Comerciales*. Recuperado el 7 de Septiembre del 2016 de https://www.inventable.eu/media/122_Resistencias_colores/resistor_color_5band.png.

Enriquez, R. (2009). *Guía de usuario Arduino*. Córdoba, España: Librotec Digital.

Escalano, F., Carzola, M., Alfonso, M., Colomina, O., y Lozano, M. (2003). *Inteligencia Artificial Modelos Técnicas y áreas de aplicación*. Madrid, España: Thompson.

Escudero, J. (2004). *Técnicas y métodos de investigación desde la animación sociocultural*. Madrid, España: NARCEA, S.A.

Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco. (2010). *Sistema de visión artificial piezas cromadas*. Instituto Politécnico Nacional.

Fernando, C. y Rosendo, O. (2012). *Automatización de un sistema centrado de componentes utilizando visión artificial*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

- Fernández, N. (2010). *Visión artificial avanzada*. Córdoba, Argentina: Universidad de Córdoba.
- Fernández, Y. (2013). Ejemplo de gráfica de Pareto. Recuperado el 7 Enero del 2009 de <http://image.slidesharecdn.com/tarea6conflicto-130317222340-phpapp01/95/diagrama-de-pareto-7-638.jpg?cb=1363559364>.
- García, A. (2012). *Inteligencia Artificial. Fundamentos prácticas y aplicaciones*. Madrid, España: RC Libros.
- García, N. (2011). Gráfica de tornamenta de ideas. Recuperado el 11 de Mayo del 2010 de <http://appleuniverso.blogspot.com/>.
- García, R. (2010). *Electrónica aplicada. Madrid, España: Paraninfo*.
- Gomez,R. (2016). *Inteligencia atificial Hacia donde nos lleva*. Universidad Autonoma de México, 215. Recuperada el 2 de Mayo del 2016 de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/2/la-inteligencia-artificial-hacia-donde-nos-lleva>.
- Gutiérrez, H. (2013). *Control estadístico de la calidad*. (3ª ed.).México DF, México: México McGrawHill.
- Ideal.es. (s,f). Imagen de inspección de la calidad en una fábrica de jugos. Recuperado el 05 de Marzo del 2013 de <http://www.ideal.es/almeria/20130305/local/almeria/aumentan-exportaciones-frutas-hortalizas-201303051217.html>.
- Infaimon. (2011). Soluciones de visión artificial para automoción. Recuperado el 8 de Diciembre del 2011 de <http://blog.infaimon.com/2011/12/soluciones-de-vision-artificial-para-automocion/>.
- Ingeinova group, (s,f). Imagen de Brazo robótico utilizado para el control de la calidad. Recuperado el 9 de Octubre del 2011 de <http://blog.ingeinnova.com/2011/10/vision-artificial/>.

- Ingenieros.es. (s.f). *La visión artificial en la industria*. Recuperado el 2 de septiembre del 2016 de <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/la- vision-artificial-en-la-industria-40/6247>.
- Jiménez,M.(s.f).Binarización de imagen. Recuperado el 2 de Octubre del 2010 de <http://mcarmen-matri.blogspot.com/2010/10/binarizacion-de- imagenes.html>.
- Miranda,F. Chamorro, A. y Rubio,S. (2007).*Introducción a la gestión de la calidad*. Madrid,España: Universidad de Extremadura y Delta Publicaciones.
- Monografías.com. (s.f). *Técnicas de procesamiento digital de imágenes aplicadas al análisis de microestructuras*. Recuperada el 19 de Agosto del 2008 de <http://www.monografias.com/trabajos94/tecnicas- procesamiento-digital-imagenes-aplicadas-al-analisis- microestructuras/tecnicas-procesamiento-digital-imagenes- aplicadas-al-analisis-microestructuras.shtml>.
- Nogué, A. y Antiaga, J. (2012). *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de los procesos industriales*. Barcelona, España: © Institut la Garrotxa.
- Pérez, K. (2013). Diagrama de Ishikawa, o diagrama causa efecto. Recuperado el 01 de Noviembre del 2013 de: http://kary- naye1734.blogspot.com/2013_11_01_archive.html.
- Rauch,W.(1989). *Aplicaciones de la Inteligencia artificial en la actividad empresarial, la ciencia y la industria*. Madrid,España: Diaz Santos ediciones, S.A.
- Rey,F. (2003). *Técnicas de resolución de problemas*. Madrid, España: FC editorial.
- Rocha, F. (2012).Un iPhone 5 con pantalla transparente. Recuperada el 17 de junio del 2012 de <http://syncker.com/2012/06/17/un-iphone-5-con- pantalla-transparente/>.

San Miguel, P. (s,f). Técnicas básicas para el control de la calidad. Recuperado el 17 de Enero de 2011 de: <http://www.inqualitas.net/articulos/477-tecnicas-basicas-para-la-gestion-de-la-calidad>.

Sensortenics&Semiconductors,s.f.*Sensores Ultrasónicos*.

Sunchine inspection & web commerce worldwide. (s,f). Gráfico de inspección, de control de calidad. Recuperada el 7 de Mayo del 2014 de <http://www.webcommerceworldwide.com/Control-calidad-en-china.htm>.

Tecno ingeniería. (2008). Sistema e inspección y control de calidad. Recuperada el 15 de Junio del 2008 de http://www.tecnoing.com/productos.aspx?CatId=_Cognex.

Universidad del País Vasco. (2012).*Departamento de Ciencia e Investigación*. Cataluña, España: Universidad del país Vasco.

Universidad Nacional de Quilmes-Ingeniería en Automatización y Control Industrial. (2005). *Aspectos de un sistema de visión artificial*. Recuperado el 29 de Mayo del 2005 de:http://controlcalidad.institutoidf.com/descargas/folleto_control_calidad.pdf

Universidad Politécnica de Valencia. (2005). *Desarrollo de un sistema de visión artificial para el control eficiente de pulverizadores de cera para el tratamiento post cosecha*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Universidad Politécnica de Valencia. (2012).*Instituto de diseño y fabricación*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Uriarte, J. Alarcos, M. (2011). *Tecnología Industrial II*. Recuperado el 25 de Noviembre del 2011 de: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>.

Wagner, F (2015). Una solución robótica avanzada del UR5 contribuye a los resultados finales de FW. Recuperada el 16 de Enero del 2015

de <https://www.universal-robots.com/es/casos-pr%C3%A1cticos/ferdinand-wagner/>.

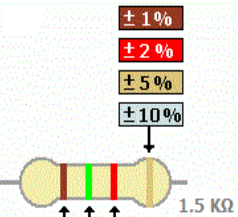
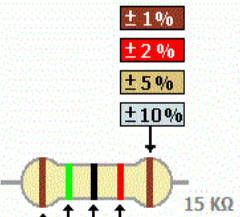
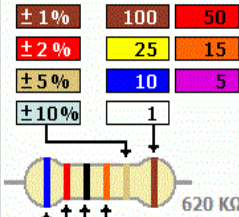
Wikipedia. (s.f). *Mezcla de colores aditivos*. Recuperada el 11 de Noviembre del 2016 de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e0/Synthese%2B.svg/200px-Synthese%2B.svg.png>.

ANEXOS

Anexo1. Tabla de tasas de interés efectiva vigente Enero 2017.

Tasas de Interés			
enero - 2017			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	8.39	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	10.06	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.57	Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	9.00	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	8.02	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.68	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	11.32	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.72	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.70	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.50	Educativo	9.50
Inmobiliario	10.90	Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.97	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista	27.41	Microcrédito Minorista	30.50
Microcrédito de Acumulación Simple	25.06	Microcrédito de Acumulación Simple	27.50
Vivienda de Interés Público	4.97	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista	27.41	Microcrédito Minorista	30.50
Microcrédito de Acumulación Simple	25.06	Microcrédito de Acumulación Simple	27.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada	21.58	Microcrédito de Acumulación Ampliada	25.50
Inversión Pública	8.19	Inversión Pública	9.33
2. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS PROMEDIO POR INSTRUMENTO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Depósitos a plazo	5.08	Depósitos de Ahorro	1.20
Depósitos monetarios	0.63	Depósitos de Tarjetahabientes	1.21
Operaciones de Reporto	0.21		
3. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS REFERENCIALES POR PLAZO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Plazo 30-60	3.69	Plazo 121-180	5.31
Plazo 61-90	4.32	Plazo 181-360	6.18
Plazo 91-120	5.25	Plazo 361 y más	7.53

Anexo 2. Código de colores de las resistencias.

<p> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 Negro 1 Marrón 2 Rojo 3 Naranja 4 Amarillo 5 Verde 6 Azul 7 Púrpura 8 Gris 9 Blanco ±1% Marrón ±2% Rojo ±5% Dorado ±10% Plateado </p>	<p>  1 1 X10 2 2 X100 3 3 X1000 4 4 X10000 5 5 X100000 6 6 X1000000 7 7 ÷10 8 8 ÷100 9 9 </p>	<p>  1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100 7 7 7 8 8 8 9 9 9 </p>	<p>  1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100 7 7 7 8 8 8 9 9 9 </p>
Código de Colores	Resistencias de 4 Bandas	Resistencias de 5 Bandas	Resistencias de 6 Bandas

