



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
MONITOREO EN BASE AL PROCEDIMIENTO DE IMÁGENES
DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL
APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA
SELECTORA DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”**

TIERRA GUSQUI JUAN JOSÉ
GALARZA DUCHI MARCO VINICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTOS TECNOLÓGICOS

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO INDUSTRIAL

Riobamba-Ecuador

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Fecha de matrícula: 2016-11-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

TIERRA GUSQUI JUAN JOSÉ

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
MONITOREO EN BASE AL PROCEDIMIENTO DE IMÁGENES
DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL
APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA
SELECTORA DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
DIRECTOR

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Fecha de matrícula: 2016-11-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

GALARZA DUCHI MARCO VINICIO

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
MONITOREO EN BASE AL PROCEDIMIENTO DE IMÁGENES
DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL
APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA
SELECTORA DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
DIRECTOR

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TIERRA GUSQUI JUAN JOSÉ

Fecha de examinación: 2017-12-14

TRABAJO DE TITULACIÓN:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO EN BASE AL PROCEDIMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA SELECTORA DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos TUTOR			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas ASESOR			

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El presidente del tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GALARZA DUCHI MARCO VINICIO

Fecha de examinación: 2017-12-14

TRABAJO DE TITULACIÓN:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO EN BASE AL PROCEDIMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL APLICADO AL RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA SELECTORA DE BOTELLAS EN EL LABORATORIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos TUTOR			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas ASESOR			

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El presidente del tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Marco Vinicio Galarza Duchi

Juan José Tierra Gusqui

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Marco Vinicio Galarza Duchi y Juan José Tierra Gusqui, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Marco Vinicio Galarza Duchi
Cédula de Identidad: 060414191-1

Juan José Tierra Gusqui
Cédula de Identidad: 060405229-0

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a DIOS por darme la oportunidad de culminar una meta más en mi vida, mi familia mis amigos y a todos quienes fueron participes en los momentos difíciles que se presentaron dentro de la carrera de Ingeniería Industrial

Juan José tierra Gusqui

Agradezco a DIOS y a la vida por lo bueno y lo malo, las tristezas y alegrías pues de eso se ha obtenido experiencias que fortalecen mi carácter como buen profesional, agradezco infinitamente a mi madre, a mi hermana y a cada uno de mis hermanos pues ellos son mis pilares principales y por quienes luchare hasta el final.

Marco Vinicio Galarza Duchi

DEDICATORIA

Dedico a mi padre por ser un ejemplo de vida, a mi madre por enseñarnos el camino del bien, a pesar de tantas dificultades que se presentaron en mi niñez, mi hermano y hermanas por su apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado en el transcurso de mi vida profesional, a mi hijo quien es el principal motivo e inspiración para seguir cumpliendo diferentes metas y retos. A mis amigos, compañeros y todos quienes forman parte esencial en mi vida.

Juan José tierra Gusqui

Con amor infinito dedico mis éxitos y alegrías a mi madre, hermana, hermanos y tío por acompañarme y apoyarme en cada decisión que he tomado, fortaleciéndome como una persona de bien con grandes amigos que jamás se los olvidara.

Marco Vinicio Galarza Duchi

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I

1	MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Justificación	2
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	2
1.3.3	<i>Justificación practica</i>	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Visión.....	5
2.2	Inteligencia artificial	5
2.3	Visión artificial	6
2.4	Objetivos de la visión artificial.....	7
2.5	Características principales en un sistema de visión artificial.....	7
2.6	Aplicaciones de la visión artificial.....	7
2.7	Ventajas y desventajas de la visión artificial	8
2.8	Ventajas	8
2.9	Desventajas	9
2.10	Principio básico de la visión artificial.....	9

2.11	Elementos que componen un sistema de visión.....	10
2.11.1	<i>Illuminación</i>	11
2.12	Clasificación de luminarias según el mercado de ventas.....	17
2.12.1	<i>Halógenas</i>	17
2.12.2	<i>Incandescencia</i>	17
2.12.3	<i>Fluorescentes</i>	18
2.12.4	<i>Laser</i>	18
2.12.5	<i>Xenón</i>	19
2.12.6	<i>LED (Light Emitting Diode)</i>	19
2.13	Cámara.....	19
2.14	Clasificación de cámaras	20
2.14.1	<i>Cámaras analógicas</i>	20
2.14.2	<i>Cámaras digitales</i>	20
2.14.3	<i>Cámaras lineales.</i>	21
2.14.4	<i>Cámaras matriciales.</i>	22
2.14.5	<i>Cámaras color.</i>	22
2.15	Óptica.....	23
2.15.1	<i>Distancia focal</i>	23
2.15.2	<i>Foco o enfoque</i>	23
2.15.3	<i>Profundidad de campo</i>	24
2.15.4	<i>Apertura del diafragma</i>	24
2.16	Clasificación de las ópticas.....	24
2.16.1	<i>Ópticas Telecéntricas</i>	24
2.16.2	<i>Ópticas Pericéntricas</i>	24
2.17	Placa digitalizadora-Arduino	24
2.17.1	<i>Características</i>	25
2.18	Unidad de procesamiento.....	26

2.19	Software	27
2.19.1	<i>Aplicación industrial</i>	27
2.19.2	<i>Aplicación científica</i>	28
2.20	MATLAB.....	28
2.20.1	<i>Matriz de imagen</i>	29
2.20.2	<i>Imagen RGB</i>	29
2.20.3	<i>Fundamento de Color</i>	30
2.20.4	<i>Adquisición de Imágenes.</i>	30
2.20.5	<i>Procesamiento de Imágenes.</i>	30
2.20.6	<i>Histograma de una imagen.</i>	33
2.20.7	<i>Segmentación.</i>	33
2.21	Calidad.....	35
2.21.1	<i>Etapas para el control de calidad.</i>	36
2.21.2	<i>Indicadores de calidad</i>	36
2.21.3	<i>Control de calidad con visión artificial</i>	37
 CAPÍTULO III		
3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	39
3.1	Parámetros y Variables de diseño.....	39
3.1.1	<i>Sistema mecánico</i>	39
3.1.2	<i>Sistema de clasificación</i>	39
3.1.3	<i>Iluminación</i>	40
3.1.4	<i>Sistema de Cámara web con óptica o lente integrada y sensor VGA “Logitech”</i>	41
3.1.5	<i>Sistema de control y mando</i>	42
3.2	Diseño del equipo	43
3.2.1	<i>Selección de equipos de trabajo</i>	43
3.2.2	<i>Situación actual de la máquina selectora de envases</i>	44

3.2.3	<i>Selección del controlador del sistema.</i>	45
3.2.4	<i>Selección de cámara.</i>	47
3.2.5	<i>Selección del sensor.</i>	48
3.2.6	<i>Diseño de accesorios de trabajo.</i>	48
3.2.7	<i>Configuración y programación del software necesario.</i>	53
3.2.8	<i>Programación para el procesamiento de imágenes y clasificación de botellas.</i>	57
3.3	Construcción del equipo	67
3.4	Pruebas y funcionamiento.	71
3.4.1	<i>Funcionamiento mejorado con visión artificial.</i>	71
3.4.2	<i>Selección del entorno adecuado para el procesamiento de imágenes</i>	71
3.4.3	<i>Procesamiento y clasificación de botellas plásticas.</i>	74
3.4.4	<i>Procesamiento y clasificación de envases de vidrio.</i>	76
3.4.5	<i>Procesamiento y clasificación de envases de aluminio.</i>	79
3.4.6	<i>Ventajas del antes y después de la máquina selectora de botellas.</i>	81

CAPÍTULO IV

4	ESTUDIO DE COSTOS	82
4.1	Costos directos	82
4.2	Costos indirectos	83

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1	Conclusiones	84
5.2	Recomendaciones	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-3. Equipos de trabajo	43
Tabla 2-3. Envases a clasificar.....	45
Tabla 3-3. Tabla de ponderación-Selección del controlador del sistema	46
Tabla 4-3. Tabla de ponderación-selección del arduino	46
Tabla 5-3. Tabla de ponderación-selección de cámara.....	47
Tabla 6-3. Tabla de ponderación-selección del sensor	48
Tabla 7-3. Accesorios de trabajo	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8-3. Selección de tipo de estructura	49
Tabla 9-3. Conexiones por variable en el arduino MEGA 2560	63
Tabla 10-3. .Construcción de la estructura tipo domo rectangular	67
Tabla 11-3. Construcción del soporte de la cámara.....	68
Tabla 12-3. Construcción de la caja de control y mando.....	68
Tabla 13-3. Elaboración de la interfaz de control.....	70
Tabla 14-4. Costos directos de los materiales para la elaboración del proyecto	82
Tabla 15-4. Costos indirectos para la elaboración del proyecto	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2. Visión artificial	6
Figura 2-2. Sistemas de Inspección con Visión Artificial.	8
Figura 3-2: Diagrama en bloques de un sistema de visión artificial.	9
Figura 4-2: Componentes de un sistema de visión artificial.	10
Figura 5-2: Iluminación frontal	12
Figura 6-2: Iluminación por contraste	13
Figura 7-2: Iluminación difusa axial	13
Figura 8-2: Luz estructurada.	14
Figura 9-2: Iluminación de campo oscuro.....	15
Figura 10-2: Iluminación de campo brillante.	15
Figura 11-2: Iluminación cenital difusa tipo domo.	16
Figura 12-2: Iluminación con láser.....	17
Figura 13-2: Iluminación alógena.	17
Figura 14-2: Iluminación incandescente.	18
Figura 15-2: Iluminación fluorescente.	18
Figura 16-2: Iluminación con láser.....	18
Figura 17-2: Iluminación mediante xenón.	19
Figura 18-2: Iluminación mediante LED.	19
Figura 19-2. Diferentes cámaras empleadas en la visión artificial	20
Figura 20-2: Cámara lineal.....	21
Figura 21-2: Cámara matriciales.	22
Figura 22-2. Placa digitalizadora-Arduino	25
Figura 23-2: Unidad de procesamiento.	26
Figura 24-2: Software aplicado a la identificación de la posición de una imagen.	27
Figura 25-2. Logo MATLAB	28
Figura 26-2. Etapas de procesamiento.....	29
Figura 27-2. Dilatación binaria.....	31
Figura 28-2. Erosión binaria.....	31
Figura 29-2. Apertura	32
Figura 30-2. Cierre de imagen	32
Figura 31-2. Binarización según los umbrales.....	34

Figura 32-2. Segmentación basada en bordes.....	34
Figura 33-2. Segmentar por color	35
Figura 34-3. Arduino	42
Figura 35-3. Sensor.....	43
Figura 36-3. Diagrama de flujo- funcionamiento actual	44
Figura 37-3. Maquina selectora	45
Figura 38-3. Vista frontal de la estructura	49
Figura 39-3. Vista lateral de la estructura.....	50
Figura 40-3. Vista interior de la estructura	50
Figura 41-3. Iluminación difusa con lámparas fluorescentes	51
Figura 42-3. Vista frontal del soporte 1	52
Figura 43-3. Vista frontal del soporte 2.....	53
Figura 44-3. Vista frontal del soporte 3.....	53
Figura 45-3. Instalación del Arduino-software.....	54
Figura 46-3. Instalación drive Logitech C170	55
Figura 47-3. Instalación MATLAB 2015	56
Figura 48-3. Diagrama de flujo-Etapas del procesamiento de imágenes	57
Figura 49-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB	58
Figura 50-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB	58
Figura 51-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB	58
Figura 52-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB	59
Figura 53-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB	59
Figura 54-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB	59
Figura 55-3. Activación y desactivación de imágenes mediante códigos y algoritmos	60
Figura 56-3. Activación del arduino MEGA 2560 en MATLAB	61
Figura 57-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	61
Figura 58-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	61
Figura 59-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	62
Figura 60-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	62
Figura 61-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	63
Figura 62-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB	63
Figura 63-3. Conexión del circuito eléctrico	64
Figura 64-3. Clasificación de envases mediante códigos y algoritmos.	65

Figura 65-3. Procesamiento de imágenes mediante propiedades de los envases	66
Figura 66-3. Finalización del proceso de clasificación.....	67
Figura 67-3. Diagrama de flujo- proceso mejorado.....	71
Figura 68-3. Prueba 1- Estructura semi-cerrada con fondo negro.....	72
Figura 69-3. Prueba 2- Estructura semi-cerrada con fondo blanco	72
Figura 70-3. Estructura cerrada con fondo blanco.....	73
Figura 71-3. Estructura cerrada con fondo blanco e iluminación difusa.....	73
Figura 72-3. Posicionamiento de la cámara en la parte lateral derecha de la estructura	74
Figura 73-3. Procesamiento y clasificación de botellas plásticas.....	74
Figura 74-3. Botella plástica situada en el área de procesamiento	75
Figura 75-3. Detección y captura de botellas plásticas.....	75
Figura 76-3. Clasificación de botella de plástico.....	75
Figura 77-3. Clasificación de botellas plásticas.....	76
Figura 78-3. Procesamiento y clasificación de botellas platicas	76
Figura 79-3. Procesamiento y clasificación de botellas de vidrio	77
Figura 80-3. Botellas de vidrio situado en el área de procesamiento	77
Figura 81-3. Detección y captura de botellas de vidrio	77
Figura 82-3. Clasificación de botella de vidrio.....	78
Figura 83-3. Clasificación de botellas de vidrio	78
Figura 84-3. Procesamiento y clasificación de botellas de vidrio	78
Figura 85-3. Procesamiento y clasificación de botellas de aluminio.....	79
Figura 86-3. Botella de aluminio situada en el área de procesamiento	79
Figura 87-3. Detección y captura de botellas de aluminio	80
Figura 88-3. Clasificación de botella de aluminio.....	80
Figura 89-3. Clasificación de botellas de aluminio	80
Figura 90-3. Procesamiento y clasificación de botellas platicas	81

RESUMEN

Se implementó un sistema de visión artificial que controla la calidad en base al procesamiento de imágenes en la maquina selectora de botellas del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH, cuyo objetivo es clasificar tres tipos de botellas: aluminio, vidrio, plástico, mediante su forma y dimensionamiento. Los parámetros necesarios son la iluminación, entorno, cámara, placa digitalizadora y software. Por las grandes prestaciones y facilidades de descarga en drivers y complementos con otros accesorios MATLAB es la mejor opción para realizar la programación del sistema de clasificación mediante lenguaje C++ con códigos y algoritmos compatibles con diferentes accesorios de trabajo. A través de MATLAB y sus librerías se procedió a la selección de la cámara por medio de un análisis de características ponderadas, la mejor opción es una webcam Logitech de 5 Mpx, obteniendo 100% de compatibilidad con el software que captura imágenes nítidas con suficiente información para procesarlas en un tiempo de 30 fotos por segundo (fps). La placa digitalizadora a utilizar es un Arduino MEGA 2560 elegido mediante un análisis de características y compatibilidad entre varias opciones. MATLAB permite descargar los drivers del arduino e instalarlos para usar cada PIN, con algoritmos que permiten sincronizar un sistema inteligente y automatizado. El entorno de trabajo y la iluminación dependen del objeto a analizar y de las características de calidad que se quieren inspeccionar, al clasificar tres tipos de botellas, existió la necesidad de utilizar una estructura rectangular cerrada con fondo blanco con iluminación difusa la cual se concentra al 100% sobre cada objeto evitando la prolongación de sombras, la clasificación se da a través de dos electroválvulas que activan los cilindros enviando cada botella a su lugar específico.

PALABRAS CLAVES: <VISIÓN ARTIFICIAL>, <PLACA DIGITALIZADORA>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <ILUMINACIÓN>, <SISTEMA AUTOMATIZADO>, <ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS>, <ARDUINO>.

ABSTRACT

An artificial visioning system which controls the quality based on image processing in the bottle classification machine in the lab of Industrial Engineering School at ESPOCH was implemented. It is aimed to classify three types of bottles such as: aluminum, glass and plastic through their size and shape. Light, environment, camera, digitizer card and software are the necessary parameters. MATLAB software is the best option to program the classification system by using C++ language with supported algorithms and codes with a variety of accessories as well as by its great features and facilities on driver download. Through MATLAB and its libraries, the camera selection by using weighted characteristics analysis. The Logitech of 5 Mpx webcam is the best option getting 100% of compatibility with the software which capture clear images with enough information to process 30 photos per second. Arduino Mega 2560 is used as a digitizer card, it has been chosen among several options through an analysis of characteristics and compatibility. MATLAB allows you to download and install Arduino drivers to use each PIN with algorithms in order to synchronize an intelligent automated system. The work environment and the light depend on the test object as well as the quality characteristics to be inspected. There was the necessity to use a closed rectangular structure with White background and a diffused soft light to classify three types of bottles which will focus 100 per cent on each object and in this way avoiding shadows extension. The classification process occurs through two solenoid valves that can trigger the cylinders putting each bottle at the specific locations.

KEYWORDS: <ARTIFICIAL VISIONING>, <DIGITIZER CARD>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <LIGHT>, <AUTOMATED SYSTEM>, < ANALYSIS OF CHARACTERISTICS>, <ARDUINO DRIVER>.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe la implementación de un sistema de Visión Artificial aplicado en una máquina selectora de botellas, disponible en el laboratorio de Automatización de la escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH, con el objetivo de aportar nueva tecnología dentro de la institución y proporcionar la posibilidad de manipular este tipo de sistemas que se vuelve día a día más importante en las empresas, fortaleciendo el nivel de aprendizaje de futuras generaciones.

Mediante la implementación de un modelo experimental se pretende brindar una mejor perspectiva de los alcances que tienen los sistemas de Visión Artificial y cómo puede ayudar a optimizar la calidad de productos en proceso.

La aplicación del sistema de visión artificial contiene dispositivos que captan imágenes reales, controladores que envían señales a través de entradas o salidas y procesadores que controlan cualquier proceso productivo dentro de la industria alimentaria, automoción, electrónica, etc. Mediante la implementación de esta nueva tecnología se busca garantizar un producto de calidad buscando la satisfacción del cliente y reducir costos evitando la devolución de los productos.

Estas inspecciones visuales se requieren en procesos repetitivos y de alta velocidad, que comprueben los parámetros establecidos de un producto, los cuales pueden ser dimensiones, número de serie y número de componentes, estado de ensamblaje, etiquetado y marcado, control de acabado superficial y control de calidad.

El montaje del sistema de Visión Artificial en una máquina selectora de botellas con banda transportadora se lo realiza utilizando dispositivos de tecnología como son: cámaras, software, sensores de iluminación, pc, tarjeta de adquisición para un mejor proceso productivo.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La tecnología de visión artificial es una disciplina relativamente reciente que tuvo su introducción en la industria en la década de los 80. Aplicada en sistemas basados en la tecnología de los pc, se beneficia de los rápidos avances informáticos como de software y redes. (Vision artificial, 2012, p. 4)

A medida que pasa el tiempo la tecnología es más indispensable en la industria ya que los procesos son realizados a gran velocidad y pueden presentar fallas que no son visibles o detectados por el ojo humano y requieren de métodos más avanzados, con el fin de evitar productos de baja calidad, cansancio, estrés y pérdida de visión en los trabajadores.

La visión artificial se basa en la adquisición de imágenes, en dos dimensiones, para procesarlas digitalmente mediante algún tipo de computador con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de las imágenes adquiridas. Por lo tanto se trata, de una tecnología que combina las computadoras con las cámaras de video para adquirir, analizar e interpretar imágenes de una forma equivalente a la inspección visual humana. (Herrero, 2005, p. 6)

Actualmente el Laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería Industrial carece de un sistema de visión artificial en la máquina selectora de botellas con banda transportadora por lo cual se ha visto la necesidad de implementar este sistema, el mismo que es muy utilizado en las industrias complementando ayudas y mejoras en los ambientes laborales donde se desempeña un Ingeniero Industrial.

1.2 Planteamiento del problema

Un sistema de visión artificial permite incrementar los niveles de producción en empresas que trabajan a grandes velocidades por la gran demanda que requiere el mercado detectando las fallas, anomalías y productos mal terminados en un determinado proceso, este sistema se encuentra establecido en algunas industrias del país por lo que hace de vital importancia la utilización de esta tecnología dentro del laboratorio de automatización de procesos de la Escuela de Ingeniería Industrial y en un futuro dar estas soluciones al sector empresarial siendo la ESPOCH ente de crecimiento y tecnología nacional.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

La Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo carece de un sistema de visión artificial que permita a los estudiantes conocer sobre las diferentes posibilidades tecnológicas que faciliten y agilicen el proceso de producción al detectar la calidad de los productos que mejore ciertas características que requiere el cliente para satisfacer sus necesidades.

La calidad de un producto refleja la importancia de una empresa a sus clientes, por esta razón con la implementación del sistema de visión artificial con software en la máquina selectora de botellas, a través de imágenes digitales se da a conocer una alternativa de mejoramiento del proceso de calidad que separa producto de buena y mala calidad.

1.3.2 Justificación metodológica

En la implementación del sistema de visión artificial parte con la aplicación de la metodología STATE-GATE (ETAPA-PUERTA) para la gestión de proyectos tecnológicos desarrollada por el Dr. Robert G. Cooper. Está basada en etapas las cuales contienen en su entrada Puertas de decisión que permiten el control de la aceptación o el rechazo del proceso. (Cooper, 2007, p. 68)

Etapas: Cada etapa consiste en un conjunto de actividades de mejores prácticas, mediante las cuales se adquiere información vital, que permite reducir el nivel de incertidumbre y por consiguiente minimizar el riesgo del proyecto etapa por etapa. (Valencia, 2014, p. 25)

Puertas: Son los puntos de decisión en cada una de las etapas definidas, un comité evaluador en conjunto con el equipo del proyecto decide si el proyecto continúa o no, en caso afirmativo se evalúa si se requieren recursos adicionales para continuar con la siguiente etapa. (Cooper, 2007, p. 70)

1.3.3 Justificación práctica

La información que se podrá obtener mediante la implementación de un sistema de visión artificial en la maquina selectora de botellas con banda transportadora es la de proporcionar parámetros de calidad que no se los puede visualizar a simple vista en procesos automatizados a grandes velocidades lo que contribuirá con la Escuela de Ingeniería Industrial fortaleciendo el conocimiento en calidad de productos y optimización de tiempos, datos que servirán para controlar periodos de trabajo en cualquier industria.

El prototipo consta de una cámara de gran resolución que envía señales hacia un software que mediante una interfaz indicará los productos defectuosos y óptimos durante el proceso de selección de botellas. Los productos finales son tres tipos de botellas diferentes: plástico, vidrio, aluminio y según las variables que se requieran la máquina las seleccionará y clasificará adecuadamente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- ✓ Implementar un sistema de visión artificial para el control de procesos en la máquina selectora de botellas en el laboratorio de automatización de procesos de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Contribuir con una nueva tecnología en el laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Industrial.
- ✓ Programar un software que inspeccione el proceso productivo y verifique la calidad del producto.
- ✓ Elaborar el montaje adecuado de todos los dispositivos que conforman el sistema de visión artificial.
- ✓ Determinar parámetros de calidad en la máquina selectora de botellas del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Industrial, que mejoren el funcionamiento del equipo de trabajo.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Visión

El psicólogo James Jerome Gibson experto en el campo de la percepción visual describe que la visión es recuperar, de la información de los sentidos (vista) propiedades válidas del mundo exterior." (Gibson, 1979, p. 228)

El neurofisiólogo David Marr describe que la visión es un proceso que produce, a partir de las imágenes del mundo exterior, una descripción que es útil para el observador y que no tiene información irrelevante." (Marr, 1982, p. 15)

2.2 Inteligencia artificial

El investigador Farid Fleifel Tapia considera que la inteligencia artificial (IA) es la rama de la ciencia de la computación que estudia la resolución de problemas no algorítmicos mediante el uso de cualquier técnica de computación disponible, sin tener en cuenta la forma de razonamiento subyacente a los métodos que se apliquen para lograr esa resolución. (Tapia Fleifel, 2015)

Roger Loaiza considera a la inteligencia artificial como una rama de la computación y relaciona un fenómeno natural con una analogía artificial a través de programas de computador. La inteligencia artificial puede ser tomada como ciencia si se enfoca hacia la elaboración de programas basados en comparaciones con la eficiencia del hombre, contribuyendo a un mayor entendimiento del conocimiento humano.

Si por otro lado es tomada como ingeniería, basada en una relación deseable de entrada-salida para sintetizar un programa de computador. "El resultado es un programa de alta eficiencia que funciona como una poderosa herramienta para quien la utiliza." (Loaiza, 2008)

2.3 Visión artificial

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. (Vision artificial, 2012, p. 6)

Procedimiento de adquisición de imágenes, sin contacto y mediante sistemas ópticos, donde se realiza el análisis automático de las mismas para extraer la información necesaria para controlar un proceso o actividad. (Ruiz, 2014)

La visión artificial o visión asistida por computadora es uno de los subcampos de la inteligencia artificial, cuyo propósito es realizar la programación de un computador para que este logre “entender” las características de una imagen o escena mediante cámaras con sensores CCD, por sus siglas en inglés: "Charge Coupled Device" ósea "Dispositivo de Carga Acoplada", contiene pequeños circuitos electrónicos que transforman la luz captada por la cámara en electricidad. (Stuart & Norvig, 2004, p. 10)

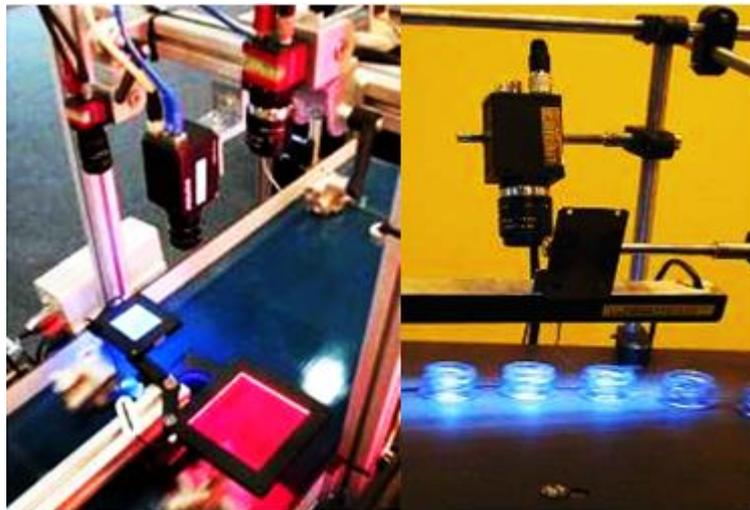


Figura 1-2. Visión artificial
Fuente: www.infaimon.com

2.4 Objetivos de la visión artificial.

- ✓ Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- ✓ Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- ✓ Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- ✓ Realizar la inspección del 100% de la producción a gran velocidad.
- ✓ Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- ✓ Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

2.5 Características principales en un sistema de visión artificial

- ✓ Analizan luz o color reflejado: Miden nivel de luz.
- ✓ Detectan bordes y formas.
- ✓ Analizan color.
- ✓ Actúan sin contacto: No deforman el material.
- ✓ Se puede analizar un objeto en movimiento.
- ✓ Son automáticos: Alta velocidad de procesado.
- ✓ Flexibles: basados en software.
- ✓ Entorno informático.

2.6 Aplicaciones de la visión artificial

La visión se aplica en distintos sectores de la industria como, industria alimentaria, automoción, electrónica, farmacia, packaging, Seguridad / Vigilancia, Textil, Envase y embalaje, Transporte / Guiado de vehículos, Aplicaciones en el rango no-visible. (Stuart & Norvig, 2004, p. 13)

Las aplicaciones de Visión Artificial se dividen en tres grandes categorías:

- ✓ Control de procesos.
- ✓ Control de calidad.
- ✓ Aplicaciones no industriales (control del tráfico). (Vision artificial, 2012, p. 7)

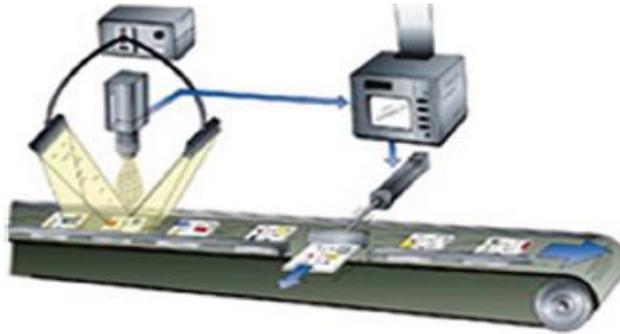


Figura 2-1. Sistemas de Inspección con Visión Artificial.
Fuente: <http://www.ecvv.com/product/1364453.html>

2.7 Ventajas y desventajas de la visión artificial

Al tratar de solucionar problemas de calidad y tiempo de producción con la implantación de un sistema automatizado, debemos analizar las ventajas y desventajas que puede representar este tipo de tecnología para comprobar si benefició a los costos de producción.

2.8 Ventajas

- ✓ Mejorar la calidad de los procesos a través de la separación automática de la línea de producción de los productos defectuosos.
- ✓ Clasificar y cuantificar fallas para generar estadísticas y reportes que ayuden a las decisiones de mantenimiento y al cumplimiento de normas y estándares.
- ✓ Controlar el proceso a través del tipo de desviación que se está produciendo en la línea de producción.
- ✓ Reducción de costes por reproceso y por personal dedicado a realizar estas tareas.
- ✓ Son sistemas automáticos que no descansan y permiten velocidades de trabajo muy altas en comparación con un operario.
- ✓ Permiten atender las demandas más exigentes de calidad al permitir la inspección y el control del 100% del producto.
- ✓ Es la opción idónea para el control de todo tipo de procesos para el guiado de manipuladores y robots.
- ✓ Son sistemas que se amortizan rápidamente y tienen costes de funcionamiento muy reducidos.

2.9 Desventajas

- ✓ Alto coste, la implementación de sistemas de visión artificial implica el desembolso de gran capital inicial debido al alto coste de la ingeniería y equipos.
- ✓ Requiere una sincronización precisa de todos los componentes del sistema.
- ✓ El mantenimiento debe ser realizado por personal técnico especializado.

2.10 Principio básico de la visión artificial

Un sistema de visión artificial capta una imagen de un objeto real mediante una cámara, esta información (analógica) se convierte a formato digital. Posteriormente esta información digital se procesa mediante un ordenador, se compara y se obtienen los resultados. (Paredes, 2015, p. 4)

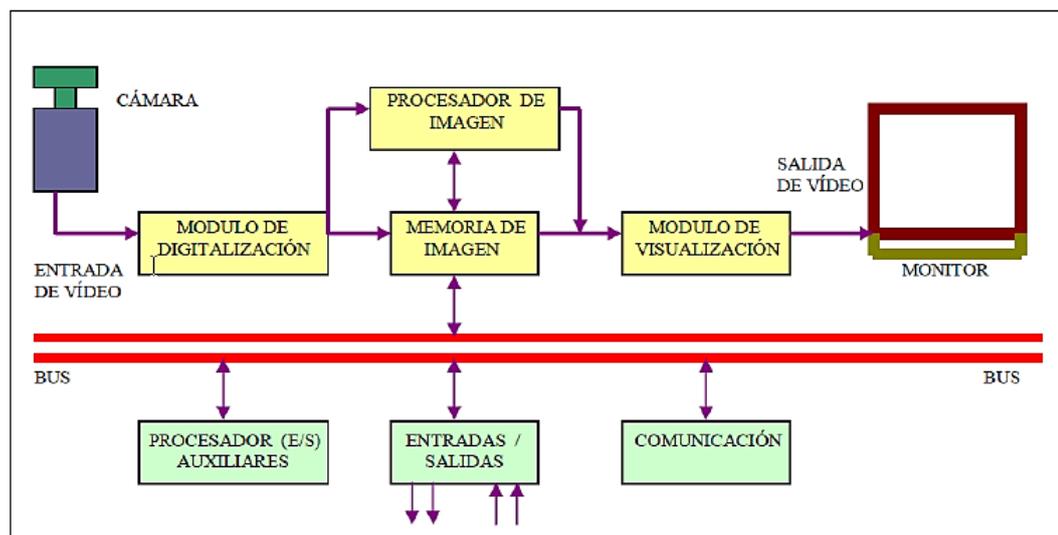


Figura 3-2: Diagrama en bloques de un sistema de visión artificial.

Fuente: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

Módulo de digitalización.- Convierte la señal analógica proporcionada por la cámara a una señal digital (para su posterior procesamiento). (Nogué & Antiga, 2012, p. 3)

Memoria de imagen.- Almacena la señal procedente del módulo de digitalización. (Vision artificial, 2012, p. 6)

Módulo de visualización.- Convierte la señal digital residente en memoria, en señal de vídeo analógica para poder ser visualizada en el monitor de TV. (Ruiz, 2014)

Procesador de imagen.- Procesa e interpreta las imágenes captadas por la cámara. (Knight, 1994, p. 5)

Módulo de entradas/salidas.- Gestiona la entrada del sincronismo de captación de imagen, y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos en función del resultado de la inspección. (Paredes, 2015, p. 6)

Comunicaciones.- Vía I/O, ethernet, la más estándar. (Vision artificial, 2012, p. 7)

2.11 Elementos que componen un sistema de visión

Un sistema de visión artificial puede estar compuesto por diferentes componentes según su complejidad, la base principal para este tipo de sistemas se basa en:

- ✓ Iluminación.
- ✓ Cámara.
- ✓ Óptica.
- ✓ Placa digitalizadora.
- ✓ Unidad de procesamiento.
- ✓ Software.

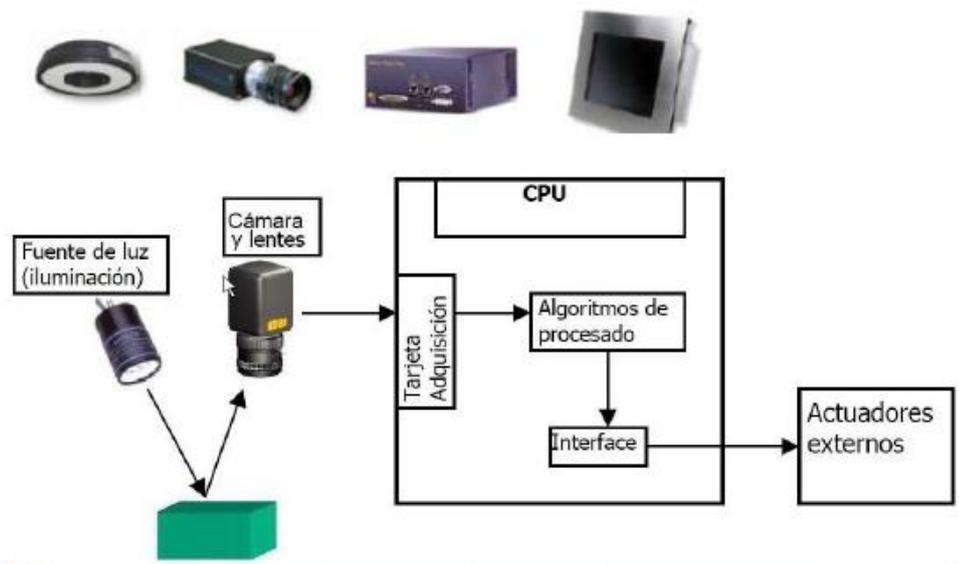


Figura 4-2: Componentes de un sistema de visión artificial.

Fuente: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

2.11.1 Iluminación

La iluminación es una de las claves del éxito en los resultados de la visión artificial. Los sistemas de visión artificial crean imágenes a través del análisis de la luz reflejada por un objeto, no del análisis del propio objeto. Una técnica de iluminación implica una fuente de luz y su ubicación con respecto a la pieza y la cámara que permite la medición de sus bordes. (Ruiz, 2014)

Entre los diferentes tipos de iluminación tenemos:

- ✓ Iluminación frontal.
- ✓ Retroiluminación o iluminación por contraste (BACKLIGHT).
- ✓ Iluminación difusa axial.
- ✓ Iluminación con luz estructurada.
- ✓ Iluminación de campo oscuro.
- ✓ Iluminación por láser.
- ✓ Iluminación cenital difusa tipo domo.
- ✓ Iluminación de campo brillante.

2.11.1.1 Iluminación frontal

La cámara se posiciona mirando al objeto en la misma dirección que la luz. Esto reduce las sombras, suaviza las texturas y minimiza la influencia de rayas, polvo e imperfecciones que pueda tener el objeto. La cámara recibe la luz reflejada del objeto. (Vision artificial, 2012, p. 11)

Aplicaciones: indicada para superficies con pocos reflejos: papel, tela, para la detección de marcas de diferentes colores, caracteres y detección de todo lo que suponga un cambio de color en prácticamente cualquier superficie.

Ventajas: elimina sombras, se puede utilizar a grandes distancias cámara/objeto.

Inconvenientes: intensos reflejos sobre superficies reflectantes.

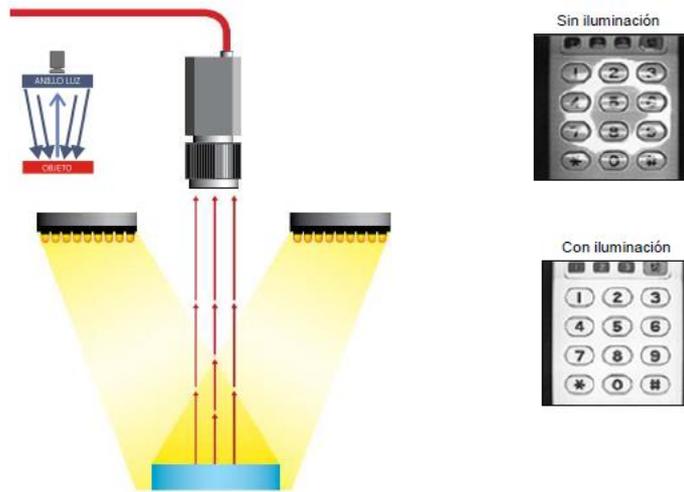


Figura 5-2: Iluminación frontal

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.2 Retroiluminación o iluminación por contraste (BACKLIGHT)

La retroiluminación mejora el contorno de un objeto para aplicaciones que solo necesitan medidas externas o de bordes. La retroiluminación ayuda a detectar formas y hace más fiables las medidas dimensionales. La iluminación tiene que ser uniforme en toda la superficie del objeto. (Cognex, 2016, p. 5)

Aplicaciones: indicada para la inspección de la silueta del objeto. Utilizada también en materiales translúcidos o transparentes para detectar manchas, rayas, grietas.

Ventajas: permite inspecciones de siluetas con mediciones muy precisas de impurezas en los objetos transparentes o translúcidos.

Inconvenientes: no permite reconocer los detalles superficiales del objeto, códigos, inscripciones, etc.

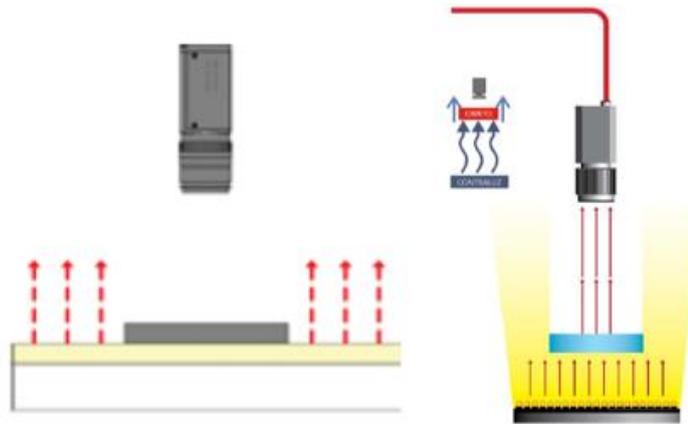


Figura 6-2: Iluminación por contraste

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.3 Iluminación difusa axial

La iluminación difusa axial corta la luz en la trayectoria óptica desde el lateral. Un espejo semitransparente iluminado desde el lateral proyecta la luz hacia abajo sobre la pieza. La pieza refleja la luz hacia la cámara a través del espejo semitransparente, con el resultado de una imagen homogénea e iluminada uniformemente. (Paredes, 2015, p. 15)

Aplicaciones: indicada para la inspección superficies planas reflectantes, como PCB, etiquetas reflectantes, inspección de impresión sobre aluminio o cavidades profundas.

Ventajas: permite inspecciones de códigos en materiales altamente reflectantes.

Inconvenientes: no permite reconocer relieves en el objeto.

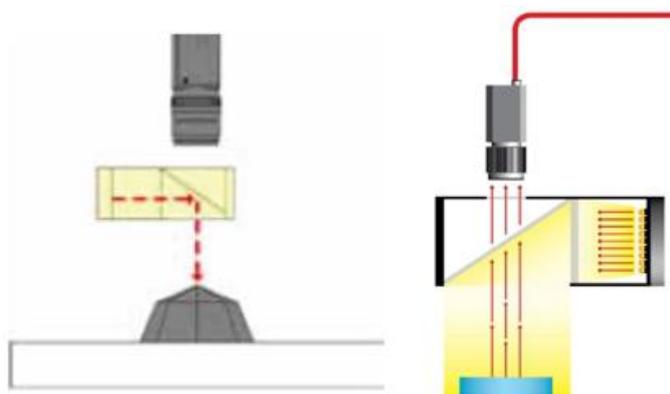


Figura 7-2: Iluminación difusa axial

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.4 Iluminación con luz estructurada o mediante láser.

La luz estructurada es la proyección de un patrón de luz (plano, rejilla o forma más compleja) en un ángulo conocido sobre un objeto. Puede ser muy útil para ofrecer inspecciones superficiales independientes del contraste, adquirir información dimensional y calcular volúmenes. (Nogué & Antiga, 2012, p. 8)

Aplicaciones: indicada para resaltar bordes, rayas y fisuras en una dirección determinada.

Ventajas: resalta los relieves por pequeños que sean de los objetos, resultando una sombra muy definida.

Inconvenientes: con ángulos pequeños respecto a la horizontal, la luz producirá sombras en todos los relieves y en el contorno de la pieza.

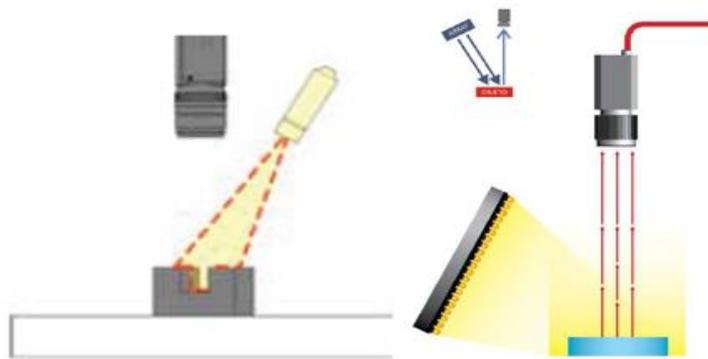


Figura 8-2: Luz estructurada.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.5 Iluminación de campo oscuro

La iluminación direccional revela con más facilidad los defectos superficiales e incluye la iluminación de campo oscuro y campo brillante. La iluminación de campo oscuro se prefiere generalmente para aplicaciones de bajo contraste y la luz especular se refleja alejándose de la cámara. (Stuart & Norvig, 2004, p. 335)

Aplicaciones: indicada para resaltar incrustaciones y códigos alfanuméricos con poco contraste en metal sobre metal o gris sobre gris. Muy utilizada en la verificación de grabados tipo láser o troquel.

Ventajas: destaca los detalles en superficies con muy poco contraste.

Inconvenientes: no es recomendable en superficies que absorban la luz.

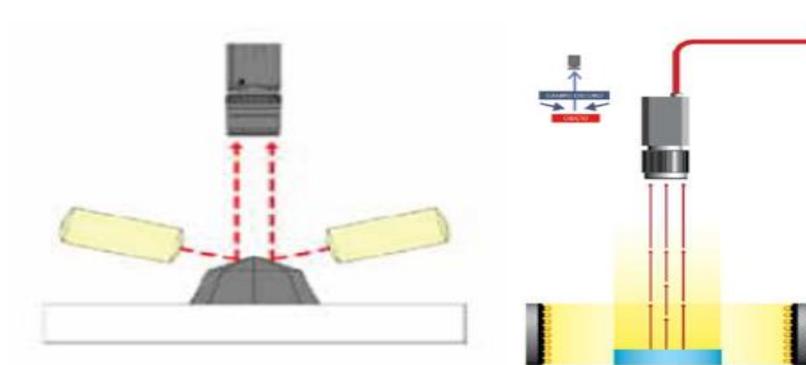


Figura 9-2: Iluminación de campo oscuro

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.6 Iluminación de campo brillante

La iluminación de campo brillante es ideal para aplicaciones de alto contraste. Sin embargo, las fuentes de luz muy direccionales como el sodio a alta presión y los halógenos de cuarzo pueden producir sombras nítidas y, por lo general, no aportan una iluminación consistente en todo el campo de visión. (Cognex, 2016, p. 10)

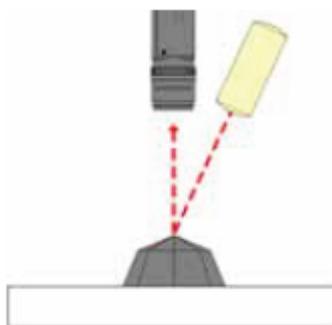


Figura 10-2: Iluminación de campo brillante.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.7 Iluminación cenital difusa tipo domo

La iluminación cenital difusa ofrece la iluminación más uniforme de las características de interés, y puede enmascarar irregularidades que no se consideren de interés y confundir la escena. (Vision artificial, 2012, p. 15)

Aplicaciones: indicada para la inspección de superficies tales como instrumental médico, espejos, compact disk, latas, etc.

Ventajas: eliminación de sombras y minimización de arrugas, polvo y relieves.

Inconvenientes: coste elevado.

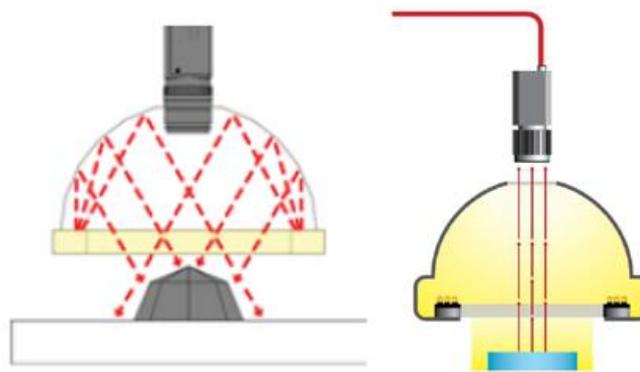


Figura 11-2: Iluminación cenital difusa tipo domo.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.11.1.8 Iluminación por láser

La iluminación mediante láser se utiliza para determinar una tercera dimensión de un objeto. Se trata de colocar la fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto a iluminar y a la cámara, de forma que viendo la distorsión de la luz pueda interpretarse la profundidad de los objetos a medir. (Paredes, 2015, p. 17)

Aplicaciones: ajuste de procesos de corte, control de profundidad de objetos.

Ventajas: no influye la iluminación externa.

Inconvenientes: Si se utilizan lentes cilíndricas para conseguir una línea o un patrón concreto, el láser no tiene la misma intensidad lumínica a lo largo del patrón.

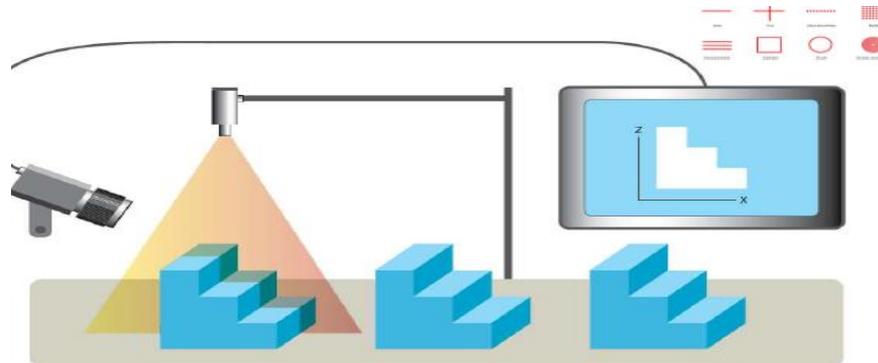


Figura 12-2: Iluminación con láser.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12 Clasificación de luminarias según el mercado de ventas.

2.12.1 Halógenas

Las luminarias halógenas por lo general son ajustables al entorno de trabajo, tiende a calentarse con un excesivo uso y no se lo puede usar como luz estroboscópica. Tiene una vida útil muy corta. Este tipo de luminarias regula la intensidad lumínica al 80% mantiene la tensión constante.



Figura 13-2: Iluminación halógena.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12.2 Incandescencia

Las luminarias incandescentes son sumamente económicas y presentan una luz amarilla caliente no apta para usar como luz estroboscópica, son de baja duración y emiten muchas sombras.



Figura 14-2: Iluminación incandescente.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12.3 Fluorescentes

Las luminarias fluorescentes tienen diversas formas y tamaños, dando un ahorro energético óptimo para cualquier uso, además que minimiza el reflejo. Este tipo de luminarias tiende a parpadear por lo que se aconseja utilizar balastos de alta frecuencia para reducir dicho parpadeo.



Figura 15-2: Iluminación fluorescente.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12.4 Láser

En la iluminación de luz estructurada se utilizan luminarias láser que permiten trabajar en entornos estroboscópicos 3D que se los puede dirigir a diferentes ángulos. Son muy frágiles y de alto costo, con una textura granulosa que no presenta seguridad ocular para los trabajadores.



Figura 16-2: Iluminación con láser.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12.5 Xenón

Las luminarias xenón son muy utilizadas como luces estroboscópicas pues tienen alta intensidad en periodos cortos.

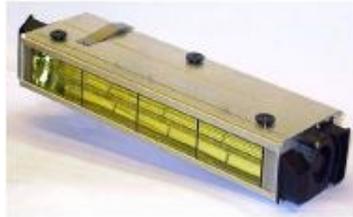


Figura 17-2: Iluminación mediante xenón.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.12.6 LED (*Light Emitting Diode*)

Las luminarias LED tienen un tiempo de vida útil muy largo cerca de 10000 horas o más, aptas para trabajar en cualquier entorno, existen variedad de formas, longitudes y colores además que tienen un bajo consumo de energía. Son de costos elevados.



Figura 18-2: Iluminación mediante LED.

Fuente: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

2.13 Cámara

La función de las cámaras de visión artificial es capturar la imagen proyectada en el sensor, mediante vías ópticas, para poder transferir a un sistema electrónico y que pueda ser interpretada, almacenada y visualizada. Han tenido una rápida evolución en los últimos años, que parece no llegar a su fin. Actualmente se basan en tecnologías CCD (Dispositivo de Carga Acoplada) o CMOS (Semiconductor complementario de óxido metálico), pero la función de cada una de ellas es la misma: convertir los fotones en carga eléctrica y transformarla en una imagen. (Cognex, 2016, p. 9)



Figura 19-2. Diferentes cámaras empleadas en la visión artificial

Fuente:<https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/wp-content/uploads/2015/03/tipos-de-c%C3%A1maras-de-videovigilancia.jpg>

2.14 Clasificación de cámaras

Existen: Monocromo, FireWire, a color, analógicas, digital, GigE, CCD, CMOS, área de escaneo, 3D, cámaras inteligentes, webcam, etc. A continuación se detallarán las cámaras más comunes empleadas en sistemas de visión artificial (Loaiza, 2008)

2.14.1 Cámaras analógicas

En la mayoría de los sistemas de visión artificial vendidos hace unos años figuran cámaras analógicas conectadas a un PC a través de una tarjeta en el PC llamado digitalizador o frame grabber. (Vision artificial, 2012, p. 11)

La salida es una señal analógica de video, que puede venir acompañada o no, por otras señales de sincronización. La señal de video viene limitada por el ancho de la banda y por el ruido análogo que puede proporcionar el cable. (Cognex, 2016, p. 4)

2.14.2 Cámaras digitales

Los sensores digitales están formados por una serie de elementos foto sensores que modifican su señal eléctrica según la intensidad luminosa que reciben lo que permite la captura de los puntos que conforman la imagen. Estos sensores suelen estar configurados en forma matricial de modo que proporcionan una imagen bidimensional tales como: (Cognex, 2016, p. 6)

2.14.2.1 Sensor CCD (Dispositivo de Carga Acoplada)

En el caso del CCD, éste convierte las cargas de las celdas de la matriz en voltajes y entrega una señal analógica en la salida, que será posteriormente digitalizada por la cámara. En los sensores CCD, se hace una lectura de cada uno de los valores correspondientes a cada una de las celdas. (Ruiz, 2014)

2.14.2.2 Sensor CMOS (Semiconductor complementario de óxido metálico)

En el caso del CMOS, aquí cada celda es independiente. La diferencia principal es que aquí la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un chip externo encargado de esta función. (Herrero, 2005, p. 14)

2.14.3 Cámaras lineales.

Construyen la imagen línea a línea realizando un barrido del objeto junto con un desplazamiento longitudinal del mismo. Las cámaras lineales utilizan sensores que tienen entre los 512 y 8192 pixels, con una longitud lo más corta posible y gran calidad de imagen. (Cognex, 2016, p. 9)

Su utilización está muy extendida para la inspección de objetos de longitud indeterminada. Tipo telas, papel, vidrio, planchas de metal, etc.



Figura 20-2: Cámara lineal.

Fuente: <http://www.infaimon.com/es/eclipse-0512-64khz>

2.14.4 Cámaras matriciales.

El sensor cubre un área que está formada por una matriz de píxeles. Los sensores de las cámaras modernas son todos de tecnología CCD formados por miles de diodos fotosensibles posicionados de forma muy precisa en la matriz. (Cognex, 2016, p. 6)



Figura 21-2: Cámara matricial.
Fuente: <http://www.infaimon.com/es/bonito-cl-400>

2.14.5 Cámaras color.

Aunque el proceso de captura de las imágenes es más complejo, proporcionan una elevada información que las cámaras monocromas.

2.14.5.1 Cámara color 1CCD.

Incorpora un sensor con filtro en forma de mosaico, con los colores primarios RGB (filtro Bayer), debido al carácter del filtro, bien en el interior de la cámara, o bien en un ordenador, se realizan los cálculos necesarios para obtener en tiempo real una señal analógica o digital en RGB. (Loaiza, 2008)

2.14.5.2 Cámara color 3CCD.

Incorporan un prisma y tres sensores, la luz reflejada por el objeto pasa a través de la óptica y se divide en tres direcciones al llegar al prisma. En cada uno de los tres extremos del prisma se encuentra un filtro de color (rojo, verde y azul) y un sensor que

captura la luz de cada color que viene del exterior. Internamente la cámara combina los colores y genera una señal RGB similar a la que ve el ojo humano. (Vision artificial, 2012, p. 11)

2.15 Óptica

Las ópticas se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada y así obtener una imagen enfocada del objeto. Para determinar cuál es la lente apropiada para la aplicación que se desea resolver, se deben tener en cuenta algunos parámetros: (Vision artificial, 2012, p. 15)

- El tipo de iluminación utilizado.
- Tamaño del sensor de la cámara.
- Distancia entre la cámara y el objeto.
- Campo de visión o tamaño del objeto.

2.15.1 Distancia focal

La distancia focal es la medida en mm relativa a la distancia entre la lente y el elemento sensor. La imagen sale invertida debido a la lente del objetivo, que invierte la imagen al recibir los rayos de luz. (Nogué & Antiga, 2012, p. 17)

Los objetivos de las cámaras es tener una distancia focal fija o variable, dependiendo del tipo de objetivo. Al variar la distancia focal conseguimos un menor o mayor acercamiento del objeto, comúnmente llamado zoom. (Ruiz, 2014)

2.15.2 Foco o enfoque

Normalmente las ópticas utilizadas en sistemas de visión artificial tienen una distancia focal variable, también denominada foco o enfoque. Es muy importante que el objeto a analizar esté perfectamente enfocado para su posterior análisis. (Cognex, 2016, p. 9)

2.15.3 Profundidad de campo

Es la distancia en la que los objetos aparecen enfocados. A menor apertura del diafragma, mayor será la profundidad de campo. (Vision artificial, 2012, p. 7)

2.15.4 Apertura del diafragma

El diafragma es una parte del objetivo que limita el nivel de luz que penetra en la cámara y a su vez al CCD. Funciona como el iris humano, abriéndose o cerrándose permitiendo que entre más o menos luz. La posición de abertura o cierre del objetivo se denomina apertura del diafragma y se mide en números f. (Tapia Fleifel, 2015)

2.16 Clasificación de las ópticas

2.16.1 Ópticas Telecéntricas

- ✓ No provocan cambios de magnificación con los cambios de la distancia.
- ✓ No existen errores de perspectiva.
- ✓ Baja distorsión.

2.16.2 Ópticas Pericéntricas

- ✓ Perspectiva lateral desde visión cenital.
- ✓ No necesita la utilización de espejos.

2.17 Placa digitalizadora-Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las tarjetas Arduino son capaces de leer entradas - luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje y convertirlo en una salida - activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Para ello se utiliza el lenguaje de programación y el software Arduino basado en el procesamiento. Los arduinos se diferencian por el número de salidas y entradas que tienen, y las conexiones que se pueden realizar con ellas, así podemos citar: (Vargas, 2015, p. 811)

- ✓ Arduino Nano tiene 13 salidas digitales, también salidas que se pueden usar como entradas analógicas, un USB, chip y otras funciones limitadas.
- ✓ Arduino Uno tiene 6 entradas analógicas y 14 entradas y salidas digitales.
- ✓ Arduino Mega tiene hasta 53 salidas digitales, tiene 12 o 15 entradas analógicas.

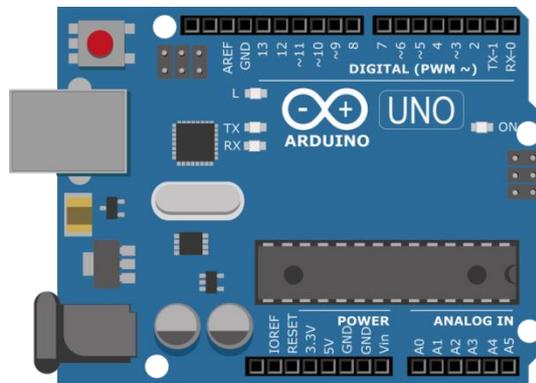


Figura 22-2. Placa digitalizadora-Arduino

Fuente: https://cdn.pixabay.com/photo/2017/03/23/12/32/arduino-2168193_960_720.png

2.17.1 Características.

Bajo costo. - Las tarjetas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de micro controladores. (Carvajal Martinez, 2016, p. 811)

Cross-platform. - El software Arduino (IDE) se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los sistemas de micro controladores están limitados a Windows. (Logic Electronic, 2011)

Entorno de programación sencillo y claro.- El software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiantes, pero lo suficientemente flexible como para que los usuarios avanzados también se beneficien. (Vargas, 2015, p. 813)

Software de código abierto y extensible. - El software Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponibles para la extensión por programadores experimentados. El lenguaje se puede expandir a través de las bibliotecas C ++, y la gente que quiere entender los detalles técnicos puede dar el salto desde Arduino al lenguaje de programación AVR C en el que se basa. (Carvajal Martinez, 2016, p. 813)

2.18 Unidad de procesamiento

La unidad de procesamiento en un sistema de visión artificial es un elemento que está encargada del procesamiento de imágenes gráficas y todas las instrucciones que provienen del hardware y del software. (Vision artificial, 2012, p. 14)

En la actualidad el rendimiento de los sistemas de visión por computador ha tenido un gran crecimiento dentro de los sistemas automatizados, donde es posible detectar defectos en periodos de tiempo muy corto. (Tapia Fleifel, 2015)

Los sistemas de visión artificial basados en la tecnología de los PC, se benefician de los rápidos avances informáticos, dentro de las tareas que realiza este sistema son:

- ✓ Recibir las señales de sincronización, las cuales permitirán que se pueda realizar correctamente mediante la captura de imágenes.
 - ✓ Realizar las lecturas de las imágenes.
 - ✓ Procesar los datos proporcionados por las cámaras para realizar el análisis de imagen.
 - ✓ Realizar el interfaz con los usuarios.
 - ✓ Comunicar con los sistemas productivos, para detener el proceso en caso de ocurrir algún desperfecto.
 - ✓ Controlar en general el funcionamiento de todos los elementos de hardware.
- (Knight, 1994, p. 338)



Figura 23-2: Unidad de procesamiento.

Fuente: <http://www.infaimon.com/es/geva-312t>

2.19 Software

La base del software de un sistema de visión artificial es la interpretación y análisis de los píxeles. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres, pasando por cualquier otro proceso que podamos imaginar sobre las imágenes. (Cognex, 2016, p. 8)

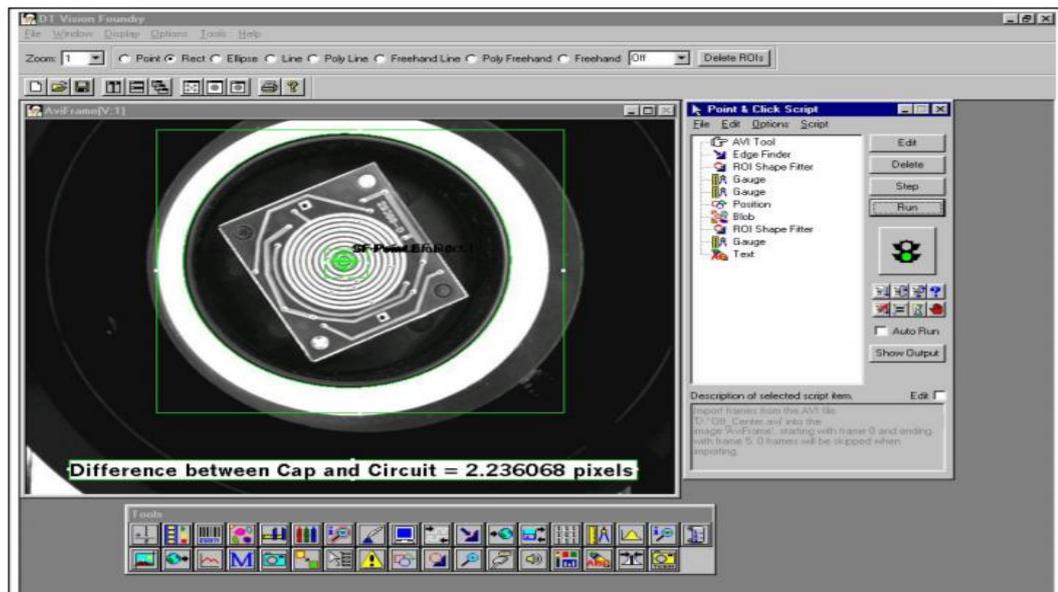


Figura 24-2: Software aplicado a la identificación de la posición de una imagen.

Fuente: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

Dependiendo si la aplicación se realiza en entorno industrial o científico los pasos a seguir en un sistema de visión son:

2.19.1 Aplicación industrial

- ✓ Captura de la Imagen.
- ✓ Definición de la región de interés donde se realizarán las medidas.
- ✓ Inicialización de las tolerancias para determinar si la pieza a determinar es o no correcta.
- ✓ Ejecutar las medidas.
- ✓ Generar una salida apropiada.

2.19.2 Aplicación científica

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Realizar proceso de mejora.
- ✓ Determinación de los elementos a medir.
- ✓ Ejecutar las medidas.
- ✓ Almacenar las medidas y realizar procesos gráficos o estadísticos.

Mientras que en las aplicaciones de visión artificial industriales la velocidad a la que se realizan las medidas es fundamental, ya que se deben evaluar todas las piezas producidas en tiempo real, en las aplicaciones científicas la se busca la determinación de los resultados en imágenes más complejas. (Knight, 1994, p. 254)

2.20 MATLAB



Figura 25-2. Logo MATLAB

Fuente: <http://www.ocean2k-bcn2015.org/images/logos-partners/logo-matlab.png>

MATLAB combina un entorno de escritorio perfeccionado para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación C++ que expresa las matemáticas de matrices directamente. (Gilat, 2006, p. 23)

Las aplicaciones de MATLAB permiten ver cómo funcionan diferentes algoritmos con sus datos. Realiza iteraciones hasta obtener los resultados deseados y, después, genera automáticamente un programa para reproducir o automatizar el trabajo. (Gilat, 2006, p. 36)

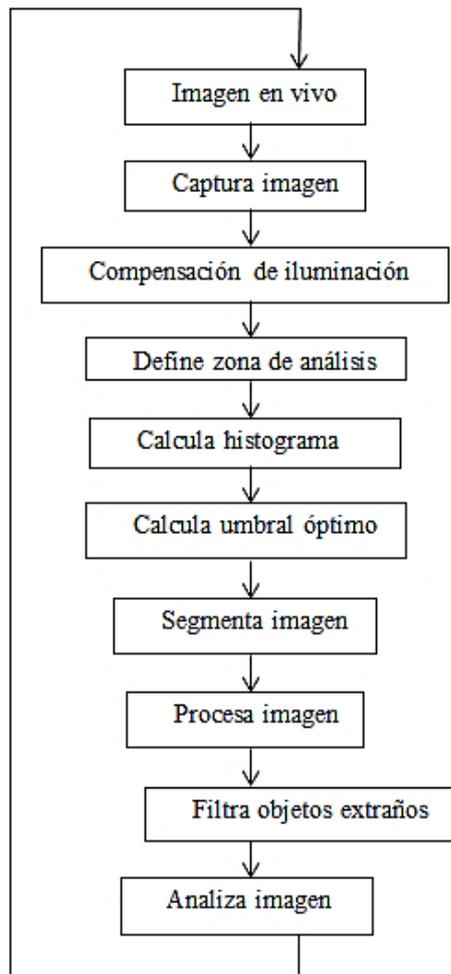


Figura 26-2. Etapas de procesamiento
Fuente: Autores

2.20.1 Matriz de imagen

La matriz de imagen $I(x,y)$, guarda y procesa una imagen, en forma de matriz como vectores bidimensionales (m,n) , donde cada elemento de la matriz es un pixel, a su vez el toolbox de procesamiento de imagen soporta imágenes binarias, indexadas, de intensidad y RGB. (Gilat, 2006, p. 84)

2.20.2 Imagen RGB

Conocida como imagen verdadera que se usa como base para el procesamiento de la imagen, se representa con tres matrices de igual tamaño y concuerdan con el tamaño de la imagen, por lo tanto, cada pixel se compone de la suma de tres intensidades de colores RGB, es decir, cada pixel es la combinación de tres colores rojo, verde y azul. (The MathWorks Inc, 2016, p. 2)

2.20.3 Fundamento de Color

El color es un sentido de percepción que tiene el humano sobre la luz reflejada en las cosas. De allí depende mucho la calidad y cantidad de luz que tiene la escena para la diferencia de los colores. Si un cuarto se llena de luz se puede entender cada uno de los reflejos en los objetos como colores distintos. Mientras que si la luz está totalmente ausente será imposible diferenciarlos, aún percibirlos. (Marr, 1982, p. 258)

2.20.4 Adquisición de Imágenes

Es la técnica de captar y adquirir una escena real y guardarlo de forma digital o analógica. La imagen digital captada se mide en pixeles cada pixel tiene una ubicación matricial en el espacio de la imagen RGB. (Cognex, 2016, p. 4)

Entre las cámaras más populares para la adquisición de imágenes se puede mencionar:

- ✓ Cámaras WEB.
- ✓ Cámaras digitales.

2.20.5 Procesamiento de Imágenes

Para que cualquier imagen digital obtenida pueda ser estudiada se requiere que antes sea procesada esto se lo puede realizar en la cámara o de preferencia con un software vinculado a este trabajo. El procesamiento consiste en acondicionar la imagen a formatos requeridos y aplicar filtros para eliminar ruidos obteniendo un mejor enfoque de la escena (The MathWorks Inc, 2016, p. 3)

Tipos de filtros para acondicionar una imagen:

- ✓ Dilatación binaria.
- ✓ Erosión binaria.
- ✓ Cierre.
- ✓ Apertura.

2.20.5.1 Dilatación binaria

La dilatación, también llamada “crecimiento”, “llenado”, “expansión” produce un efecto de engrosamiento en los bordes en el objeto, haciendo que pequeños objetos que estén junto al mayor sean absorbidos y ya no se entiendan como ruido. (Gilat, 2006, p. 127)

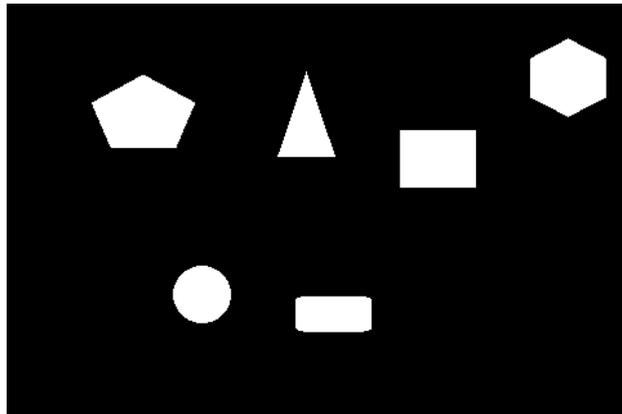


Figura 27-2. Dilatación binaria
Fuente: Computer visión and robotic group

2.20.5.2 Erosión binaria

Es la función dual de la dilatación es decir si la dilatación expandía los bordes y contornos de los objetos, la erosión reduce los contornos de los objetos. Se usa para separar pequeños objetos unidos a los objetos más grandes. Igualmente que en la dilatación, existen muchos métodos para erosionar la imagen, uno de ellos se puede parecer mucho a la umbralización. (The MathWorks Inc, 2016, p. 4)

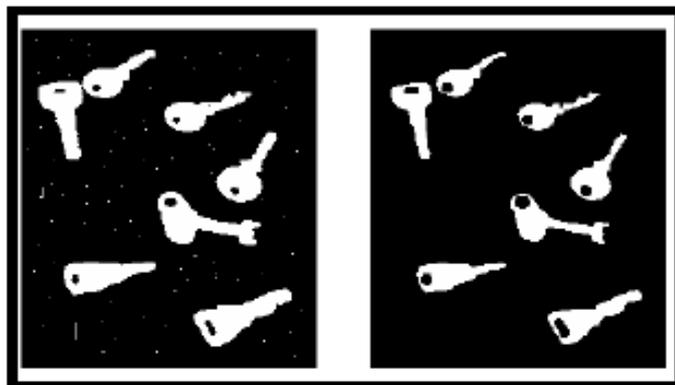


Figura 28-2. Erosión binaria
Fuente: Computer visión and robotic group

2.20.5.3 Apertura

Consiste en usar una erosión y luego una dilatación. Si primero eliminamos los ruidos muy pequeños y luego afirmamos los objetos restantes nos quedarán objetos ensanchados pero sin mucho en ruido. (Cattaneo, 2011, p. 2786)



Figura 29-2. Apertura
Fuente: Computer visión and robotic group

2.20.5.4 Cierre

Se realiza primero una dilatación y luego una erosión. Incluso se llega a usar una después de otra para lograr una imagen totalmente libre de ruido y dado que el costo computacional de estos procesos son bajos, son una gran idea para que la segmentación sea de calidad. (Cattaneo, 2011, p. 2787)

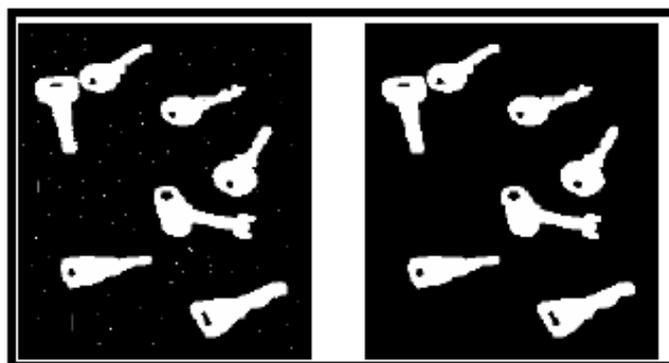


Figura 30-2. Cierre de imagen
Fuente: Computer visión and robotic group

2.20.6 Histograma de una imagen

Es una gráfica en un tipo de barras que representa la distribución de los datos de una imagen, muestra: acumulación o tendencia, la variabilidad o dispersión, y como están distribuidas las características de la imagen. El eje horizontal representa los distintos tonos de gris desde el negro puro al blanco y el eje vertical representa el número de píxeles que contienen la imagen para cada tono. (Cattaneo, 2011,p. 2789)

Le aporta al sistema algunas particularidades como:

- ✓ Síntesis: Permite realizar un resumen digerible de los datos.
- ✓ Análisis: analizar los datos pues se puede reconocer.
- ✓ Capacidad de comunicación: comunica la información de forma clara y concisa y se permite procesarla en otro software o hardware.

2.20.7 Segmentación

Segmentar una imagen consiste en generar zonas privadas de cada uno de los elementos que forman parte de la escena, diferenciando los objetos con respecto al fondo y a su entorno esto significa que cada grupo de píxeles debe pertenecer únicamente al objeto y separarse de su entorno. En este proceso se pueden encontrar fondos complejos y sencillos. (The MathWorks Inc, 2016, p. 2)

La segmentación es la etapa primordial del reconocimiento de imágenes pues el resultado es tener los objetos perfectamente ubicado en la imagen resultante, dependiendo de la técnica utilizada.

La segmentación puede estar basada según su:

- ✓ Umbral.
- ✓ Color.
- ✓ Bordes o forma.

2.20.7.1 Umbralización

La umbralización es el método más simple ya que se basa en clasificar cada pixel de la imagen como parte o no del objeto. Se puede usar el algoritmo $im2bw(f, T)$. Donde T es el umbral tal que todos los niveles de intensidad por debajo de T los hace 0 y todos los que son mayores que T los hace 1. Dicho umbral se puede obtener con la siguiente función la cual aplica el método de Otsu: $T=graythresh(f)$. (Cattaneo, 2011, p. 2800)



Figura 31-2. Binarización según los umbrales
Fuente: Autores

2.20.7.2 Segmentación basada en bordes

Es una técnica de segmentación que acude a los bordes como diferenciadores de un objeto con el fondo o con otro objeto. Requiere un aprendizaje previo y demanda un procesador de imágenes potente para segmentarlo adecuadamente. (The MathWorks Inc, 2016, p. 3)

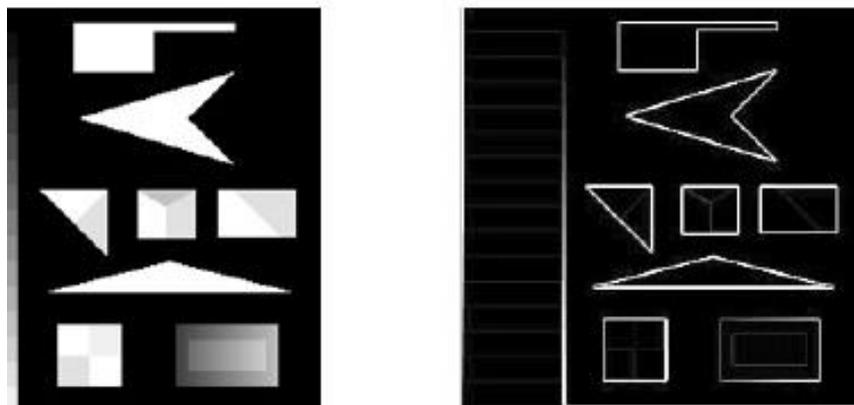


Figura 32-2. Segmentación basada en bordes
Fuente: <https://es.slideshare.net/omarspp/segmentacin-de-imagen>

2.20.7.3 Segmentación por colores.

La segmentación por color es otro método ampliamente utilizado por su gran fiabilidad y su versatilidad al combinarse con otros métodos. Tiene muchos caminos al momento de su implementación, pero su fin es el mismo: segmentar el objeto que tenga el color elegido. (The MathWorks Inc, 2016, p. 1)

Su principal problema es que la escena no debería tener muchos objetos del mismo color pues la segmentación no sería única.

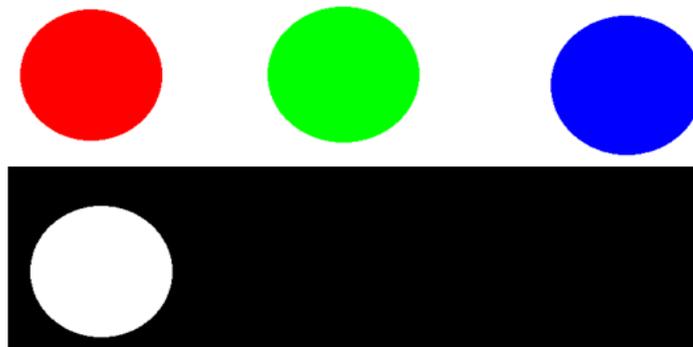


Figura 33-2. Segmentar por color

Fuente: <http://raerpo2.blogspot.com/2011/04/19-segmentacion-de-colores.html>

2.21 Calidad

La calidad, definida por el cliente, es el juicio que éste tiene acerca de un producto o servicio. Un cliente queda satisfecho cuando se le ofrece todo lo que él esperaba encontrar y más. Por lo tanto, calidad es ante todo la satisfacción del cliente, que está ligada a las expectativas que éste tiene con respecto al producto o servicio. (Gutierrez & De la Vara, 2009, p. 33)

Algunas variables que se deben tomar en cuenta para perfeccionar y garantizar la calidad del producto son: dimensiones, longitud, espesor, peso, volumen. La totalidad de detalles y características de un producto o servicio que influye en su capacidad para satisfacer necesidades dadas están regidas en las Normas ISO-9000:2000. (Jacobs & Chase, 2014, p. 125)

2.21.1 Etapas para el control de calidad.

- ✓ Establecer el objeto del control. Elegir una unidad de medida.
- ✓ Establecer el valor normal o estándar de la especificación a controlar.
- ✓ Establecer un instrumento de medida.
- ✓ Realizar la medición de la magnitud en la unidad elegida.
- ✓ Interpretar las diferencias entre el valor real y el valor normal o estándar.
- ✓ Actuar sobre las diferencias encontradas.

El control de calidad no se aplica únicamente al producto final, sino que se realiza a lo largo de todo el proceso de producción. Es decir: en la recepción de materias primas, en el proceso de fabricación, en los productos semielaborados y en el propio producto final. (Krajewski, et al., 2008, p. 257)

2.21.2 Indicadores de calidad

Un indicador es una medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de los diferentes productos. Es decir, la forma particular (numérica) en la que se mide o evalúa cada uno de los criterios. (Zambrano, et al., 2007, p. 34)

2.21.2.1 Criterio de Calidad del producto.

Los criterios se definen como aquella condición que debe cumplir una determinada actividad, actuación o proceso para ser considerada de calidad. Es decir, qué se persigue, cuál es el objetivo, qué se pretende teniendo en cuenta aquellas características que mejor representan lo que se desea lograr. (Krajewski, et al., 2008, p. 273)

2.21.2.2 Indicadores de calidad.

- ✓ Dimensiones
- ✓ Material
- ✓ Forma

2.21.3 Control de calidad con visión artificial

La forma tradicional de medir o inspeccionar cualquier objeto involucra contacto físico entre la persona y el instrumento con el que se efectúa la medición. Otra forma de realizar una medición o inspección se le conoce como medición de no contacto esto es posible con una cámara y un lente que nos entrega una imagen a escala. (Valencia, 2014, p. 16)

Teniendo la imagen acondicionada en una computadora, y desarrollando algoritmos de imágenes, podemos trabajar el objeto como si lo dimensionáramos físicamente. Esto se logra haciendo una comparación de píxeles que contiene la imagen tomada, con las dimensiones de un objeto conocido a una distancia fija. (Zambrano, 2007, p. 44)

En los procesos de fabricación, reducir los tiempos de los distintos procesos que componen la línea de producción es muy importante para la empresa. Continuos estudios de métodos y tiempos, son llevados a cabo por varias compañías para mejorar los rendimientos en sus procesos productivos. Poder realizar un control de calidad efectivo, para obtener el resultado final esperado, es una herramienta que puede repercutir de manera considerable en los beneficios generados por la empresa

2.21.3.1 Sistema de control de inventario de producto terminado

Uno de los activos más grandes en las empresas de ventas al por menor o al por mayor es el inventario de mercancías. El sistema de inventario implementado en un sistema de visión artificial ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Conteo automático inventariando diariamente.
- ✓ Permite un mantenimiento eficiente de compras, recepción y procedimientos de distribución.
- ✓ Permite obtener en tiempo real un control del inventario para protegerlo contra el robo, daño o descomposición.
- ✓ Adquirir Suministros en las cantidades que se necesite.

2.21.3.2 Control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura

La implementación, la construcción y la validación de una estación de control de calidad orientada a la inspección y verificación de calidades de fabricación de piezas mecanizadas, basada en visión artificial y acoplada a un sistema de manufactura integrada por computador, analiza las piezas con base en una plantilla configurada previamente con ayuda de una pieza patrón y luego ejecuta dicha plantilla sobre un lote de piezas. Teniendo en cuenta la importancia de la metrología y el control de calidad en los procesos de fabricación. (Zambrano, 2007, p. 46)

2.21.3.3 Control de calidad en una industria panificadora

Las aplicaciones de la tecnología de máquinas de visión comprenden el manejo y empaque, así como la inspección y clasificación. Este método también confirma la presencia o ausencia de materiales. Las aplicaciones donde la variación de tamaño es una variable crítica, como el estibado de tortillas o el empaclado de galletas, mejoran cuando cada artículo presentado está correctamente configurado y orientado.

El color del pan es un importante elemento en los programas de mejoramiento. Los programas de cómputo permiten una rápida calibración de la información de las panaderías individuales; los datos son recolectados por una tercera entidad, luego se agregan y se dan a conocer en el sitio de la red del grupo. (Valencia, 2014, p. 37)

Las cámaras leen el color, altura y expansión de las galletas y hasta pueden contar los abultamientos en las galletas saladas. (Valencia, 2014, p. 38)

CAPITULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Parámetros y Variables de diseño

3.1.1 *Sistema mecánico*

El sistema mecánico de la máquina selectora de botellas está conformado por un motoreductor que transmite el movimiento hacia la banda transportadora a través de correas de transmisión y poleas.

3.1.1.1 Parámetros de diseño

Potencia del motoreductor. - El accionamiento del sistema mecánico se realiza por medio de un motoreductor de 1/4 HP-200W de 110V AC.

3.1.1.2 Variables de diseño

Velocidad de transporte. - La velocidad de transporte depende directamente de la velocidad de giro del motoreductor. La máquina selectora de botellas trabaja con una velocidad lineal en la banda transportadora de 0.2 m/s lo que permitirá tener mayor estabilidad de las botellas.

3.1.2 *Sistema de clasificación*

3.1.2.1 Parámetros de diseño

Cilindros de doble efecto. Los cilindros tienen como función clasificar los envases mediante desplazamiento y cambio de carril de las botellas en la banda transportadora. El dimensionamiento de sus carreras se lo realiza considerando que las botellas inicialmente se transportaran por la parte central de la banda transportadora.

3.1.2.2 Variables de diseño

- ✓ Longitud de la carrera para desplazar los envases de aluminio (LA).
- ✓ LA=215 mm.
- ✓ Longitud de la carrera para desplazar los envases de plástico (LP).
- ✓ LP=110 mm.
- ✓ Los envases de vidrio pasan directamente por la parte central de la banda transportadora.

3.1.3 Iluminación

3.1.3.1 Parámetros de diseño

Característica de las lámparas. - El tipo de lámpara fluorescente minimiza los reflejos de los objetos procesados al ser posicionados en lugares específicos, el bajo costo y alto rendimiento lo hacen la opción más óptima a utilizar. Las lámparas fluorescentes emiten una luz blanca dando mayor visibilidad, existen diferentes formas y tamaños según la necesidad del consumidor.

Característica de las luminarias. - Las luminarias de tipo difusa ayudan en gran parte a eliminar sombras y que la luz se concentre totalmente en los objetos analizados.

Característica del entorno iluminado. - Al trabajar con materiales de vidrio plástico y aluminio es recomendable utilizar un tipo de iluminación difusa con lámparas fluorescentes, esta combinación ayuda a eliminar posibles sombras dentro de una estructura cerrada para concentrar la luz en los objetos procesados con un fondo oscuro para evitar el brillo en las paredes y que la visibilidad se concentre en las botellas a clasificar.

3.1.3.2 Variables de diseño

Nivel de iluminación (Iluminancia). - En un sistema de visión la iluminación es de gran importancia ya que nos permite distinguir con claridad formas, matices, colores y

diferentes posibles fallas que puedan presentar las botellas de aluminio, vidrio o plástico para de esta manera poder clasificarlas. La iluminación disminuye a medida que la distancia entre el objeto y la fuente de luz aumenta, por eso se debe fijar una altura exacta de las lámparas a utilizar. (The MathWorks Inc, 2016, p. 2)

Brillo fotométrico (Luminancia). - La luminancia dependerá del espacio en el que se va a trabajar, de la capacidad de reflejar la luz, y del brillo que proporcione cada una de las botellas hacia el lente de la cámara. Para que la cámara se enfoque 100 % en las botellas se ha optado por usar un fondo negro evitando el brillo de las paredes y captando mayor visibilidad. (Ruiz, 2014)

3.1.4 Sistema de Cámara web con óptica o lente integrada y sensor VGA “Logitech”

3.1.4.1 Parámetros de diseño

Resolución de la cámara. - Se ha implementado una cámara Logitech C170 con una resolución de 5 megapíxeles (640 x 480 píxeles) para el procesamiento adecuado de las imágenes, el tiempo de procesamiento de una imagen en el software depende de la calidad de la resolución de la webcam. Sus características y su bajo costo lo hace la opción más óptima a utilizar.

Cuadros por segundo o FPS. - La webcam Logitech C 170 tiene una velocidad de captura de 30 fotos por segundo (fps) es decir 30 imágenes por segundo siendo este un parámetro muy importante para el proceso de clasificación de botellas en una banda que no se detiene a una velocidad lineal de 0.2 m/s.

3.1.4.2 Variables de diseño

Distancia de la óptica o lente. - La ubicación de la cámara depende directamente de las dimensiones de los objetos a analizar, de la resolución y velocidad de captura de la cámara y del espacio de procesamiento.

3.1.5 Sistema de control y mando

3.1.5.1 Parámetros de diseño

Característica de la unidad de procesamiento. - El trabajo de programación se lo puede realizar desde un procesador Core I3 hasta una I7 última generación. En nuestro caso de estudio se emplea una Sony VAIO Intel Core i7 (4th Gen) 4500U / 1.8 GHz con una velocidad turbo máxima de 3 GHz de 64 bits y una velocidad de memoria RAM de 1600 MHz.

Característica del Arduino. - La placa digitalizadora posiblemente a utilizar es un arduino MEGA 2560 con 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida de la cuales 16 son entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.



Figura 34-3. Arduino
Fuente: Autores

Característica del software Arduino. - El software Arduino permite trabajar con algoritmos y códigos sumamente sencillos para el programador, permite realizar comunicaciones mediante interfaces graficas con diferentes lenguajes de programación y da facilidad para descargar librerías de comunicación con otros dispositivos: webcam, servomotores, sensores, etc.

Característica del sensor de proximidad. - el sensor de proximidad es por ultrasonido de forma rectangular compacto con una distancia regulable de hasta 300 mm.



Figura 35-3. Sensor
Fuente. Autores

3.1.5.2 Variables de diseño

Tiempo de procesamiento de imágenes en la unidad de procesamiento. - El tiempo de procesamiento depende directamente de la capacidad de la unidad de procesamiento y de la resolución de la webcam.

3.2 Diseño del equipo

3.2.1 Selección de equipos de trabajo

Para la selección de cada dispositivo se tomará en cuenta la disponibilidad, compatibilidad y el costo de adquisición.

Tabla 1-3. Equipos de trabajo

EQUIPO DE TRABAJO	OBSERVACIONES
Máquina clasificadora de botellas	Proporcionada por la EII
Arduino	Adquirida
Webcam Logitech C170	Adquirida
Sensor de proximidad	Adquirida

Fuente: Autores

3.2.2 Situación actual de la máquina selectora de envases.

Para determinar la situación actual de la máquina se evalúa por separado la parte de mando y la parte operativa. La parte de mando es la encargada de controlar y dirigir el sistema automatizado, mientras que la parte operativa es aquella que lleva a cabo el proceso mediante elementos eléctricos, neumáticos y electrónicos.

La máquina se encuentra automatizada por medio de un PLC y dos sensores un capacitivo y un inductivo, con el siguiente funcionamiento:

- Colocar las botellas sobre la banda transportadora
- Los sensores detectan que tipo de botellas se encuentra en ese instante y activan las electroválvulas de los cilindros.
- En caso de ser vidrio la botella pasará por el centro, si es plástico se activará el primer cilindro empujando la botella hacia el lado izquierdo de la máquina, en caso de ser aluminio el segundo cilindro halará la botella hacia la derecha.
- Cada botella ingresará a una caja de almacenamiento temporal.

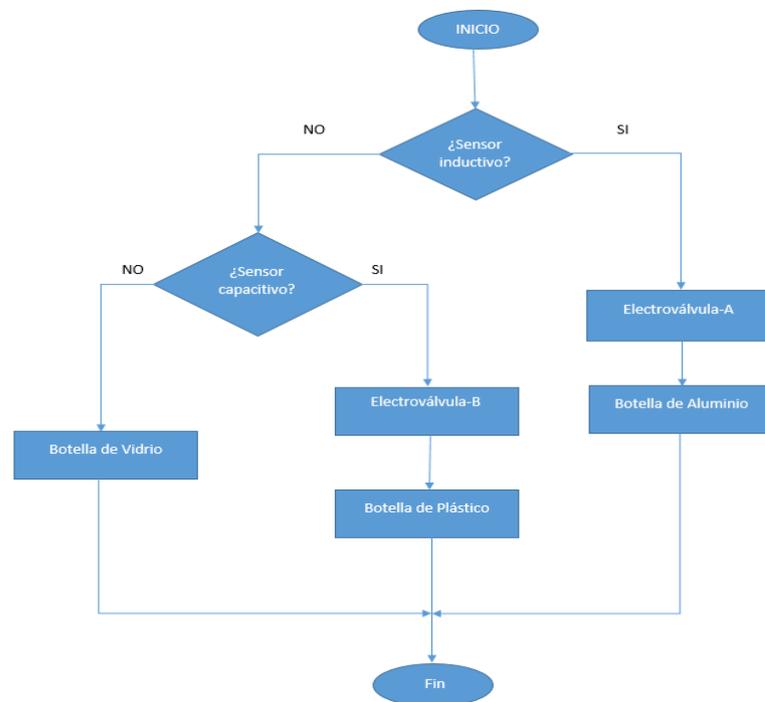


Figura 36-3. Diagrama de flujo- funcionamiento actual

Fuente: Autores

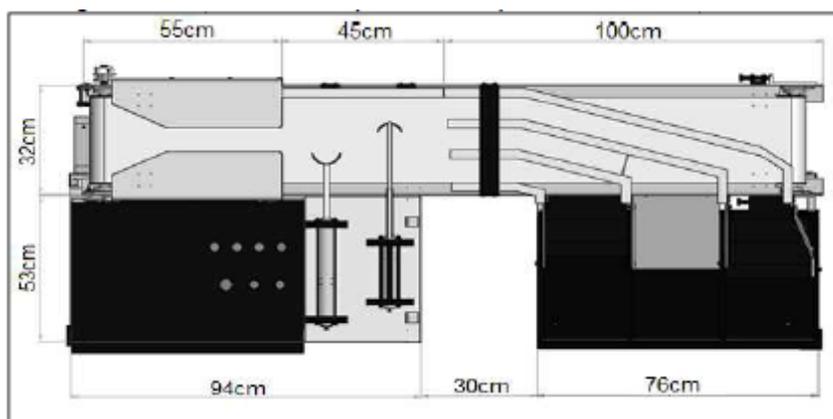


Figura 37-3. Máquina selectora
Fuente: Tesis de la Escuela de Ingeniería Industrial

3.2.2.1 Descripción de los productos a clasificar.

Tabla 2-3. Envases a clasificar

ENVASES A CLASIFICAR					
Material	Descripción	Imagen	Peso(kg)	Dimensiones (mm)	
				ANCHO	ALTURA
Plástico	envase color café		0.25	55	185
Vidrio	envase color café		0.25	60	200
Aluminio	envase color azul		0.25	55	135

Fuente: Autores

3.2.3 Selección del controlador del sistema.

En la industria de la automatización existen diferentes controladores electrónicos que pueden ayudar al excelente desempeño de una máquina, para lo cual se han tomado tres tipos de controladores disponibles en la escuela de ingeniería industrial: Logo, PLC 1200, Arduino. Los cuales serán analizados según las características necesarias mediante una tabla de ponderación con valores desde 1 hasta 10, de esta manera se

escogerá la opción idónea para la implementación de un sistema de visión artificial en la máquina selectora de botellas.

Tabla 3-3.Tabla de ponderación-Selección del controlador del sistema

Equipo Características	LOGO	PLC	ARDUINO
Programación	7	8	8
Conexión	8	6	8
Software	6	7	9
Compatibilidad	5	6	9
Ponderación total	26	27	34

Fuente: Autores

La tabla (3-3) nos da como resultado óptimo con mayor valor el arduino, siendo una alternativa que presenta facilidades de uso. A continuación, elegiremos el tipo de arduino a usar según las necesidades del proyecto.

Tabla 4-3.Tabla de ponderación-selección del arduino

Equipo Características	Arduino Pro	Arduino Mega 2560	Arduino uno
Memoria	6	10	8
Pines digitales y analógicos	8	10	8
Velocidad de reloj	9	9	9
Compatibilidad	8	8	8
Ponderación total	31	37	33

Fuente: Autores

Según la tabla de ponderación (4-3) el arduino que presenta mejores características para realizar un trabajo óptimo y garantizado es el tipo: arduino MEGA 2560. El cual muestra las siguientes características óptimas para el proyecto:

- Trabaja con un software libre que se lo puede descargar fácilmente de la web.
- Ofrece una comunicación sencilla.
- Las conexiones son sencillas, conectándose a las entradas los elementos que aportan señales de mando y a las salidas los elementos consumidores.
- Cuenta con módulos de expansión que permiten adicionar entradas y salidas al equipo.
- Las placas Arduino tienen un bajo costo de adquisición.

3.2.4 Selección de cámara.

Los sistemas de visión artificial dependen totalmente de una cámara con excelente resolución y calidad fotográfica, y así evitar que el tiempo de procesamiento de imágenes sea demasiado largo. En la siguiente tabla de ponderación se analizará ciertas características necesarias con valores desde 1 hasta 10.

Tabla 5-3. Tabla de ponderación-selección de cámara

Equipo Características	CÁMARA INDUSTRIAL	CÁMARA DIGITAL	WEBCAM LOGITEC 170
Resolución de imagen	9	8	7
Calidad de imagen	9	8	8
Tiempo de procesamiento	9	4	9
Compatibilidad	9	4	9
Costo	1	3	9
Ponderación total	37	27	42

Fuente: Autores

La opción más óptima según la tabla (5-3) para el proyecto, es una webcam que brinda grandes características de resolución, tiempo de procesamiento, compatibilidad a un bajo costo, razón por la cual se ha adquirido la marca Logitech C170.

3.2.5 Selección del sensor.

Para que el sistema de visión artificial sea totalmente automatizado y computarizado se necesita de una señal eléctrica que indique el punto exacto cuando el objeto debe ser procesado y analizado para su posterior clasificación. Para eso se ha analizado sensores de proximidad ultrasónicos, infrarrojos y fotoeléctricos regulables.

Tabla 6-3. Tabla de ponderación-selección del sensor

Equipo Características	Sensor ultrasónico PING parallax	Sensor IR infrarrojo	Sensor fotoeléctrico compacto
Tiempo de envío de señal	9	8	9
Tipo de señal	9	9	9
Forma del sensor	9	7	10
Compatibilidad	9	9	9
Rango de medición	7	5	10
Ponderación total	45	40	47

Fuente: Autores

Según la tabla (6-3) la mejor opción para la detección de objetos tomando en cuenta la variación en calidad de material es el sensor de proximidad con ultrasonido compacto con una distancia regulable de 300 mm.

3.2.6 Diseño de accesorios de trabajo

Se ha visto necesario el diseño de diferentes accesorios que permitan un mejor trabajo en el procesamiento de imágenes, y mejorar el entorno de procesamiento según las necesidades que se presenta. La tabla (7-3) muestra los accesorios de trabajo necesarios.

Tabla 7-3. Accesorios de trabajo

ACCESORIOS DE TRABAJO	OBSERVACIONES
Estructura cerrada	Almacena mayor iluminación
Lámpara fluorescente	Proporciona mayor iluminación
Soporte regulable	Regula la distancia al objeto

Fuente: Autores

3.2.6.1 Estructura rectangular cerrada.

Tabla 8-3. Selección de tipo de estructura

Estructura	Rectangular	Circular	Semi cerrada
Características			
Facilidad de trabajo	9	8	8
Costo de fabricación	10	6	10
Tiempo de fabricación	10	6	10
Compatibilidad con accesorios de trabajo	9	8	6
Concentración de luz	10	10	5
Ponderación total	48	38	39

Fuente: Autores

Según la tabla (8-3) la estructura de trabajo necesaria para obtener imágenes nítidas que contengan todas las características de cada envase dando como resultado un proceso de calidad, es la estructura rectangular elaborada con tol de 1 mm de espesor y fondo blanco.

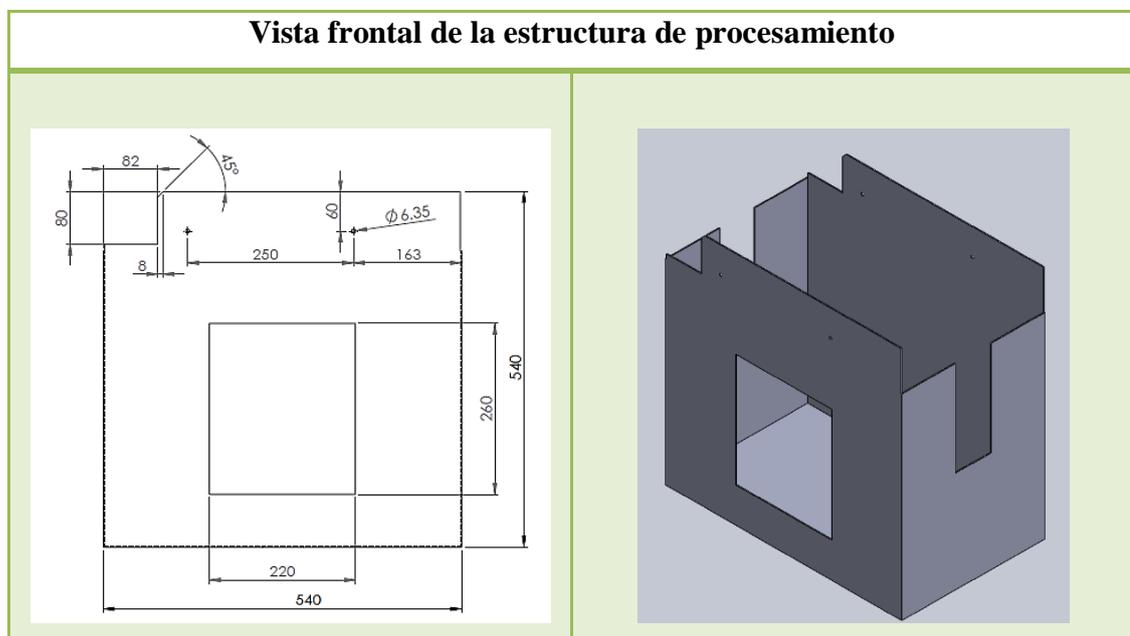


Figura 38-3. Vista frontal de la estructura

Fuente: Autores

Vista lateral derecho e izquierdo de la estructura de procesamiento

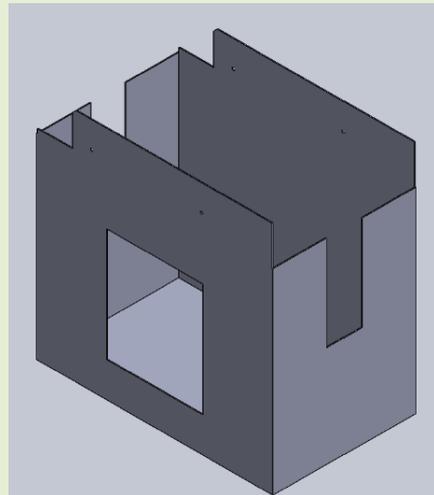
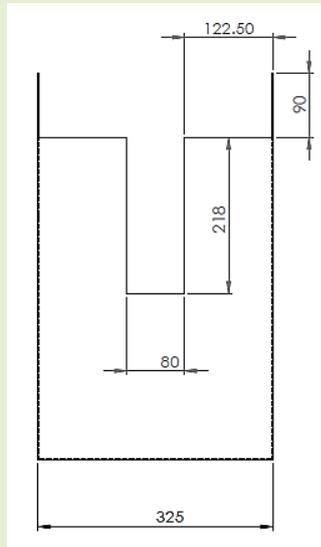


Figura 39-3. Vista lateral de la estructura

Fuente: Autores

Vista interior de la estructura de procesamiento color blanco



Figura 40-3. Vista interior de la estructura

Fuente: Autores

3.2.6.2 Lámpara fluorescente.

La iluminación es un parámetro sumamente necesario para adquirir toda la información de los tres tipos de botellas a clasificar, con una estructura rectangular de fondo blanco e

iluminación difusa totalmente blanca se pretende eliminar al 100% las sombras y el brillo de las paredes, concentrándose la iluminación en la botella analizada.

La estructura tiene fondo blanco debido a que se realiza el procesamiento de imágenes con botellas y envases de color oscuro como lo son el café (plástico, vidrio) y el azul (aluminio). El fondo blanco permite adquirir al 100% cada una de las características de las botellas y envases analizados. En caso de querer utilizar un fondo negro la programación debe variar y la iluminación debe ser mínima.

Según las pruebas realizadas se trabajó en primer lugar con dos lámparas fluorescentes las cuales no iluminaban todo el contorno de trabajo prolongando sombras a los alrededores lo que impedía captar imágenes nítidas. Debido a este percance se decidió colocar 4 lámparas alrededor de las botellas y envases para evitar cualquier tipo de sombra y obtener imágenes claras para el procesamiento.



Figura 41-3. Iluminación difusa con lámparas fluorescentes

Fuente: Autores

3.2.6.3 Soporte regulable.

La posición de la cámara debe ser ubicada en un punto específico según las dimensiones de las botellas, la óptica utilizada, y el tipo de resolución; por esta razón se ha visto conveniente diseñar un soporte que regule la distancia hacia adelante y atrás. Se utilizará una varilla roscada de $\frac{1}{4}$ de pulgada y una pequeña base que sostenga la cámara.

La razón de que el soporte sea regulable se debe a que la máquina tenga la opción de trabajar con diferentes tipos de botellas además de las ya analizadas de esta manera se podrá calibrar el entorno de trabajo y la programación. Se optó por el diseño de este soporte debido a las condiciones de la máquina y la estructura rectangular diseñada, ya que el espacio de trabajo no era muy amplio.

Las primeras pruebas realizadas con el soporte regulable se realizó desde la parte frontal de la estructura obteniendo como principal problema la captura de imágenes borrosas debido a la parte hueca de la estructura por donde ingresaban las botellas, por ello la cámara no detectaba ningún objeto establecido, razón por la cual como segunda opción y con gran validez el soporte se lo colocó a un costado de la estructura teniendo un fondo blanco fijo que eliminaba las imágenes borrosas y procesaba imágenes nítidas logrando clasificar las botellas según sus características establecidas inicialmente.

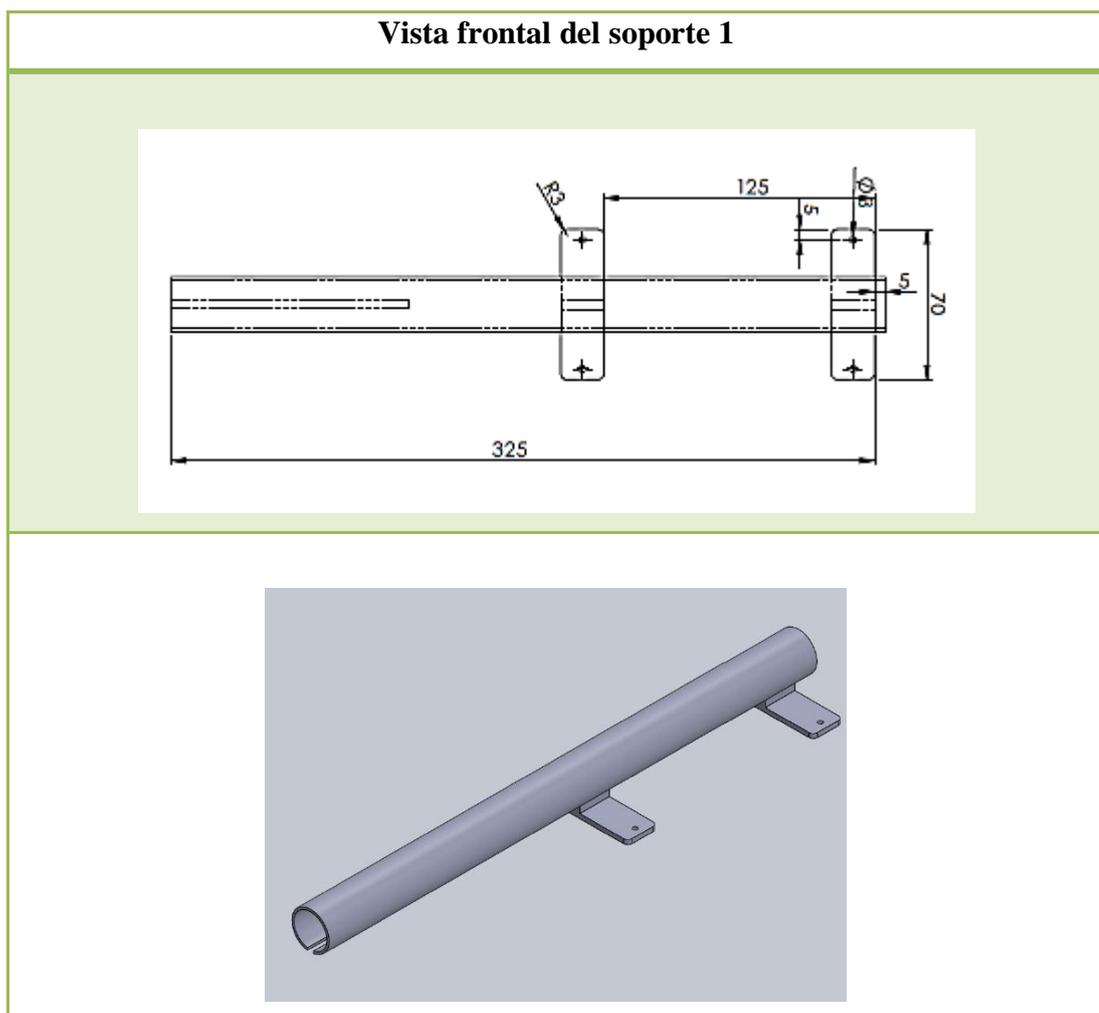


Figura 42-3. Vista frontal del soporte 1

Fuente: Autores

Vista frontal del soporte 2

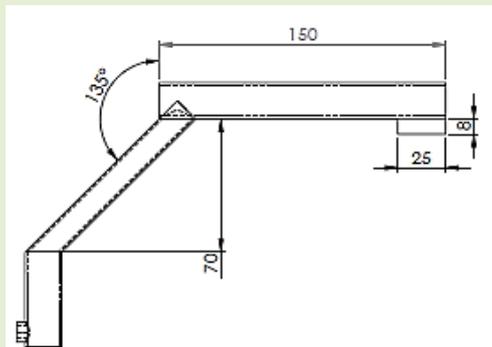


Figura 43-3. Vista frontal del soporte 2

Fuente: Autores

Vista frontal del soporte 3

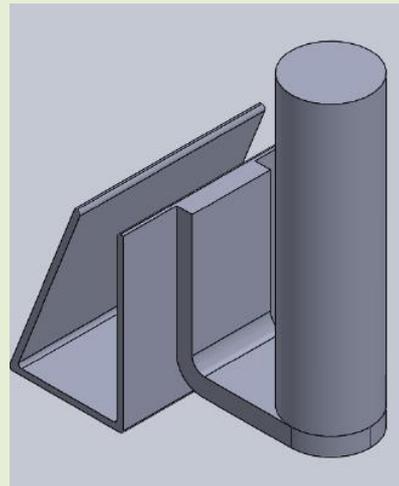
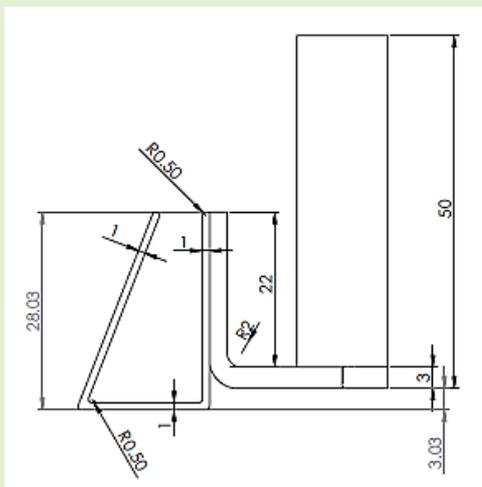


Figura 44-3. Vista frontal del soporte 3

Fuente: Autores

3.2.7 Configuración y programación del software necesario.

Para este tipo de sistema de visión artificial en la máquina selectora de botellas se ha visto la necesidad de utilizar tres tipos de software:

- ✓ Arduino-software.
- ✓ Drive cámara.
- ✓ MATLAB 2015.

3.2.7.1 Arduino-software

Se instala arduino-software aceptando los términos y condiciones, estableciendo una ruta en el escritorio para su posterior programación. La instalación del software arduino que permite realizar el enlace con MATLAB y poder ocupar los pines del arduino.

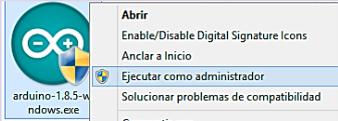
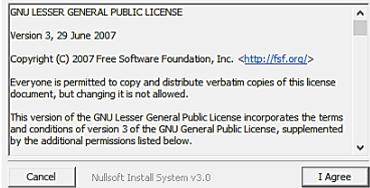
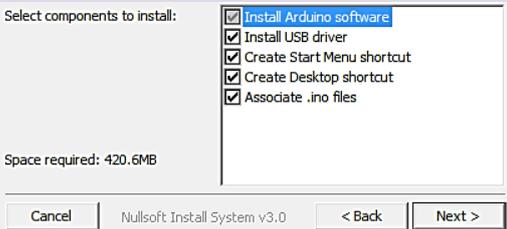
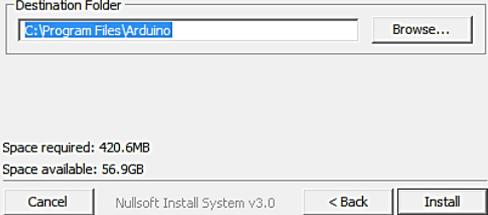
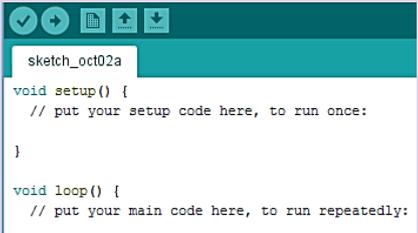
Instalación del Arduino-software	
Una vez descargado el Arduino-software primeramente se ejecuta como administrador	
Aceptación de términos de instalación	
Selección de complementos y componentes del software.	
Seleccionar la carpeta de destino del software, aceptar e instalar.	
Una vez instalado, abrir el software y verificar su validez para poder usarlo correctamente.	

Figura 45-3. Instalación del Arduino-software

Fuente: Autores

3.2.7.2 Drive webcam Logitech C170.

Descargar el drive de la página www.logitech.com y ejecutar como administrador.

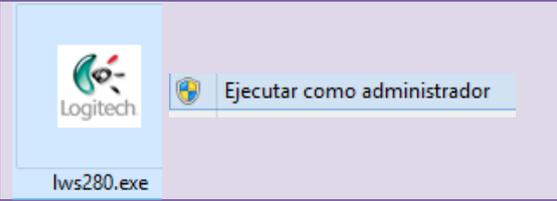
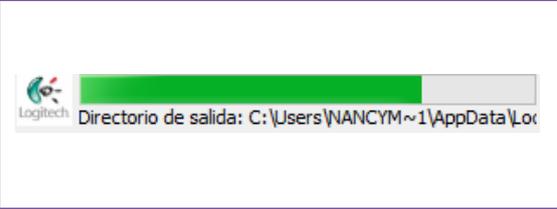
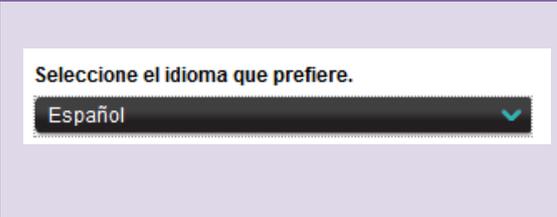
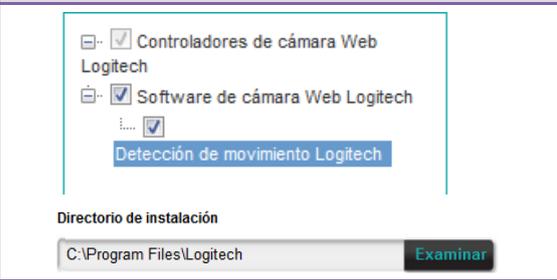
Instalación del drive Logitech C170	
Ejecutar como administrador el archivo lws280.exe	
Automáticamente el archivo se descarga en una carpeta en el disco D.	
Escoger el idioma y se procede a la conexión de la webcam	
Elegir el lugar de instalación, dar clic en siguiente, esperar que se instale, una vez instalada clic en siguiente para comprobar la cámara.	
Finalizar la instalación comprobando la cámara.	

Figura 46-3. Instalación drive Logitech C170

Fuente: Autores

3.2.7.3 Instalación MATLAB 2015

Descargar e instalar MATLAB ejecutando como administrador en el icono de SETUP.

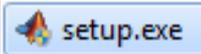
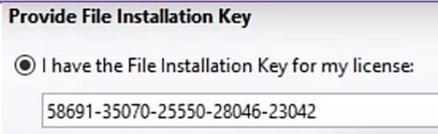
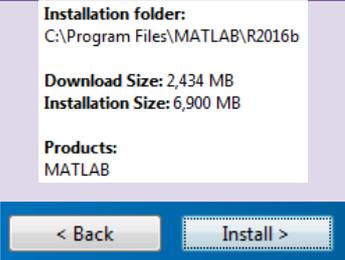
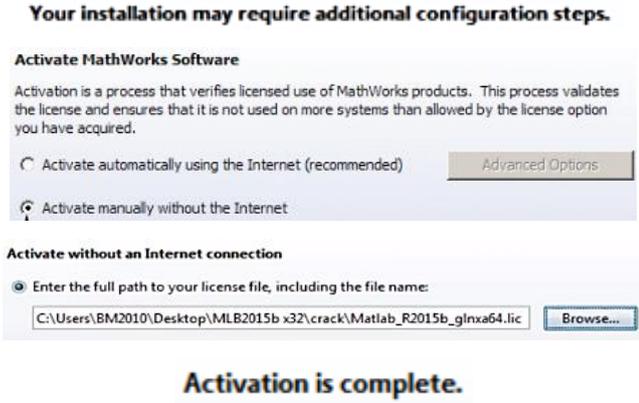
Instalación MATLAB 2015	
Ejecutar como administrador el Setup	
Se usa la contraseña para activar MATLAB, clic en siguiente.	
Aceptar los términos de la licencia	
Se ingresa la clave para continuar, clic en siguiente.	
Clic en instalar y esperar que se cargue totalmente	
Se configura MATLAB, clic en siguiente, activar el paquete de MathWorks sin internet y seleccionar la carpeta donde se ubica la licencia, de esta manera se completará una instalación correcta lista para programar.	

Figura 47-3. Instalación MATLAB 2015

Fuente: Autores

3.2.8 Programación para el procesamiento de imágenes y clasificación de botellas.

Para realizar la programación se toma en cuenta las señales de entrada y salida del arduino, la señal más importante es transmitida por el sensor de proximidad activando la webcam para que el software procese las imágenes de cada una de las botellas clasificándolas según el tipo de material seleccionado. Cada una de las botellas se transportará a través de una banda y serán clasificadas mediante dos cilindros que serán activados con una señal que envíe el software al arduino y a sus electroválvulas. El proceso de la programación se basa en:

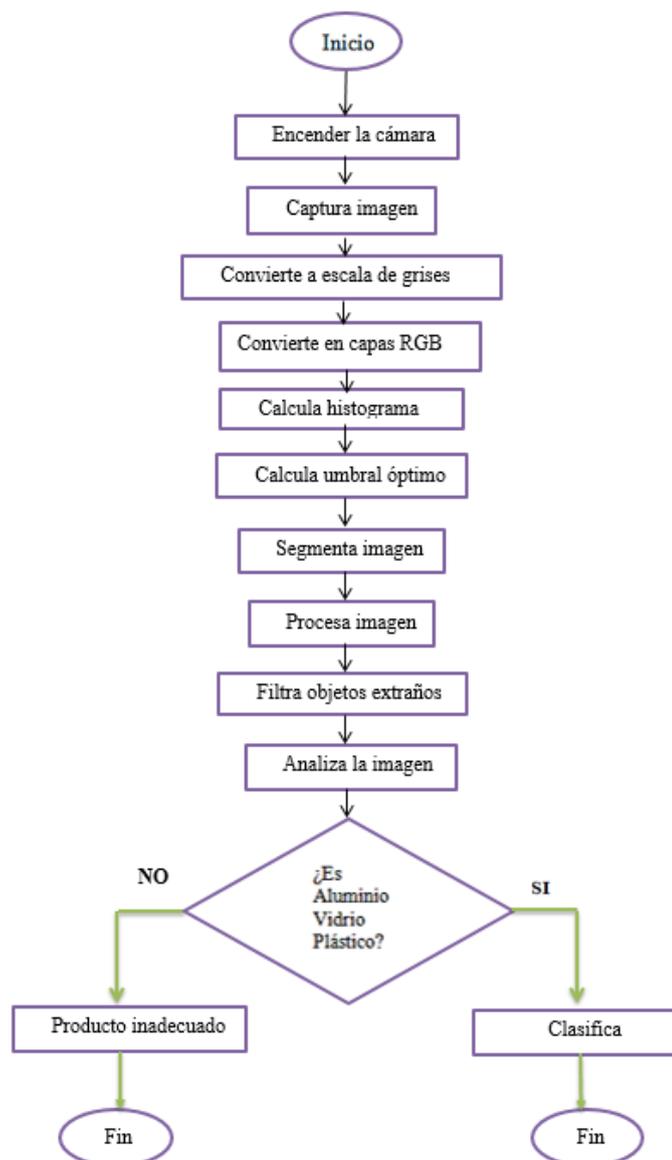


Figura 48-3. Diagrama de flujo-Etapas del procesamiento de imágenes

Fuente: Autores

3.2.8.1 Reconocimiento y activación de webcam Logitech C170 en MATLAB

Una vez instalado el drive de la webcam se procede al reconocimiento y activación en MATLAB para poder encender y obtener una variable de programación que permita realizar capturas de imágenes a través de una interfaz gráfica.

Descargar los paquetes de instalación necesaria en *Support Package Installer*.

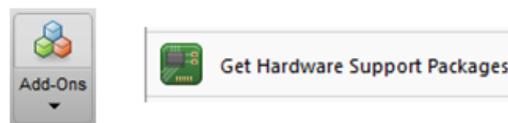


Figura 49-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

Escoger la opción OS Generic Video Interface marcando el cuadro de instalar, clic en siguiente.

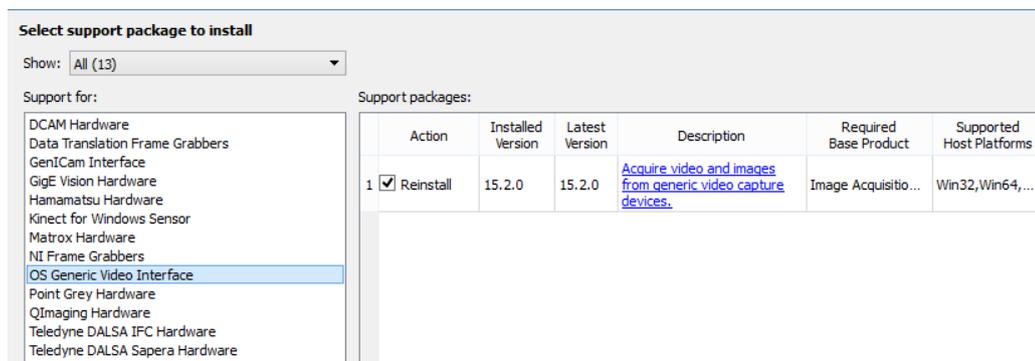


Figura 50-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

Confirmar la instalación de los drivers y finalizar.

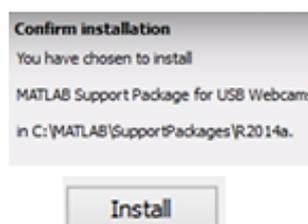


Figura 51-3. Activación de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

Ingresar el comando `inf=imaqhwinfo` para comprobar que el paquete 'winvideo' se haya activado correctamente y poder utilizar la variable de la webcam.

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> inf=imaqhwinfo

inf =

    InstalledAdaptors: {'winvideo'}
    MATLABVersion: '8.6 (R2015b)'
    ToolboxName: 'Image Acquisition Toolbox'
    ToolboxVersion: '4.10 (R2015b)'
```

Figura 52-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

Ubicar el comando `inf=imaqhwinfo ('winvideo')` y el parámetro de importancia es `DeviceIDs` el cual indica con qué valor se ha reconocido la webcam.

```
>> datos=imaqhwinfo ('winvideo')

datos =

    AdaptorDllName: 'C:\MATLAB\SupportPackages\
    AdaptorDllVersion: '4.10 (R2015b) '
    AdaptorName: 'winvideo'
    DeviceIDs: {[1]}
    DeviceInfo: [1x1 struct]
```

Figura 53-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

El valor de `DeviceIDs= {1}` permite encontrar las características de la webcam y la variable con la que se debe programar la activación y captura de la misma mediante el comando `datos.DeviceInfo (1)`, la variable a utilizar es `VideoInputConstructor: 'videoinput ('winvideo', 1)'`.

```
>> datos.DeviceInfo(1)

ans =

    DefaultFormat: 'MJPG_1024x768'
    DeviceFileSupported: 0
    DeviceName: 'Webcam C170'
    DeviceID: 1
    VideoInputConstructor: 'videoinput('winvideo', 1) '
    VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('winvideo', 1) '
    SupportedFormats: {1x20 cell}
```

Figura 54-3. Reconocimiento de webcam Logitech C170 en MATLAB
Fuente: Autores

Una vez reconocida la variable de la webcam 'videoinput ('winvideo', 1)' se procede a programar la activación y desactivación de imágenes mediante códigos y algoritmos en la interfaz gráfica.

Activación y desactivación de imágenes mediante códigos y algoritmos	
Código “Encender webcam”	
<pre> % --- Executes on button press in pushbutton5. function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles) % hObject handle to pushbutton5 (see GCBO) % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB % handles structure with handles and user data (see GUIDATA) global vid set(handles.axes1, 'visible', 'on'); axes(handles.axes1); vid=videoinput('winvideo',1); vid.ReturnedColorSpace='rgb' vidres = get(vid, 'videoresolution'); nbands= get(vid, 'NumberOfBands'); himage=image(zeros(vidres(2),vidres(1),nbands)); preview(vid,himage); </pre>	
Código “Apagar webcam”	
<pre> % --- Executes on button press in pushbutton6. function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles) % hObject handle to pushbutton6 (see GCBO) % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB % handles structure with handles and user data (see GUIDATA) set(handles.axes1, 'visible', 'off'); closepreview; axes(handles.axes1); </pre>	

Figura 55-3. Activación y desactivación de imágenes mediante códigos y algoritmos

Fuente: Autores

3.2.8.2 Reconocimiento y activación del arduino MEGA 2560 en MATLAB

Para la utilización de la placa digitalizadora ARDUINO se debe descargar de la página oficial de MATLAB sus respectivos drivers y librerías. Descargar los paquetes de instalación necesaria en *Support Package Installer* y confirmar la instalación.

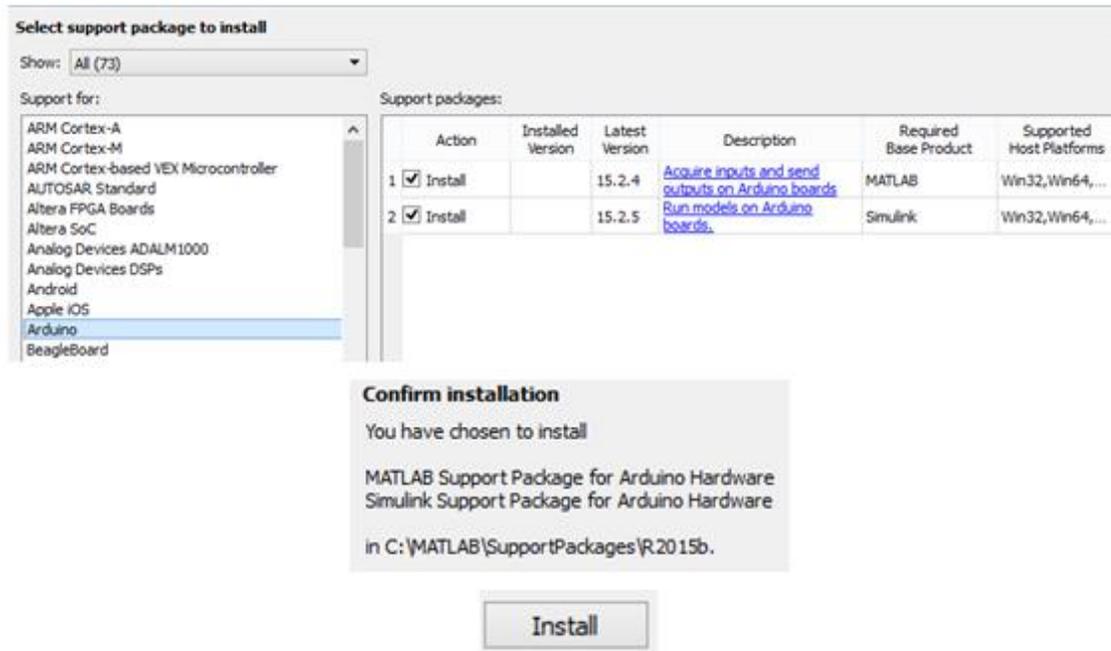
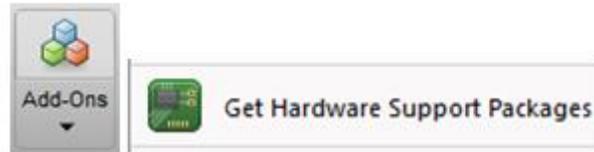


Figura 56-3. Activación del arduino MEGA 2560 en MATLAB
Fuente: Autores

Para realizar el enlace entre ARDUINO y MATLAB, abrir el software ARDUINO, clic en la pestaña herramienta para seleccionar la placa que se va a utilizar, seleccionar el ARDUINO mega 2560.

Placa: "Arduino/Genuino Mega or Mega 2560"

Figura 57-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

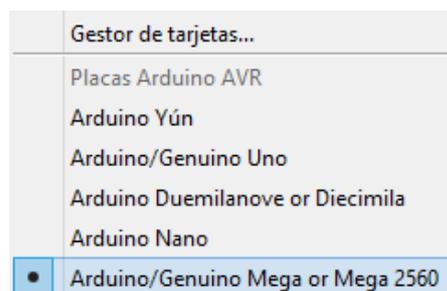


Figura 58-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

Conectar el ARDUINO con el cable USB, revisar el puerto COM al que se ha conectado en la computadora.

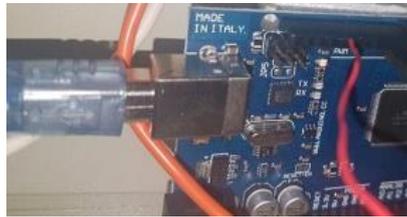


Figura 59-3 Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

Introducir un sketch que proporciona ARDUINO para realizar enlaces de manera correcta con el software MATLAB. Dentro del ARDUINO ir a >>archivo>>abrir>>arduinoIO>>pde>>adiosrv>>adiós.pde>>abrir. De esta manera aparecerá una página de ARDUINO con una serie de códigos que se debe copilar/subir para poder hacer uso de las entradas analógicas y digitales de la placa ARDUINO mega 2560.

```
Subir
adiosrv
/* Analog and Digital Input and Output Server for MATLAB */
/* Giampiero Campa, Copyright 2009 The MathWorks, Inc */

/* This file is meant to be used with the MATLAB arduino IO
package, however, it can be used from the IDE environment
(or any other serial terminal) by typing commands like:

0e0 : assigns digital pin #4 (e) as input
0f1 : assigns digital pin #5 (f) as output
0n1 : assigns digital pin #13 (n) as output

1c : reads digital pin #2 (c)
1e : reads digital pin #4 (e)
2n0 : sets digital pin #13 (n) low
2n1 : sets digital pin #13 (n) high
2f1 : sets digital pin #5 (f) high
2f0 : sets digital pin #5 (f) low
4j2 : sets digital pin #9 (j) to 50=ascii(2) over 255
4jz : sets digital pin #9 (j) to 122=ascii(z) over 255
3a : reads analog pin #0 (a)
3f : reads analog pin #5 (f)
```

Figura 60-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

Realizada la carga completa se cierra el programa, para proceder a ejecutar. MATLAB y en el enlace Current Folder selecciona la carpeta arduinoIO, colocar el comando *installer arduino*.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or re
>> install_arduino
Arduino folders added to the path
Saved updated MATLAB path

```

Figura 61-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

Ingresar el comando `a=arduino('COM X')` para que se enlace MATLAB con los “pines” del ARDUINO. Una vez enlazado se puede realizar la programación con diferentes códigos tales como: `pinMode()`, `Digitalwrite()`, `digitalread()`, esto depende del gusto del programador.

```

>> a=arduino('COM3')
Attempting connection .....
Basic I/O Script detected !
Arduino successfully connected !

a =

arduino object connected to COM3 port
Basic IO Server running on the arduino board

Digital Pin 02 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 03 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 04 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 05 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 06 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 07 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 08 is currently UNASSIGNED
Digital Pin 09 is currently UNASSIGNED

```

Figura 62-3. Enlace previo al reconocimiento entre ARDUINO y MATLAB
Fuente: Autores

3.2.8.3 Tabla de conexiones por variables

En la tabla (3-9) se establecerán en que pines del arduino MEGA 2560 están conectados las salidas y entradas que conforman el sistema.

Tabla 9-3. Conexiones por variable en el arduino MEGA 2560

Tabla de conexiones por variable en el arduino MEGA 2560			
Entradas		Salidas	
Elementos	Variable	Elementos	Variables
Sensor fotoeléctrico	PIN 12	Motoreductor	PIN 8
		Iluminación	PIN 8
		Electroválvula plástico	PIN 10
		Electroválvula aluminio	PIN 9

Fuente: Autores

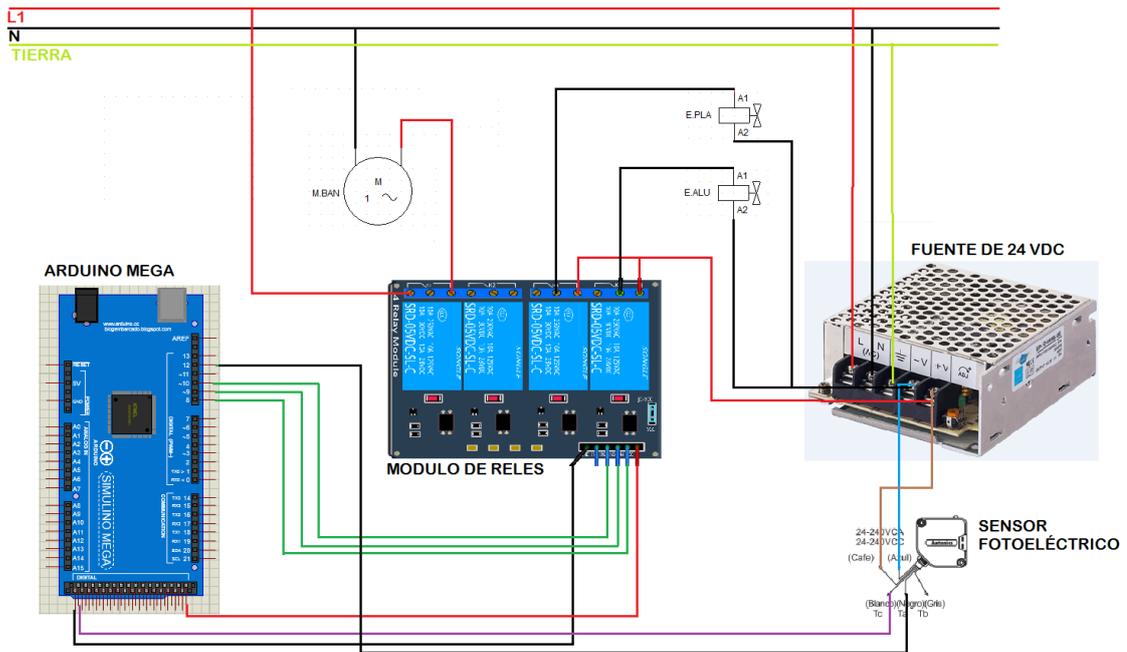


Figura 63-3. Conexión del circuito eléctrico
Fuente: Autores

3.2.8.4 Clasificación de botellas y envases mediante códigos y algoritmos.

El procesamiento de imágenes se encuentra dentro de un proceso automatizado que transforma los códigos y algoritmos en señales eléctricas a través de una placa digitalizadora ARDUINO y MATLAB la misma que se encarga de procesarlas para que de esta manera la banda empiece a funcionar trasladando las botellas hacia el entorno de procesamiento, el cual se encuentra 100% iluminado con fondo blanco, en el transcurso de la banda el sensor detecta los diferentes tipos de botellas enviando señales de “1” y “0” para capturar la imagen de manera automática y clasificarlas según su designación de aluminio, vidrio o plástico que activan y desactivan las electroválvulas. La codificación que realiza el proceso de manera automática es la siguiente:

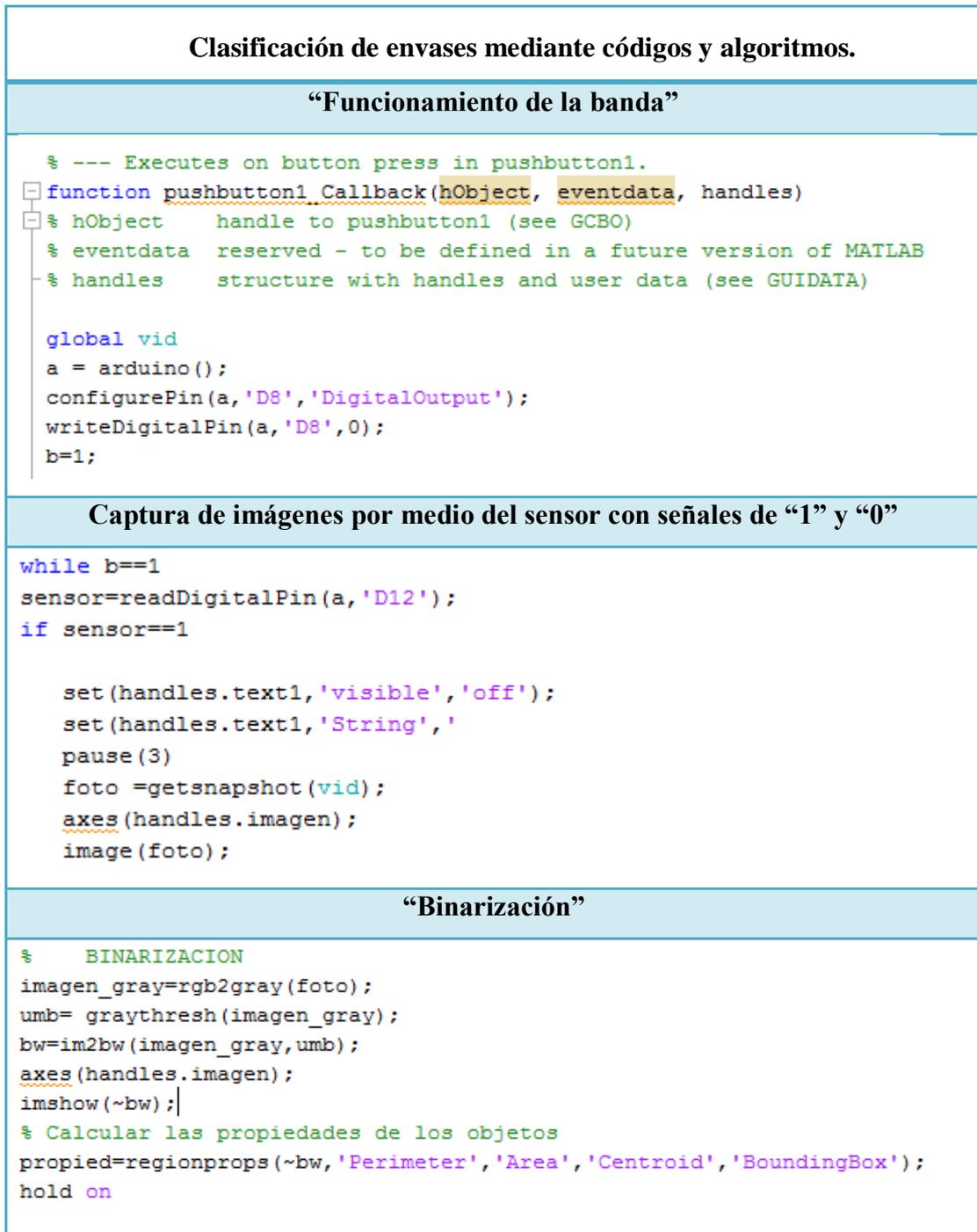


Figura 64-3. Clasificación de envases mediante códigos y algoritmos.

Fuente: Autores

“Procesamiento de imágenes mediante propiedades de los envases”

```
% Calcular las propiedades de los objetos
propied=regionprops(~bw, 'Perimeter', 'Area', 'Centroid', 'BoundingBox');
hold on

for n=1: length(propied)
    borde=propied(n).BoundingBox;
    if propied(n).Area>19000
        rectangle('Position', [borde(1), borde(2), borde(3), borde(4)], 'EdgeColor', 'g', 'LineWidth', 2)
    else
        rectangle('Position', [borde(1), borde(2), borde(3), borde(4)], 'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 2)
    end

    if propied(n).Area>20000
        propied(n).Area
        if (propied(n).Area<=50000) && (propied(n).Area>=43000)
            set(handles.text1, 'visible', 'on');
            set(handles.text1, 'String', 'BOTELLA DE VIDRIO')
            fprintf('BOTELLA DE VIDRIO!!\n');
            pause(1)
            b=1;
        end

        if (propied(n).Area<43000) && (propied(n).Area>=40000)
            set(handles.text1, 'visible', 'on');
            set(handles.text1, 'String', 'BOTELLA DE PLASTICO')
            fprintf('BOTELLA DE PLASTICO!!\n');
            pause(4.2)

            configurePin(a, 'D9', 'DigitalOutput');
            writeDigitalPin(a, 'D9', 0);
            pause(1)
            writeDigitalPin(a, 'D9', 1);
            b=1;
        end

        if (propied(n).Area<=40000) && (propied(n).Area>=25000)
            set(handles.text1, 'visible', 'on');
            set(handles.text1, 'String', 'BOTELLA DE ALUMINIO')
            fprintf('BOTELLA DE ALUMINIO!!\n');
            pause(6.4)

            configurePin(a, 'D10', 'DigitalOutput');
            writeDigitalPin(a, 'D10', 0);
            pause(1)
            writeDigitalPin(a, 'D10', 1);
            b=1;
        end
    end
end
end
end
if sensor==0
```

Figura 65-3. Procesamiento de imágenes mediante propiedades de los envases

Fuente: Autores

```
“Finalización del proceso de clasificación”
```

```

fprintf('Nada!!\n');
end

end
    hold off

    % --- Executes on button press in exit.
function exit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to exit (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
close(proceso);
portada

```

Figura 66-3. Finalización del proceso de clasificación
Fuente: Autores

3.3 Construcción del equipo

Para la construcción del equipo de trabajo necesario en el sistema de visión artificial que realiza la clasificación de botellas según su tipo de material se tomará en cuenta varios parámetros de diseño:

Tabla 10-3 .Construcción de la estructura tipo domo rectangular

Sistema	Material	Espesor	Fondo	Iluminación	cantidad
Estructura rectangular	Plancha de tol	1 mm	Blanco	Cenital Difusa	1

Observaciones: la estructura rectangular con fondo blanco e iluminación difusa es la principal herramienta de trabajo, al procesar una imagen pues evita al 100% la proyección de sombras logrando con éxito, el reconocimiento de diferentes tipos de botellas.



Fuente: Autores

Tabla 11-3. Construcción del soporte de la cámara

Sistema	Materiales	Diámetro	Longitud	Color	cantidad
Soporte de la cámara	tubo circular	1	330 mm	Negro	1
	Varilla roscada	½ plg	300 mm	Negro	1
	Varilla circular	1 plg	150 mm	Negro	1

Observaciones: el soporte de la cámara se encuentra sobre la estructura rectangular, este soporte se lo puede regular de atrás hacia adelante con una carrera de 100 mm para poder procesar diferentes envases con diferentes áreas, de igual manera se lo puede regular de arriba hacia abajo según la característica del objeto a procesar.



Fuente: Autores

Tabla 12-3. Construcción de la caja de control y mando

Sistema: Caja de control y mando		
Nombre	Cantidad	Imagen
Arduino mega 2560	1	
Banco de relés de Arduino	1	
Fuente de poder de 24 VDC	1	

Tabla 12-3. (Continúa) Construcción de la caja de control y mando

Guarda motor	1	
Electroválvulas de 24 v DC	1	
Parada de emergencia	1	
Sensor fotoeléctrico	1	
Webcam Logitech C 170	1	
Caja de control	1	
<p>Observaciones.- el sistema de control y mando esta conformado por circuitos eléctricos y neumáticos que estan controlados por una placa digitalizadora arduino MEGA 2560 enviando y recibiendo señales desde el sensor hacia las electroválvulas, el guardamotor y la cámara.</p>		

Fuente: Autores

Tabla 13-3. Elaboración de la interfaz de control

Interfaz de control

portada

anel

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL



TEMA: Sistema de Visión Artificial

TUTOR: Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos

ASESOR: Ing. Eduardo Francisco García Cabezas

INTEGRANTES: Marco Vinicio Galarza Duchi y Juan José Tierra Gusqui



INICIARRiobamba - EcuadorSALIR

proceso

BOTELLA DE VIDRIO



CAPTURASTOPEXT

Observaciones.- parte de la construcción del equipo consta de la elaboración de la portada de inicio de la programación la cual permite accionar el sistema mediante el botón INICIAR

Fuente: Autores

3.4 Pruebas y funcionamiento

3.4.1 Funcionamiento mejorado con visión artificial

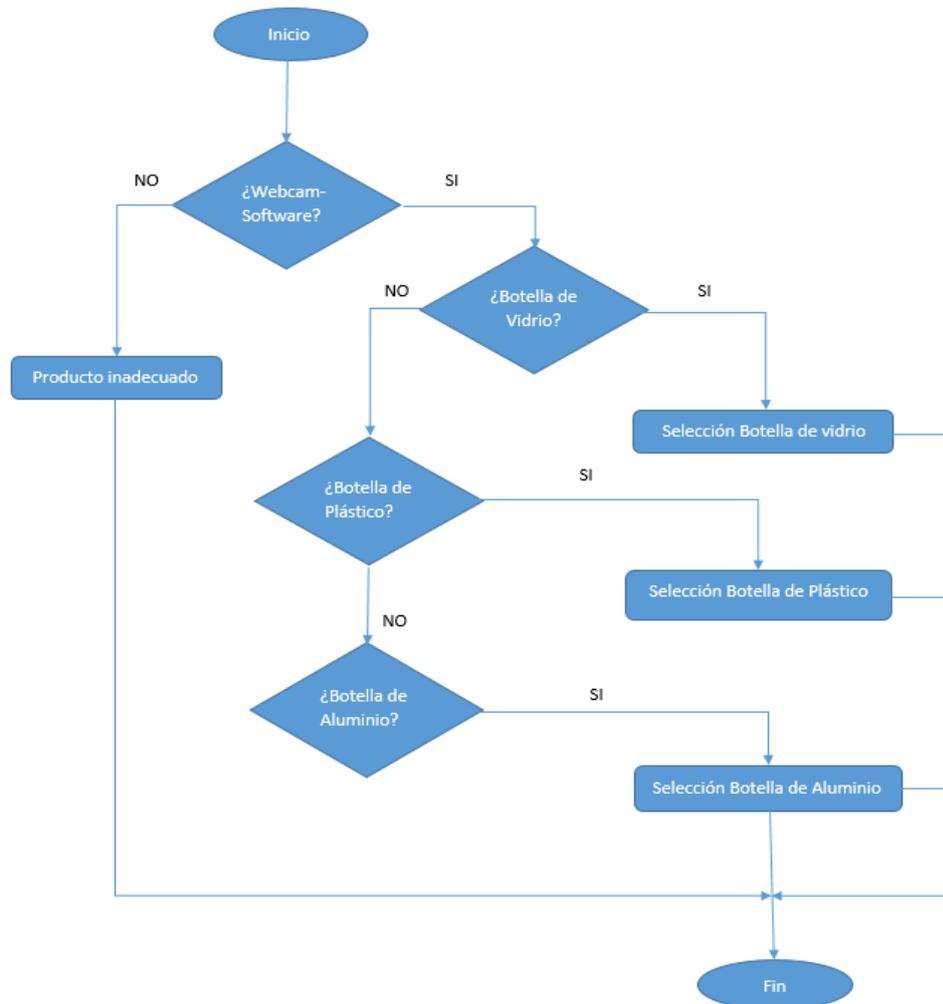


Figura 67-3. Diagrama de flujo- proceso mejorado

Fuente: Autores

3.4.2 Selección del entorno adecuado para el procesamiento de imágenes

Para la implementación del entorno de procesamiento del sistema de visión artificial en la máquina selectora de botellas, se realizó la primera prueba en una caja de tol con fondo negro semi-cerrado con dirección de la cámara frontal, la cual generó varios inconvenientes entre los cuales están: pérdida de iluminación, imágenes defectuosas, proyección de sombras.



Figura 68-3. Prueba 1- Estructura semi-cerrada con fondo negro
Fuente: Autores

La segunda prueba se realizó en una estructura semi-cerrada con dos lámparas fluorescentes con fondo blanco con la posición de la cámara frontal, el problema que se obtuvo con este tipo de estructura fue que la abertura existente en la parte posterior por donde ingresaban las botellas y envases prolongaba sombras captando imágenes borrosas, debido a que la estructura era semi-cerrada la luz no se concentraba al 100% sobre cada objeto.



Figura 69-3. Prueba 2- Estructura semi-cerrada con fondo blanco
Fuente: Autores

En la tercera prueba se decidió utilizar una caja totalmente cubierta de fondo blanco, con una posición de la cámara lateral en la estructura para que de esta manera la luz se concentre al 100% sobre los envases, evitando la proyección de sombras con imágenes que reflejan todas las características necesarias para su posterior procesamiento y clasificación.



Figura 70-3. Estructura cerrada con fondo blanco
Fuente: Autores

Observación. - El análisis del entorno correcto con iluminación difusa de fondo blanco, y una posición de la cámara lateral es la elección idónea para obtener imágenes nítidas con un procesamiento de imágenes que permita realizar la binarización y conversión a escala de grises permitiendo reconocer cada característica analizada en cada una de las botellas y envases.

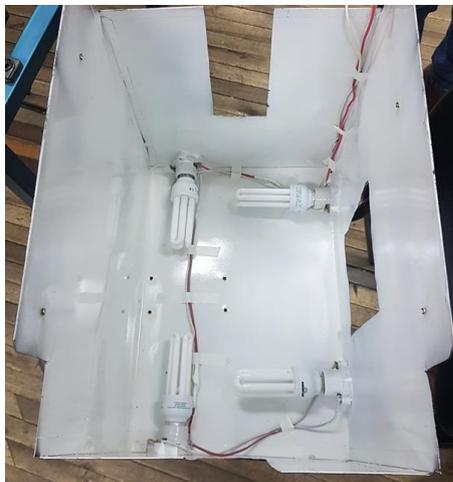


Figura 71-3. Estructura cerrada con fondo blanco e iluminación difusa
Fuente: Autores

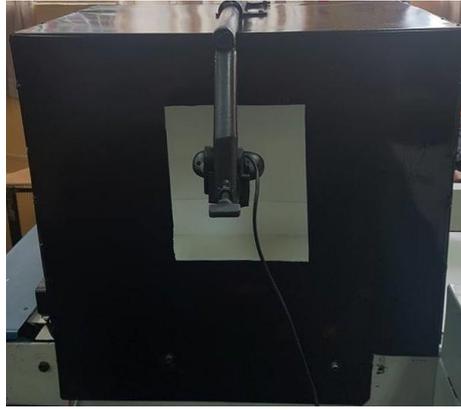


Figura 72-3. Posicionamiento de la cámara en la parte lateral derecha de la estructura
Fuente: Autores

3.4.3 Procesamiento y clasificación de botellas plásticas.

Colocar en la banda transportadora las botellas de plástico una vez que la botella se encuentre en el área de procesamiento la cámara captura la imagen y procesará, clasificándola según su designación programada; en la figura 73 se observa como la botella ingresa al entorno de procesamiento, la cámara capta la imagen y el software lo procesa designándola como “BOTELLA DE PLÁSTICO”.

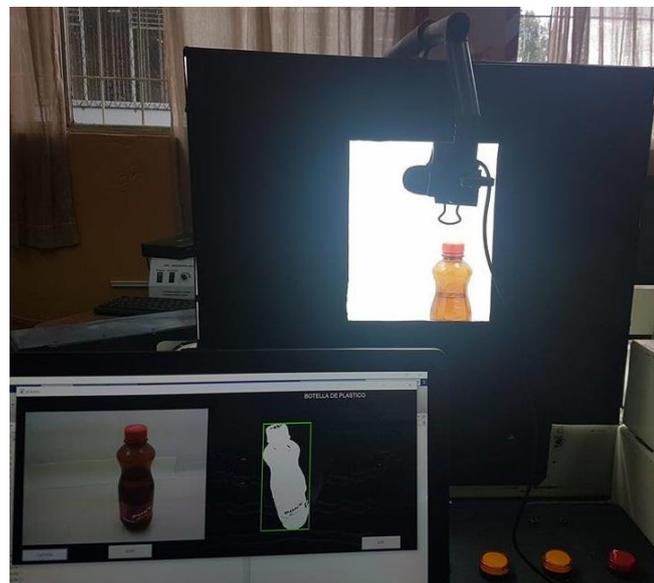


Figura 73-3. Procesamiento y clasificación de botellas plásticas
Fuente: Autores

Botella plástica situada en el área de procesamiento.



Figura 74-3. Botella plástica situada en el área de procesamiento
Fuente: Autores

Imagen captada mediante la webcam por medio del sensor fotoeléctrico.



Figura 75-3. Detección y captura de botellas plásticas
Fuente: Autores

Clasificación de las botellas según su designación “BOTELLA DE PLASTICO”.

<pre>if (propied(n).Area<43000) &&(propied(n).Area>=40000) set(handles.text1,'visible','on'); set(handles.text1,'String','BOTELLA DE PLASTICO') fprintf('BOTELLA DE PLASTICO!!\n'); pause(4.2) configurePin(a,'D9','DigitalOutput'); writeDigitalPin(a,'D9',0); pause(1) writeDigitalPin(a,'D9',1); b=1;</pre>	<p>Command Window</p> <p>Nada!!</p> <p>ans =</p> <p>41651</p> <p>BOTELLA DE PLASTICO!!</p> <p>Nada!!</p>
---	--

Figura 76-3. Clasificación de botella de plástico
Fuente: Autores



Figura 77-3. Clasificación de botellas plásticas
Fuente: Autores



Figura 78-3. Procesamiento y clasificación de botellas plásticas
Fuente: Autores

3.4.4 Procesamiento y clasificación de envases de vidrio.

Poner en la banda transportadora la botella de vidrio una vez que la botella se encuentre en el área de procesamiento, la cámara capturará la imagen y la procesará clasificándola según su designación programada; en la figura 79 se observa como la botella ingresa al entorno de procesamiento, la cámara capta la imagen y el software lo procesa designándola como “BOTELLA DE VIDRIO”.

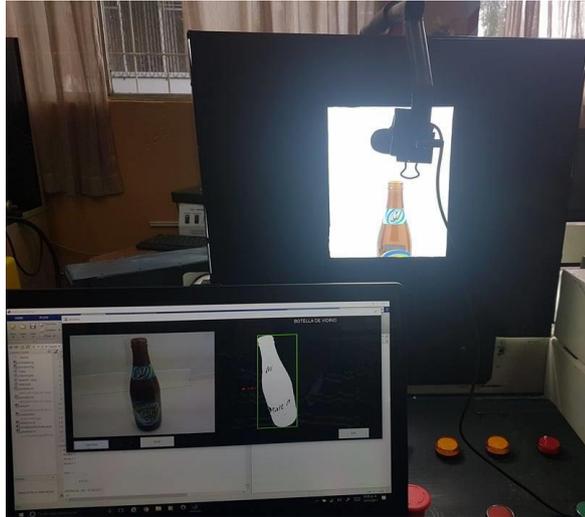


Figura 79-3. Procesamiento y clasificación de botellas de vidrio
Fuente: Autores

Botella de vidrio situada en el área de procesamiento.

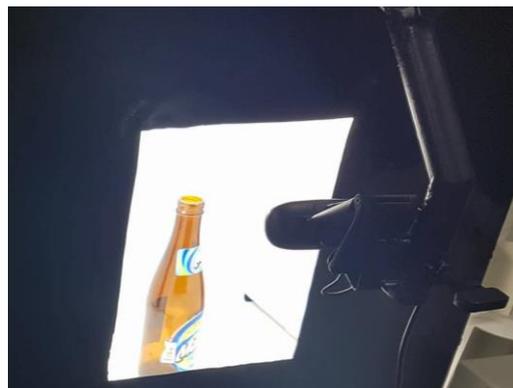


Figura 80-3. Botellas de vidrio situado en el área de procesamiento
Fuente: Autores

Imagen captada mediante la webcam por medio del sensor fotoeléctrico.



Figura 81-3. Detección y captura de botellas de vidrio
Fuente: Autores

Clasificación de las botellas según su designación “BOTELLA DE VIDRIO”.

<pre>if propied(n).Area>20000 propied(n).Area if (propied(n).Area<=50000)&&(propied(n).Area>=43000) set(handles.text1,'visible','on'); set(handles.text1,'String','BOTELLA DE VIDRIO') fprintf('BOTELLA DE VIDRIO!!\n'); pause(1) b=1;</pre>	<pre>Command Window Nada!! ans = 44174 BOTELLA DE VIDRIO!! Nada!!</pre>
---	--

Figura 82-3. Clasificación de botella de vidrio

Fuente: Autores



Figura 83-3. Clasificación de botellas de vidrio

Fuente: Autores

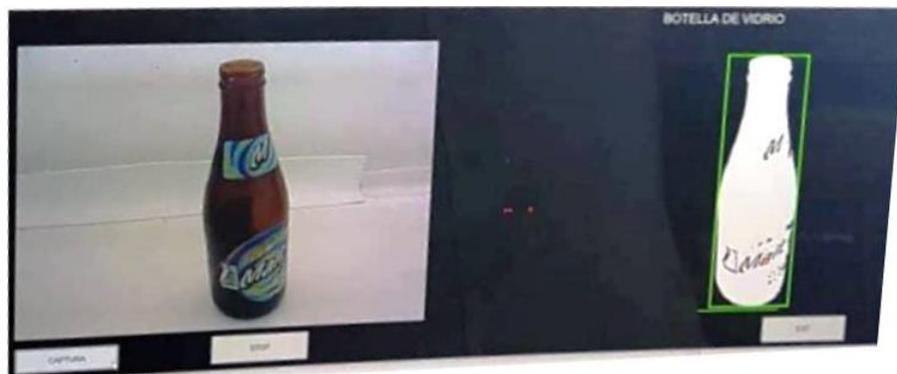


Figura 84-3. Procesamiento y clasificación de botellas de vidrio

Fuente: Autores

3.4.5 Procesamiento y clasificación de envases de aluminio.

Ubicar en la banda transportadora la botella de aluminio una vez que la botella se encuentre en el área de procesamiento, la cámara capturará la imagen y la procesará clasificándola según su designación programada; en la figura 85 se observa como la botella ingresa al entorno de procesamiento, la cámara capta la imagen y el software lo procesa designándola como “BOTELLA DE ALUMINIO”.



Figura 85-3. Procesamiento y clasificación de botellas de aluminio
Fuente: Autores

Botella de aluminio situada en el área de procesamiento.



Figura 86-3. Botella de aluminio situada en el área de procesamiento
Fuente: Autores

Imagen captada mediante la webcam por medio del sensor fotoeléctrico.



Figura 87-3. Detección y captura de botellas de aluminio

Fuente: Autores

Clasificación de las botellas según su designación “BOTELLA DE ALUMINIO”.

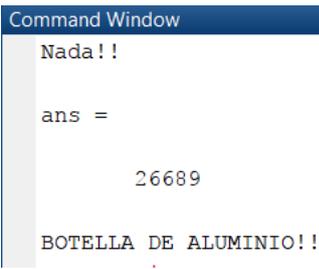
<pre>if (propied(n) .Area<=40000) && (propied(n) .Area>=25000) set(handles.text1,'visible','on'); set(handles.text1,'String','BOTELLA DE ALUMINIO') fprintf('BOTELLA DE ALUMINIO!!\n'); pause(6.4) configurePin(a,'D10','DigitalOutput'); writeDigitalPin(a,'D10',0); pause(1) writeDigitalPin(a,'D10',1); b=1;</pre>	
--	---

Figura 88-3. Clasificación de botella de aluminio

Fuente: Autores



Figura 89-3. Clasificación de botellas de aluminio

Fuente: Autores

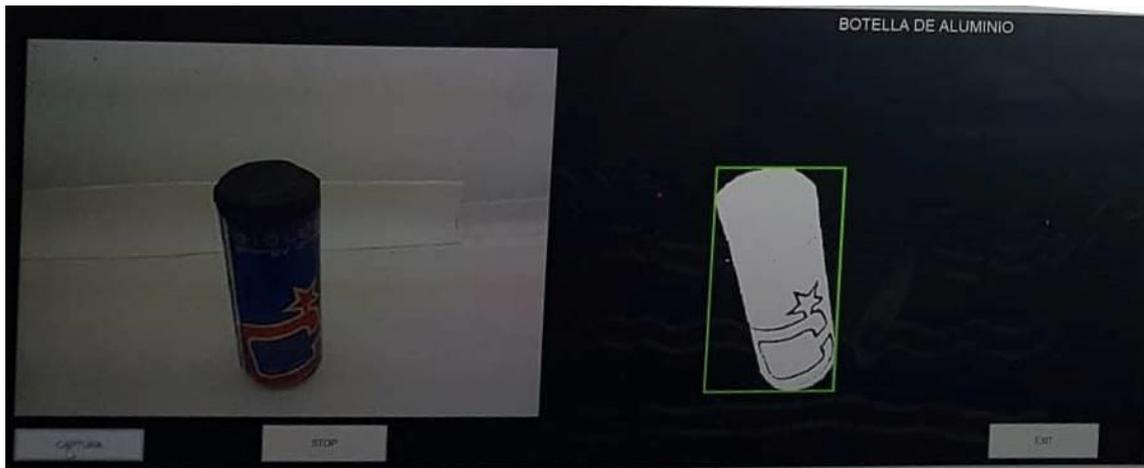


Figura 90-3. Procesamiento y clasificación de botellas platicas
Fuente: Autores

3.4.6 Ventajas del antes y después de la máquina selectora de botellas.

Ventajas:

- ✓ Mayor exactitud al clasificar formas de botellas.
- ✓ Capacidad de clasificar botellas según su geometría.
- ✓ Accesibilidad al manejo de llevar un control de inventarios.
- ✓ Control de calidad según características establecidas.
- ✓ Bajo de costo de procesamiento con programas compatibles.

CAPITULO IV

4 ESTUDIO DE COSTOS

4.1 Costos directos

Tabla 14-4. Costos directos de los materiales para la elaboración del proyecto

Costos directos de los materiales para la elaboración del proyecto				
Item	Cantidad	Detalles	Valor unitario	Valor total
1	1	Plancha de tol de 1 mm de espesor	22	22
2	4	Fluorescentes blancos de 100W	3	12
3	4	Boquillas	0.5	2
4	4	Remaches	0.5	2
5	8	Pernos	0.55	4.4
6	1 m	Tubo circular. Diámetro =1 plg	2.5	2.5
7	1 m	Varilla roscada de ½ pulgada, longitud de 300 mm	2.25	2.25
8	2 lt	Tiñer	1.5	3
9	1lt	Pintura blanca	4.5	4.5
10	1lt	Pintura negra	4.5	4.5
11	1	Arduino MEGA 2560	25	25
12	1	Módulo de relés	20.5	20.5
13	1	Fuente de poder	22.5	22.5
14	2	Electroválvulas de 24 v DC	38	76
15	1	Sensor de proximidad	60	60
16	1	Webcam Logitech	24	24
17	1	Caja de mando	45	45
18	1	Botón de emergencia	2.5	2.5
19	20	Cables	0.25	5
TOTAL				339.65

Fuente: Autores

4.2 Costos indirectos

Tabla 15-4. Costos indirectos para la elaboración del proyecto

Costos indirectos para la elaboración del proyecto				
Item	Cantidad	Detalles	Valor unitario	Valor total
1	2	Transporte	150	300
2	1	Pliego de cartulina blanca	0.5	0.5
3	1	Pliego de fómix blanco	1.5	1.5
4	1	Silicona	1.5	1.5
5	1	Trabajo de mecánica	100	100
TOTAL				403.5

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El sistema de visión artificial que se ha implementado en la Escuela de Ingeniería Industrial cumple con estándares de alta tecnología que de manera automatizada controla características de calidad en la clasificación de envases de aluminio, vidrio y plástico.
- El control y monitoreo de calidad de las botellas mediante procesamiento de imágenes, se basa en una serie de códigos y algoritmos programados simultáneamente en MATLAB, que inspecciona las características de cada uno de los envases a través de su forma y color.
- Para el correcto montaje en la elaboración del sistema de visión artificial se implementó una cámara de 5 megapíxeles con óptica integrada la cual se encarga en la adquisición de imágenes con un tiempo de procesamiento sumamente rápido de 30 fps, se diseñó e implementó una estructura rectangular con iluminación difusa la cual permite analizar cada una de las características de los envases para que sean reconocidas, procesadas y clasificadas inmediatamente. Este tipo de sistema es compatible para realizar comunicación ARDUINO-MATLAB.
- La máquina selectora de botellas actualmente controla parámetros de tamaño y forma, garantizando el procesamiento de imágenes mejorando la calidad del proceso de manera automática con imágenes que detectan al 100% los detalles de cada botella y clasificándolas de manera correcta otorgando calidad al proceso y al producto.

5.2 Recomendaciones

- El área de procesamiento de la máquina tiene un fondo color blanco con iluminación difusa que evita la prolongación de sombras con envases de color oscuro, en caso de usar envases de color transparente o blanco se recomienda calibrar la programación para obtener resultados satisfactorios
- Para la elección de la cámara se debe tener en cuenta el tiempo que se demora en leer y procesar una imagen el software de MATLAB por lo que se recomienda utilizar cámaras de resolución variable con una velocidad de 30 fps (fotos por segundo).
- El área de procesamiento debe encontrarse libre de cualquier otro objeto y que la cámara se encuentre enfocada al 100 % sobre los envases analizados.
- Calibrar los tiempos que activan las electroválvulas para clasificar el plástico y aluminio en el momento de encender y apagar la máquina. Se omitirá el tiempo de clasificación del vidrio ya que pasará libremente por el centro hacia su punto de almacenaje. Los tiempos de calibración permisible para el aluminio están entre (6.0 - 6.4) segundos, mientras que para el plástico se encuentran entre (3.8 - 4.2) segundos.
- Instalar los drivers originales y descargar las librerías de la página oficial de MATHWORKS para la utilización de la webcam y arduino, lo que permitirá realizar enlaces de comunicación entre las entradas y salidas.

6 BIBLIOGRAFIA

NOGUÉ, Albert & ANTIGA, Jordi. *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales.* Madrid-España: Secretaria de estado de educación y formación profesional, 2012, Vol. I, pp. 2-28.

CARVAJAL, Ernesto. *100 proyectos de Robotica con Bitbloq y Arduino.* Altamira-Bolivia : Ecorfan, 2016. pp. 810-815.

COGNEX. Vision artificial [En línea] 18 de Septiembre de 2016. [Consultado: 15 de Noviembre de 2017.] Disponible en: <http://www.cognex.com/what-is/machine-vision/?langtype=1034&locale=es>.

ZAMBRANO, Gabriel; et al. *Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador,* Bogota- Colombia : Redalyc, 2007, Vol. 11, pp. 33-55.

GIBSON, James. *The Ecological Approach to Visual Perception.* Boston : Houghton Mifflin, 1979. pp. 227-235.

GILAT, Amos. *Matlab: una introducción con ejemplos prácticos.* Barcelona-España : Reverte, 2006. pp. 327.

HERRERO, Iris. *Ing. en Automatización y Control Industrial.* Quilmes : Universidad Nacional de Quilmes, 2005. pp. 19.

GUTIERREZ, Humberto & DE LA VARA, Roman. *Control estadístico de calidad y seis sigma.* Mexico : Educlaclon, 2009. pp. 395.

JACOBS, Robert & CHASE, Richard. *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros.* Mexico : McGRAW-Hill S.A, 2014. pp. 767.

KNIGHT, Rich. *Inteligencia artificial.* España : Juan stumpf, 1994. pp. 703.

KRAJEWSKI, Lee; et al. *Administración de operaciones, procesos y cadenas de valor.* México : Pearson educación, 2008. pp. 767.

LOAIZA, Roger. *Inteligencia atificial* [En línea] bvscuba revistas medicas cubanas, 05 de Mayo de 2008. [Consultado: 5 de Septiembre de 2017.] Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol2_2_98/san15298.htm.

LOGIC ELECTRONIC. *Clasificación de los arduinos* [En línea] Logicelectronic, 21 de Julio de 2011. [Consultado: 25 de Octubre de 2017.] Disponible en: http://www.logicelectronic.com/vision/Industria_alimentaria.html.

COOPER, Robert. *Managing technology development projects.* USA : IEEE engineering management, 2007, Research-Technology Management, Vol. 35, pp. 67-76.

- MARR, David.** *Visión*. San Francisco : Freeman, 1982. pp. 393.
- CATTANEOA, Carlos; et al.** *Métodos de umbralización de imágenes digitales*. Rosario, Argentina : Copyright, 2011, Vol. 30, pp. 2785-2805.
- VALENCIA, Carlos.** *Propuesta metodológica para el uso y adaptación de tecnologías basadas en BPM para la gestión organizacional*, Medellín, 2014, pp. 89.
- VARGAS, Manuel.** *Revista de Tecnología e Innovación, Arduino una Herramienta Accesible para el Aprendizaje de Programación*, Altamira- Bolivia : Ecorfan, 2015, Vol. 2, pp. 810-815.
- RUIZ, Hector.** *Clasificación, ventajas y desventajas de la visión artificial* [En línea] *Infaimon* , 8 de Enero de 2014. [Consultado: 12 de Julio de 2017.] Disponible en: http://www.jcee.upc.edu/JCEE2010/pdf_ponencias/PDFs/25_11_10/INFAIMON-Vision%20artificial.pdf.
- STATE-GATE INTERNATIONAL.** *Método de investigación tecnológico etapa-puerta* [En línea] stage-gate, 12 de julio de 2014. [Consultado: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en: http://www.stage-gate.com/resources_stage-gate_full.php.
- STUART , Russell & NORVIG, Peter .** *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Madrid : Pearson educación. S.A., 2004. pp. 1179.
- TAPIA FLEIFEL, Farid.** *Inteligencia Artificial* [En línea] Red científica ciencia tecnología y pensamiento, 14 de Agosto de 2015. [Consultado: 9 de Octubre de 2017.] Disponible en: http://www.redcientifica.com/gaia/ia/intia_c.htm#indice.
- THE MATHWORKS, Inc.** *Funciones lógicas y algoritmos de programación* [En línea] Mathworks, 13 de Mayo de 2016. [Consultado: 17 de Agosto de 2017.] Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/images/examples/color-based-segmentation-using-k-means-clustering.html?requestedDomain=www.mathworks.com>.
- THE MATHWORKS, Inc.** *Umbralización y segmentación de imágenes* [En línea] Mathworks, 15 de Mayo de 2016. [Consultado: 18 de Agosto de 2017.] Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/images/examples/correcting-nonuniform-illumination.html>.
- PAREDES, Jose.** *Visión artificial, Teoría y Aplicación de la Informática*, pp. 25.
- VISION ARTIFICIAL.** *Parámetros y accesorios para un correcto sistema de visión artificial* [En línea] *Visionartificial.fpcat.cat*, 5 de Febrero de 2012. [Consultado: 7 de Noviembre de 2017.] Disponible en: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf.

ANEXOS