



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS SEGÚN COLORES Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS IMPLEMENTANDO UN BRAZO ROBÓTICO COMO COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR (MPS) EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA.**

**AUTORES: MORALES CAICEDO, GUILLERMO ARMANDO  
CÓRDOVA DELGADO, EDGAR GILBERTO**

**DIRECTOR: ING. SÁNCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO  
LATACUNGA**

**2019**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS SEGÚN COLORES Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS IMPLEMENTANDO UN BRAZO ROBÓTICO COMO COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR (MPS) EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA”** fue realizado por los señores **MORALES CAICEDO GUILLERMO ARMANDO** y **CÓRDOVA DELGADO EDGAR GILBERTO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

**Latacunga, 05 de Febrero del 2019**

Ing. Sánchez Ocaña, Wilson Edmundo

C.C.: 0501529937

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **MORALES CAICEDO, GUILLERMO ARMANDO** y **CÓRDOVA DELGADO EDGAR GILBERTO**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS SEGÚN COLORES Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS IMPLEMENTANDO UN BRAZO ROBÓTICO COMO COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR (MPS) EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EXTENSIÓN LATACUNGA”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Morales Caicedo, Guillermo Armando

C.C.: 180408004-0

Latacunga, 05 de Febrero del 2019

Córdoba Delgado, Edgar Gilberto

C.C.:180431133-8



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, **MORALES CAICEDO GUILLERMO ARMANDO** y **CÓRDOVA DELGADO EDGAR GILBERTO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS SEGÚN COLORES Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS IMPLEMENTANDO UN BRAZO ROBÓTICO COMO COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR (MPS) EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE- EXTENSIÓN LATACUNGA**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Morales Caicedo, Guillermo Armando

C.C.: 180408004-0

Latacunga, 05 de Febrero del 2019

Córdova Delgado, Edgar Gilberto

C.C.:180431133-8

## DEDICATORIA

El presente Trabajo de Titulación va dedicado primeramente a Dios, por permitirme existir y disfrutar de cada momento de mi vida, con la presencia de las personas que aprecio y de su bendición, que me da paso a seguir con mis metas propuestas. A mis inigualables padres: Guillermo Morales y Laura Caicedo por ser las personas más influyentes en mí, quienes me brindaron su ayuda a cada instante, buscando siempre el bienestar de cada uno de sus hijos; sabiendo guiarme por el mejor camino, por sus consejos, sus sacrificios, por su tiempo, su amor, y por la confianza depositada en mi persona. A los amores de mi vida mi Esposa e hija por su amor incondicional y por estar presente en mis buenos y malos momentos quienes fueron la motivación para el desarrollo del presente trabajo, a mi amigo Edgar que fui conociendo en el transcurso de mi carrera, quien brindo su amistad. A todas las personas que de alguna u otra forma llegaron a mi vida, para dedicarme su respaldo cuando más lo necesité

*Guillermo M.*

## DEDICATORIA

La realización de este trabajo está dedicada primeramente a Dios quien me dio la fuerza en los momentos más difíciles, siendo mi guía y mi fuerza para seguir adelante a pesar de todas las adversidades que se presentó en mi camino.

Gracias a mi familia, en especial a mi Padre y a mi Madre, quienes fueron un sustento principal para continuar día a día en la lucha por mejorar mi bienestar, inculcando en mí siempre la sinceridad, respeto y responsabilidad, lo cual me hizo ser mejor persona durante esta gran etapa, y sobre todo dedico a esas personas incondicionales que fueron mi apoyo, fuerza, aliento y que siempre las llevare en mi corazón.

*Edgar Córdova.*

## AGRADECIMIENTO

Ante el presente Trabajo de Titulación, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos; dedicados, primeramente, a Dios, por permitirme llegar a este punto de mi vida en el que puedo cumplir con una de mis metas planteadas, bendiciendo mi camino y dándome las habilidades necesarias para culminar con mi Carrera Universitaria. La realización de este proyecto representa la última etapa en mis estudios de ingeniería Electromecánica por lo cual quisiera aprovechar la oportunidad que se me brinda para agradecer todo el apoyo que se me ha dado durante todos estos años.

En primer lugar, agradecer a mis padres Guillermo y Laurita por toda su paciencia, su apoyo moral y material y la oportunidad que me han brindado de realizar mis estudios en la Universidad de las Fuerzas Armadas y con todo lo que ello conlleva, una carrera profesional.

A mi Amada Esposa, María José por estar a mi lado todos estos años, por ser mi soporte mi mejor Amiga, y apoyarme en los momentos difíciles.

A mis hermanos por todos sus sabios consejos y sus buenos deseos en los momentos que más los necesite.

**A mi tutor Ing. Wilson Sánchez** por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto, por sus consejos y por el tiempo que me ha dedicado.

En general, a todos aquellos profesores y compañeros que de una u otra forma me han ayudado a lo largo de estos años, que, aunque no les mencione de forma explícita, no les puedo negar un sincero agradecimiento.

*Guillermo M.*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de todo corazón a mis maestros y tutor Ing. Wilson Sánchez quienes fueron mi fuente de conocimientos, permitiéndome ahora afrontar a una nueva etapa de mi existencia.

De igual forma quisiera agradecer a mi Padre y Madre, quienes, mediante su esfuerzo diario, apoyo y comprensión permitieron que este sueño se haga realidad, que a más de lograr este objetivo profesional, fueron mi guía y mi ejemplo a seguir.

*Edgar Córdova.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### Carátula

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxiv
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PROBLEMÁTICA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación e importancia.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3

1.4.2. Objetivos específicos.....	3
-----------------------------------	---

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

2.1. Robótica .....	4
2.1.1. Partes principales de un robot .....	5
2.1.2. Características generales de los robots.....	8
a. Grados De Libertad .....	8
b. Espacio o volumen de trabajo .....	8
c. Repetitividad.....	8
d. Precisión.....	9
e. Capacidad de carga .....	9
f. Velocidad.....	9
g. Sensores Internos: .....	9
h. Sensores Externos: .....	9
2.1.3. Tipos de articulaciones .....	10
2.1.4. Riesgos en el manejo de robots .....	10
2.1.5. Seguridades para manipular robots.....	11
2.2. Visión artificial.....	11
a. Módulo de digitalización .....	13
b. Memoria de imagen.....	13
c. Módulo de visualización. ....	13

d.	Procesador de imagen.....	13
e.	Módulo de entradas/salidas.....	13
f.	Comunicaciones.....	13
g.	La visión artificial permite:.....	14
h.	Características principales en un sistema de visión artificial.....	14
i.	Aplicaciones de la visión artificial.....	14
2.3.	PC.....	15
2.4.	Librerías para visión artificial.....	15
2.5.	OpenCV:.....	16
2.5.1.	Resolución de una imagen.....	16
2.5.2.	Transformada de la Imagen.....	17
2.5.3.	Segmentación de imágenes.....	17
2.5.4.	Segmentación por umbral (Thresholding).....	18
2.5.5.	Ruido.....	19
2.5.6.	Suavizamiento (Smoothing).....	19
2.5.7.	Detección de bordes.....	20
2.5.8.	Espacio de color.....	20
2.6.	Procesamiento de Imágenes.....	21
a.	Operaciones Individuales.....	22
b.	Operador Identidad.....	22
c.	Operador Umbral.....	23

d.	Operador de umbral .....	23
2.7.	Fundamentos de Unity.....	23
2.8.	Servomotores y Motores paso a paso.....	25
a.	Servomotores.....	25
b.	Motores paso a paso .....	26
2.9.	Arduino.....	26

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1	Antecedentes Investigativos .....	28
3.2	Modalidad de la Investigación.....	30
3.3	Tipos de Investigación .....	31
3.3.1.	Investigación Bibliográfica .....	31
3.3.2.	Investigación de método Investigativo documental.....	32
3.3.3.	Método De Campo.....	32
3.3.4.	Método Experimental .....	32
3.3.5.	Diseño de la investigación .....	33
3.4.	Niveles de la Investigación .....	34
3.4.1.	Exploratoria .....	34
3.4.2.	Descriptiva.....	34
3.4.3.	Investigación explicativa .....	34
3.4.4.	Población y Muestra .....	35

3.5.	Técnicas de Recolección de datos .....	35
3.5.1.	Observación de Laboratorio .....	35
3.5.2.	Instrumentos de medición.....	36
3.5.3.	Técnicas de análisis de datos.....	36
3.5.4.	Técnicas de comprobación de la Hipótesis .....	37

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1	Análisis de resultados .....	38
4.1.1	Necesidades técnicas del Sistema de Producción Modular .....	39
4.1.2	Conclusiones para el diseño del Módulo .....	40
4.2	Determinación de las especificaciones técnicas .....	41
4.3	Análisis funcional y generación de módulos .....	42
4.5	Selección de las alternativas más convenientes para el módulo.....	44
4.6	Esquema virtual de la solución ganadora.....	48
4.7	Revisión de la solución ganadora .....	48
4.8	Comprobación de la Hipótesis.....	50
4.8.1	Planteamiento de la Hipótesis .....	50
4.8.2	Viabilidad del proyecto.....	51

## **CAPÍTULO V**

### **TEMA DE LA PROPUESTA**

5.1	Datos informativos .....	52
-----	--------------------------	----

5.1.1	Beneficiarios .....	52
5.2	Objetivos.....	52
5.2.1	Objetivo General.....	52
5.2.2	Objetivos Específicos .....	53
5.3	Justificación de la Propuesta .....	53
5.4	Fundamentación de la propuesta .....	53
5.5	Diseño de la Propuesta .....	54
5.5.1	Resumen .....	54
5.6	Construcción del Módulo. ....	55
5.6.1.	Rodillo principal .....	56
5.6.2.	Rodillos tensores .....	57
5.6.3.	Soporte de la banda .....	57
5.6.4.	Montaje de los cilindros junto a la banda transportadora.....	59
5.6.5.	Acople del motor paso a paso. ....	59
5.6.6.	Montaje de la banda transportadora.....	60
5.6.7.	Montaje de la cámara. ....	60
5.6.8.	Montaje Total.....	61
5.7	Cálculo de esfuerzos .....	62
5.7.1	Banda transportadora .....	62
a.	Factor de Seguridad .....	62
b.	Selección de la banda transportadora .....	63

c.	Selección de la cinta .....	64
d.	Cálculo de número de objetos permisibles en la banda transportadora .....	65
e.	Cálculo de la amplitud de la banda transportadora.....	65
f.	Cálculo del valor de la carga máxima en la banda transportadora .....	67
g.	Análisis de simulación de esfuerzos en la banda transportadora .....	68
h.	Tensión en la estructura de la banda transportadora .....	70
i.	Desplazamiento en la estructura de la banda transportadora.....	71
j.	Factor de seguridad en la estructura de banda transportadora .....	72
5.7.2	Análisis de simulación de esfuerzos en los rodillos .....	73
5.7.4.	Análisis de la estructura del modulo .....	82
5.7.5.	Características de las Piezas Didácticas .....	87
a.	Desplazamiento en las piezas didácticas .....	91
5.8.	Implementación del sistema de control del proceso. ....	93
5.8.1	Instalación de las librerías de open CV .....	93
5.8.2.	Implementación de código .....	96
5.8.3.	Control del brazo robótico.....	97
5.8.4.	Ajuste de posiciones.....	99
5.8.5.	Algoritmo para la detección de objetos.....	100
5.8.6.	Reconocimiento de objetos .....	102
a.	Obtención de la imagen.....	103
b.	Filtrado de imagen .....	103

c.	Segmentación .....	104
d.	Identificación.....	107
e.	Control del brazo por puerto serie .....	110
5.8.7.	Unity .....	111
5.9.	Pruebas y análisis de resultados .....	114
5.9.1.	Pruebas .....	114
5.9.2.	Pruebas eléctricas y electrónicas .....	114
5.9.3.	Pruebas de conexión.....	115
a.	Driver de motor paso a paso A4988 .....	117
5.9.4.	Pruebas de comunicación y programación .....	118
5.9.5.	Pruebas de posicionamiento2.....	119
a.	Posicionamiento de la cámara .....	119
b.	Posicionamiento de la banda Transportadora.....	120
c.	Prueba de Carga.....	120
d.	Posicionamiento del brazo robótico .....	120
e.	Pruebas de Luz de Posicionamiento .....	121
5.9.6.	Análisis de resultados.....	124
5.9.7.	Conclusiones y recomendaciones .....	125
a.	Conclusiones .....	125
b.	Recomendaciones.....	126
5.9.8.	Referencias bibliográficas.....	127



ANEXOS.....129

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Preguntas básicas para la solución de problemas .....	35
<b>Tabla 2</b> Características técnicas del Módulo de Visión Artificial.....	41
<b>Tabla 3</b> Selección del brazo robótico .....	42
<b>Tabla 4</b> Análisis de criterios a favor para bandejas.....	44
<b>Tabla 5</b> Análisis de criterios a favor para el Brazo Robótico. ....	45
<b>Tabla 6</b> Análisis de criterios a favor para pantalla de visualización.....	46
<b>Tabla 7</b> Análisis de criterios a favor para pantalla de visualización.....	47
<b>Tabla 8</b> Partes del Módulo .....	50
<b>Tabla 9</b> Descripción del módulo en general .....	55
<b>Tabla 10</b> Tabla de valores del factor de seguridad .....	63
<b>Tabla 11</b> Fuerzas aplicadas a la estructura de la banda.....	68
<b>Tabla 12</b> Propiedades de la estructura en la banda transportadora.....	68
<b>Tabla 13</b> Información de malla de la estructura de la banda.....	69
<b>Tabla 14</b> Características de los rodillos móviles .....	73
<b>Tabla 15</b> Características del rodillo tensor .....	73
<b>Tabla 16</b> Propiedades de material del rodillo .....	74
<b>Tabla 17</b> Información de la malla del rodillo .....	75
<b>Tabla 18</b> Propiedades del material de la Base del Brazo Robótico.....	79
<b>Tabla 19</b> Momento Torsor sobre la estructura de la base del brazo robótico.....	79
<b>Tabla 20</b> Información de la malla de la base del robot.....	79
<b>Tabla 21</b> Información de la carga aplicada.....	83
<b>Tabla 22</b> Propiedades del material en el módulo .....	83

<b>Tabla 23</b> <i>Información de la malla de la estructura del módulo</i> .....	84
<b>Tabla 24</b> <i>Dimensiones de las piezas didácticas</i> .....	87
<b>Tabla 25</b> <i>Características de las piezas según su forma y color</i> .....	88
<b>Tabla 26</b> <i>Propiedades de las piezas didácticas</i> .....	89
<b>Tabla 27</b> <i>Cargas aplicadas en las piezas didácticas</i> .....	89
<b>Tabla 28</b> <i>Información de malla de las piezas didácticas</i> .....	90
<b>Tabla 29</b> <i>Número de bordes acuerdo a su figura a identificar</i> .....	107
<b>Tabla 30</b> <i>Función de carácter o trama</i> .....	110
<b>Tabla 31</b> <i>Partes de la placa de potencia</i> .....	117
<b>Tabla 32</b> <i>Pruebas de posicionamiento</i> .....	121
<b>Tabla 33</b> <i>Pruebas de cámara en el día</i> .....	122
<b>Tabla 34</b> <i>Pruebas de cámara en la tarde</i> .....	123
<b>Tabla 35</b> <i>Pruebas de cámara en la noche</i> .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Elementos de un robot.....	5
<b>Figura 2</b> Componentes de un brazo robótico.....	6
<b>Figura 3</b> Tipos de articulaciones .....	10
<b>Figura 4</b> Esquema principal para la captación de imágenes.....	12
<b>Figura 5</b> Representación Gráfica del Modelo de Color RBG .....	21
<b>Figura 6</b> Imagen de dominio espacial los pixeles 28.....	22
<b>Figura 7</b> Funciones de Operaciones.....	22
<b>Figura 8</b> Operador Identidad.....	22
<b>Figura 9</b> Operador Umbral .....	23
<b>Figura 10</b> Operador escala de grises.....	23
<b>Figura 11</b> Logotipo Unity 3D .....	23
<b>Figura 12</b> a) Servomotor b) Motores paso .....	25
<b>Figura 13</b> Arduino uno .....	26
<b>Figura 14</b> Sistema de Producción Modular (MPS) .....	38
<b>Figura 15</b> Descripción del cada Módulo del Sistema (MPS) .....	38
<b>Figura 16</b> Descripción del Módulo Robotizado .....	39
<b>Figura 17</b> Nivel 0 Análisis Funcional.....	42
<b>Figura 18</b> Nivel 1 del análisis funciones.....	43
<b>Figura 19</b> Nivel 2 desglose del Módulo .....	43
<b>Figura 20</b> Soluciones para las bandejas .....	44
<b>Figura 21</b> Soluciones para el Brazo Robótico.....	45
<b>Figura 22</b> Soluciones para Pantalla de Visualización .....	46
<b>Figura 23</b> Soluciones para Procesamiento de datos .....	47

<b>Figura 24</b>	Esquema del módulo ganador de visión artificial.....	48
<b>Figura 25</b>	Módulo MPS de visión artificial.....	49
<b>Figura 26</b>	Partes del módulo MPS de visión artificial.....	49
<b>Figura 27</b>	Desarrollo del módulo.....	54
<b>Figura 28</b>	Partes del módulo de visión artificial.....	55
<b>Figura 29</b>	Rodillo motriz.....	56
<b>Figura 30</b>	Rodillos móviles.....	57
<b>Figura 31</b>	a) Diseño soporte de la banda b) Construcción del soporte.....	57
<b>Figura 32</b>	a) Diseño acople de rodillos b) Construcción.....	58
<b>Figura 33</b>	a) Diseño de bandejas b) Construcción de bandejas.....	58
<b>Figura 34</b>	Ubicación de los cilindros con la banda transportadora.....	59
<b>Figura 35</b>	a) Diseño del acople del motor b) Construcción.....	59
<b>Figura 36</b>	a) Diseño del montaje del sistema de transporte.....	60
<b>Figura 37</b>	Montaje cámara con la banda transportadora.....	61
<b>Figura 38</b>	Montaje Total.....	61
<b>Figura 39</b>	Banda transportadora Solid Works.....	63
<b>Figura 40</b>	Cinta seleccionada para la banda transportadora.....	64
<b>Figura 41</b>	Mallado de la estructura.....	69
<b>Figura 43</b>	Tensión en la estructura de la banda.....	70
<b>Figura 44</b>	Desplazamiento Máx. y min. Sobre la estructura de la Banda.....	71
<b>Figura 45</b>	Factor de seguridad en la estructura de la banda.....	72
<b>Figura 46</b>	Tensión equivalente ( Von – Mises) del rodillo.....	76
<b>Figura 47</b>	Deformación del rodillo.....	77
<b>Figura 48</b>	Factor de seguridad del rodillo.....	78

<b>Figura 49</b>	Tensión equivalente de la base del robot .....	80
<b>Figura 50</b>	Deformación en la base del robot .....	81
<b>Figura 51</b>	Factor de seguridad en la base del brazo robótico .....	82
<b>Figura 52</b>	Tensión equivalente en la estructura del modulo.....	84
<b>Figura 53</b>	Desplazamiento en la estructura del modulo .....	85
<b>Figura 54</b>	Factor de seguridad en la estructura del modulo.....	86
<b>Figura 55</b>	Modelado de la pieza.....	87
<b>Figura 56</b>	Tensión equivalente (Von – Mises).....	90
<b>Figura 57</b>	Desplazamiento de las piezas didácticas .....	91
<b>Figura 58</b>	Factor de seguridad en las piezas didácticas .....	92
<b>Figura 59</b>	Inclusiones adicionales e Importar librerías opencv. ....	93
<b>Figura 60</b>	Inclusión adicional. ....	94
<b>Figura 61</b>	Direccionar inclusión adicional de openCV.....	94
<b>Figura 62</b>	Aceptar dirección de openCV .....	94
<b>Figura 63</b>	Importar librerías adicionales.....	95
<b>Figura 64</b>	Direccionar librería necesaria .....	95
<b>Figura 65</b>	Direccionar el directorio de las librerías opencv .....	95
<b>Figura 66</b>	Implementación del hardware.....	96
<b>Figura 67</b>	Etapas para el control de clasificación de objetos .....	97
<b>Figura 68</b>	Diagrama de flujo para control manual del brazo robótico.....	98
<b>Figura 69</b>	Algoritmo para el control paralelo en Arduino .....	98
<b>Figura 70</b>	HMI para interacción con el brazo robótico.....	99
<b>Figura 71</b>	Diagrama de bloques del HMI labView. ....	99
<b>Figura 72</b>	Diagrama de flujo detección de objetos y control. ....	100

<b>Figura 73</b>	Diagrama para el reconocimiento de objetos.....	103
<b>Figura 74</b>	Límites para segmentación por color.....	105
<b>Figura 75</b>	Imagen dilatada. ....	105
<b>Figura 76</b>	Imagen erosionada. ....	106
<b>Figura 77</b>	a) Imagen original. b),c), d) segmentación de la imagen .....	106
<b>Figura 78</b>	a) Imagen original. b),c), d) segmentación de la imagen .....	108
<b>Figura 79</b>	Diagrama de flujo de movimientos según forma y color .....	109
<b>Figura 80</b>	Paso1, guardar como. ....	111
<b>Figura 81</b>	Paso 2, Guardar. ....	111
<b>Figura 82</b>	Paso 3. Importar el archivo en 3DS MAX. ....	112
<b>Figura 83</b>	Paso 4, visualización del módulo en 3Ds Max. ....	112
<b>Figura 84</b>	Paso 5, Exportar a FBX. ....	112
<b>Figura 85</b>	Visualización del módulo ensamblado en Unity.....	113
<b>Figura 86</b>	Diagrama de conexión eléctrica.....	114
<b>Figura 87</b>	Esquema del circuito .....	115
<b>Figura 88</b>	Pcb del circuito .....	116
<b>Figura 89</b>	Placa de potencia impresa.....	116
<b>Figura 90</b>	Placa de potencia .....	116
<b>Figura 91</b>	Administrador de dispositivos .....	119
<b>Figura 92</b>	Posicionamiento de la cámara.....	120

## RESUMEN

El presente trabajo se basa en Diseñar e Implementar un módulo didáctico de visión artificial para la selección de objetos según colores y características morfológicas implementando un Brazo Robótico. El proyecto está provisto de un brazo robótico que permitirá la selección, captación y ubicación de elementos de nylon de diferente color y forma ubicando en las diferentes bandejas de clasificación además visualizaremos en una interface gráfica a través de un monitor; para lo cual se utilizó elementos como la tarjeta de procesamiento de datos arduino, una cámara de HD de 1920 x 1080 píxeles para mejorar la visualización de las formas y el color del elemento, una banda transportadora que permitirá el desplazamiento de los elementos. Mediante las imágenes obtenidas por la cámara y procesadas en forma binaria en arduino se obtiene un control automatizado del brazo robótico que permite un movimiento controlado y posicionado en forma adecuada en la bandeja de clasificación correspondiente. El procesamiento de las imágenes utiliza una programación específica para realizar la detección de bordes para obtener los puntos de la imagen que pertenecen a la frontera de la figura deseada debido a las imperfecciones de la imagen se sigue un proceso de filtros en la imagen tales como el escalamiento, la dilatación de la imagen que permite suprimir el fondo de la figura y finalmente la erosión que ayuda a unir u obtener un contorno a la forma deseada. Se ha construido un módulo didáctico de visión artificial implementados elementos como una placa de potencia y control para el brazo robótico, una banda transportadora para que de esta manera el módulo puede trabajar eficazmente obedeciendo los comandos de control que serán enviados por el puerto serial desde la computadora, además se ha desarrollado un código en open source para la selección de objetos según colores, formas y características morfológicas.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **MÓDULO DIDÁCTICO**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **FIGURAS MORFOLÓGICAS**
- **BRAZO ROBÓTICO**



## **ABSTRACT**

The present project is based on Designing and Implementing a didactic module of artificial vision for the selection of objects according to colors and morphological characteristics by implementing a Robotic Arm. The project is equipped with a robotic arm that will allow the selection, capture and location of nylon elements of different colors and shapes, placing them in the different classification trays. In addition, we will visualize in a graphic interface through a monitor; for which elements such as the arduino data processing card, an HD camera of 1920 x 1080 pixels were used to improve the visualization of the shapes and the color of the element, a conveyor belt that will allow the movement of the elements. By means of the images obtained by the camera and processed in binary form in arduino an automated control of the robotic arm is obtained that allows a controlled movement and positioned in an appropriate way in the corresponding classification tray. The processing of the images uses a specific programming to perform the detection of edges to obtain the points of the image that belong to the border of the desired figure due to the imperfections of the image a process of filters is followed in the image such as scaling, the dilation of the image that allows suppress the bottom of the figure and finally the erosion that helps to join or obtain an outline to the desired shape. A didactic module of artificial vision has been built, implemented elements such as a power plate and control for the robotic arm, a conveyor belt so that in this way the module can work efficiently obeying the control commands that will be sent by the serial port from the computer, a code has also been developed in open source for the selection of objects according to colors, shapes and morphological characteristics.

### **KEYWORDS:**

- **Teaching module**
- **Artificial vision**
- **Morphological figures**
- **Robotic arm**

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMÁTICA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema**

Debido a que en el Laboratorio de Hidrónica y Neumática de la Universidad de la Fuerzas Armadas no cuenta con equipos que facilite la selección de objetos dependiendo de su color y característica morfológica mediante visión artificial se ha visto necesario implementar un Módulo Robotizado adicional al Sistema de Producción Modular (MPS).

Esta investigación se basa principalmente en el desarrollo de un nuevo sistema automatizado mediante el uso de visión artificial. La cual ayuda a la revisión de elementos en buen estado y selección de los mismos mediante identificación de colores y formas.

#### **1.2. Antecedentes**

De acuerdo con investigaciones realizadas, hoy en día en Ecuador se ha incrementado el uso de procesos automatizados, las cuales se benefician de manera que aumentan su productividad y la velocidad de desarrollo.

El uso de visión artificial en los procesos de automatización es un componente importante por la gran variedad de utilidades que posee como la detección y

reconocimiento de objetos al igual que la evolución de resultados, así como también muestra gran versatilidad, precisión, repetitividad consistencia y reducción de costes, así como también las cámaras permiten la inspección en cada una de las piezas en vez de muestreos por lotes y cada pieza es consistente al nivel de la calidad de cada una.

La visión artificial ayuda a acelerar el proceso de chequeo y revisión para las diferentes pruebas de calidad que se realizan luego de la salida del producto terminado.

### **1.3. Justificación e importancia**

Con el desarrollo de este proyecto se presenta una aportación académica y didáctica para el desarrollo de procesos de selección de elementos según su color y su característica morfológica, el cual permitirá tener al alcance del Laboratorio de Hidrónica y Neumática un Módulo Robotizado provisto de visión artificial en el Laboratorio de Hidrónica y Neumática de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

- Diseñar e Implementar un módulo didáctico de visión artificial para la selección de objetos según colores y características morfológicas implementando un Brazo Robótico.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Establecer el Estado del Arte para la selección de objetos según colores y características morfológicas.
- Diseñar el Módulo de Selección de Objetos.
- Implementar los dispositivos de potencia y control.
- Seleccionar elementos que se encuentren dentro de un color primario y una forma simétrica.
- Realizar las pruebas en el módulo Robotizado

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. Robótica

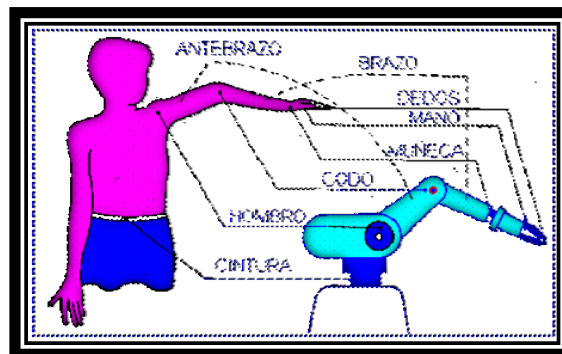
La robótica nace como complemento a la automatización, creando un elemento innovador con un nivel de inteligencia (Mendoza Pérez, Juárez Landín, & Sánchez Ramírez, 2017). Al hablar de automatización se relaciona con sistemas mecánicos, electrónicos e informáticos. Dentro de los sistemas mecánicos se encuentra el uso de robots.

Para complementar con los sistemas de control se han creado módulos como el Arduino que permite interactuar e implementar sistemas a bajo coste. El arduino es una herramienta que permite que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico sobre una plataforma de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador.

Poder usar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores, controlando luces, motores y actuadores físicos permitiendo que esta herramienta sea muy versátil, incluyendo a grandes empresas, como por ejemplo Google.

### 2.1.1. Partes principales de un robot

Un Robot se encuentra formado por una serie de elementos o también conocidos como eslabones acoplados mediante articulaciones que facilitan un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La forma física de los robots actuales permite tener cierta similitud con la anatomía del brazo humano (Ver figura 1)., es decir, que poseen ciertas características antropomórficas, de modo que a los elementos que componen el robot se les puede denominar como cuerpo, brazo, codo muñeca.



**Figura 1.** Elementos de un robot

(Zato, 1994)

#### a) Brazo

El brazo es el elemento de junta entre la muñeca central y el brazo de oscilación.

#### b) Brazo de oscilación

Entre el brazo y la columna giratoria se encuentra montado el brazo de oscilación.

En él se encuentran acoplados los motores y los reductores de los ejes.

### c) Columna giratoria

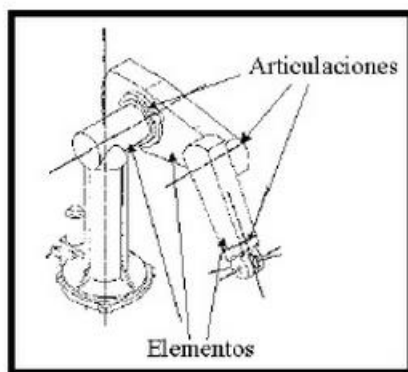
Los movimientos de giro del primer eje son realizados por la columna giratoria que se encuentra atornillada a la base del robot mediante un reductor del primer eje y es accionado por un motor instalado en la base del robot.

### d) Base del robot

La base del robot está formada por el bastidor. Forma la interfaz para los cables y tuberías de unión entre la mecánica del robot y la unidad de control y la alimentación de energía.

### e) Componentes

El componente principal lo constituye el manipulador, el cual consta de varias articulaciones y sus elementos. (Ver figura 2)



**Figura 2.** Componentes de un brazo robótico

(Barrientos, 2007)

### **f) Manipulador**

Está formado por una serie de elementos sólidos o también llamados eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos.

Los elementos que conforman el manipulador reciben los nombres de:

- Cuerpo
- Brazo
- Muñeca
- Efector final (conocido comúnmente como sujetador o gripper)

### **g) Controlador**

Es la parte principal del robot, se puede controlar desde un autómata programable (PLC) para los menos avanzados hasta un mini ordenador numérico o microprocesador, para los robots más avanzados.

Este componente controla cada uno de los movimientos del manipulador, las acciones, cálculos y procesamiento de la información. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas y almacena programas. Existen varios grados de control que son función del tipo de parámetros que se regulan, lo que da lugar a los siguientes tipos de controladores:

- Posición
- Cinemático
- Dinámico y
- Adaptivo.



El controlador, es la parte principal del robot contiene en su descripción:

- **Un modelo de robot físico:** Comprende las partes constitutivas del robot
- **Un modelo del entorno:** Descripción de lo que se encuentra en el espacio de trabajo.
- **Programas:** Permite comprender las tareas que se le pide que realice algoritmos de control.

### 2.1.2. Características generales de los robots.

#### a) Grados De Libertad

Cada articulación proporciona al robot de al menos un '*grado de libertad*', cada uno de los movimientos independientes que puede realizar en el brazo robótico.

#### b) Espacio o volumen de trabajo

El espacio de trabajo de un robot es el espacio el cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el espacio de trabajo no se toma en cuenta el actuador final o gripper.

#### c) Repetitividad

Se refiere al punto al cual se repite durante varios movimientos. Se mide en el error máximo realizado en el posicionamiento de un robot en un mismo punto.

**d) Precisión**

Capacidad de un robot de situar el extremo de su muñeca en un punto determinado del espacio de trabajo. Normalmente hay más precisión cerca de la base, tanto por razones geométricas como mecánicas además de aquello la carga afecta a la precisión.

**e) Capacidad de carga**

Se refiere al peso, en kilogramos, que puede movilizarse en el manipulador. Es una de las características principales que se toma en cuenta para realizar la selección correcta del brazo robótico y cuál va a hacer su función.

**f) Velocidad**

Es la rapidez a la que trabaja el robot con respecto al trabajo a realizar.

**g) Sensores Internos:**

Son elementos usados para el control de posición y velocidad de las diferentes articulaciones del robot

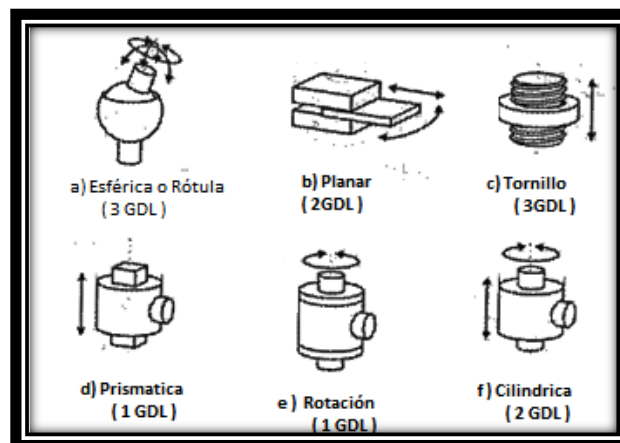
**h) Sensores Externos:**

Permiten coordinar la operación de los trabajos. Reaccionan inteligentemente a los cambios del entorno como obstáculos, presencia de una pieza.

### 2.1.3. Tipos de articulaciones

Según la figura 3 los tipos de articulaciones se tiene al menos 6 tipos diferentes de articulaciones (ver figura 3):

- a) Esférica o Rótula (3 GDL)
- b) Planar (2 GDL)
- c) Tornillo (1 GDL)
- d) Prismática (1 GDL)
- e) Rotación (1 GDL)
- f) Cilíndrica (2 GDL)



**Figura 3.** Tipos de articulaciones

(Barrientos, 2007)

### 2.1.4. Riesgos en el manejo de robots

- Riesgo de colisión entre hombre-máquina
- Riesgo de proyección los operarios pueden ser alcanzados por piezas que el robot deje caer.
- Riesgos en el espacio de trabajo.

### **2.1.5. Seguridades para manipular robots**

- Determinación del espacio y tiempos de trabajo.
- Identificación y descripción de todos aquellos peligros que pueda generar la máquina durante las fases de trabajo.
- Definición del riesgo de que se produzca el accidente.
- Comprobar que las medidas de seguridad son adecuadas.

### **2.2. Visión artificial.**

La tecnología de visión artificial es una disciplina relativamente reciente que tuvo su introducción en la industria en la década de los años 80.

Se aplicó en sistemas cuyo proceso se basa en tecnología del PC, se beneficia de los rápidos avances informáticos y de redes. Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. (INGenING/Visión artificial; 2012)

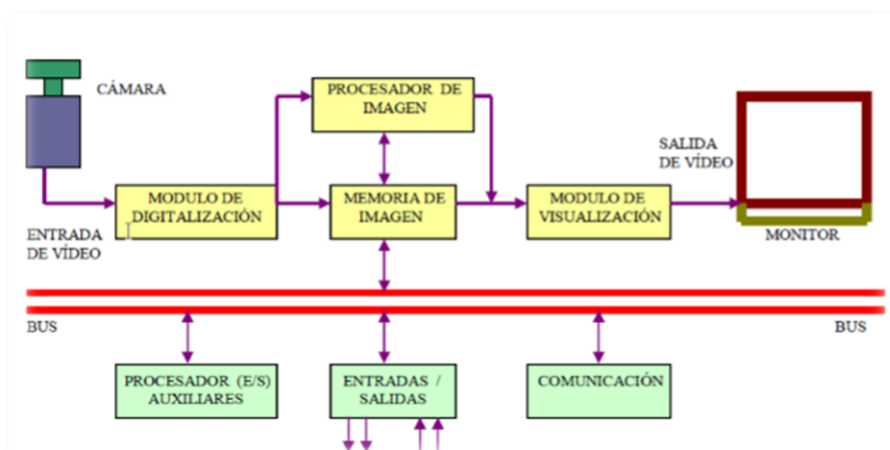
La Visión Artificial engloba la informática, la óptica, la ingeniería mecánica y la automatización industrial. A diferencia de la Visión Artificial académica, que se centra principalmente en máquinas basadas en el procesamiento de imágenes, las aplicaciones de Visión Artificial industrial integran sistemas de captura de imágenes digitales, dispositivos de entrada/salida y redes de ordenador para el control de

equipos destinados a la fabricación, tales como brazos robóticos. (INGenING/Visión artificial; 2012)

La visión artificial permite en la detección de imágenes a través de cámaras para su posterior procesamiento a través de técnicas de modelación, permitiendo así poder intervenir sobre un proceso o producto por ejemplo la detección de unidades defectuosas, para el control de calidad y seguridad de toda la producción.

Un sistema de visión artificial contiene (ver figura 4):

- Capta una imagen de un objeto real
- La convierte en formato digital
- La procesa mediante un ordenador
- Obtiene unos resultados del proceso



**Figura 4.** Esquema principal para la captación de imágenes.

(Universidad de Madrid, 2012)

**a) Módulo de digitalización**

Transforma una señal analógica captada por la cámara a una determinada señal digital para realizar su procesamiento más adelante.

**b) Memoria de imagen.**

Almacena la señal que se obtiene del módulo de digitalización.

**c) Módulo de visualización.**

Convierte la señal digital procedente de memoria, en señal de vídeo analógica para lograr visualizarse en el monitor.

**d) Procesador de imagen.**

Procesa e interpreta las imágenes captadas por la cámara.

**e) Módulo de entradas/salidas.**

Administra el emparejamiento de la señal de entrada de la imagen captada y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos en función del resultado de la inspección.

**f) Comunicaciones.**

Permite comunicación Vía I/O, o a través de Ethernet.

**g) La visión artificial permite:**

- Automatizar tareas que se repitan por ejemplo la inspección realizadas por los operarios.
- Realizar controles de calidad que tradicionalmente son procesos complicados de realizar.
- Realizar inspecciones de elementos sin contacto físico.
- Realizar la inspección de calidad total de la producción a gran velocidad.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.

**h) Características principales en un sistema de visión artificial**

- Miden nivel de luz
- Localiza bordes y formas
- Analizan color
- Permite analizar un objeto en movimiento.
- Visualiza elementos a altas velocidades.
- Utilizan Software permitiendo flexibilidad en la programación.
- Utiliza un entorno de máquinas y redes para mejorar el desempeño del proceso.

**i) Aplicaciones de la visión artificial**

La visión artificial permite aplicarse en diversos entornos como el industrial, académico, alimenticia, electrónica, farmacéutica. Las aplicaciones de Visión Artificial se pueden definir en tres categorías:

- Control de procesos
- Control de calidad
- Aplicaciones no industriales (por ejemplo, control del tráfico, académico.)

### **2.3. PC**

El PC permite tomar cualquier decisión ya que permite interactuar con todos los elementos que conforman el sistema, se encarga recolectar la información y mostrar las imágenes capturadas, además de procesarlas para finalmente realizar el proceso requerido. Las tareas a realizar pueden ser:

- Recibir las señales para que se pueda realizar correctamente la captura de imágenes.
- Permitir la lectura de las imágenes.
- Procesar los datos proporcionados por las cámaras para realizar el análisis de imagen.
- Realizar la comunicación hombre-máquina.
- Comunicar con los sistemas productivos, para detener el proceso en caso de la aparición de algún defecto o emergencia.
- Controlar el buen funcionamiento de todos los elementos hardware.

### **2.4. Librerías para visión artificial**

Para realizar un desarrollo de un sistema o proyecto de visión artificial, se debe contar con una librería central; siendo recomendable conocer cada una de ellas, y aplicar la que mejor compagine con el proyecto a desarrollar; entre las conocidas tenemos:



## **2.5. OpenCV:**

The Open Source Computer Vision Library (OpenCV), es una librería de visión por computador de código abierto; es amigable con todos los sistemas operativos existentes tales como Windows.

Fue diseñado para el tratamiento, captura y visualización de imágenes en áreas como interacción hombre-máquina, robótica, monitorización, segmentación y reconocimiento de objetos.

El conjunto de librerías de Open CV se puede agrupar según las siguientes características:

- Estructuras y operaciones básicas.
- Procesamiento y análisis de imágenes.
- Análisis estructural: geometría, procesamiento del contorno.
- Análisis del movimiento y seguimiento de objetos: plantillas de movimiento, seguidores.
- Reconocimiento de objetos.
- Reconstrucción tridimensional: detección de objetos, seguimiento de objetos tridimensionales.
- Interfaces gráficos de usuarios y adquisición de video.

### **2.5.1. Resolución de una imagen.**

La resolución de una imagen es la cantidad de píxeles que la componen. Suele medirse en píxeles por pulgada (ppi) o píxeles por centímetro (pcm). Cuanto mayor es

la resolución de una imagen más calidad tendrá su presentación, pero, desgraciadamente, más espacio ocupará en el disco el archivo gráfico que la contiene.

### **2.5.2. Transformada de la Imagen**

Son operaciones que convierten imágenes desde una representación hacia otra diferente con el objetivo de hacer más evidente algún tipo de información existente de la imagen. Generalmente luego de una transformación sigue un proceso de umbralización para extraer las características más relevantes de la nueva representación.

### **2.5.3. Segmentación de imágenes.**

Es un proceso que permite extraer información de una imagen; consiste en dividir a dicha imagen en diferentes regiones o áreas de acuerdo a un criterio que esta dado en función de lo que se busca en la imagen, con esto se trata de separar las regiones de interés para posteriormente someterlas a un análisis o simplemente presentarlas.

En la visión por computador la segmentación es el proceso de dividir una imagen digital en múltiples segmentos. Su objetivo es simplificar y/o cambiar la representación de una imagen en algo que sea más significativo y fácil de analizar.

Por lo tanto, la segmentación es el proceso de asignar una etiqueta a cada pixel de una imagen, así cada pixel con una misma etiqueta comparte ciertas características visuales, tales como líneas, curvas, colores, entre otras.

Primero se debe recorrer la imagen y buscar en todos los píxeles de la imagen, calculando si son o no del color deseado.

¿Cómo saber si por ejemplo es rojo?

En primer lugar, se debe saber qué datos característicos tiene dicho color, su dato más característico será que el canal con mayor valor será el del rojo., también hay que tener en cuenta que los valores de los otros canales no sean muy altos, por lo menos no lo suficiente como para acercarse al valor del canal del rojo, ya que estos valores podrían corresponder a colores como el morado o el naranja.

#### **2.5.4. Segmentación por umbral (Thresholding).**

La segmentación por umbral es una técnica de segmentación de imágenes, en la que se elige un valor de umbral y se recorre cada uno de los píxeles de una imagen.

Aquellos píxeles cuyo valor sea mayor o igual al umbral elegido, serán denominados “píxeles de primer plano”, mientras que aquellos con un valor por debajo del umbral, se denominarán “píxeles de segundo plano”; a este tipo de segmentación se le denomina “umbral por encima”.

Existen también “umbral por debajo”, el cual es el opuesto al de “umbral por encima”; “umbral por dentro” y “umbral por fuera”. La técnica de “umbral por dentro”, consiste en elegir un umbral menor y uno mayor, aquellos píxeles que se encuentren dentro de este rango serán los píxeles de primer plano, mientras que los que estén

por fuera, serán los de segundo plano; la técnica de “umbral por fuera”, es la opuesta a la de “umbral por dentro”.

Como ejemplo de detección de píxeles de color rojo en OpenCV, se emplearía la técnica de umbral por encima, con un valor de 80 para el canal rojo, así como también un umbral por debajo con un valor de  $[\text{Valor Canal Rojo} / 2]$  para los canales verde y azul.

#### **2.5.5. Ruido.**

El ruido, en una imagen, es una variación aleatoria de información de brillo o color. Puede ser producido por los circuitos de un scanner o una cámara digital. El ruido de una imagen también puede darse al aplicar una técnica de umbral, en la que píxeles con demasiado brillo, son el resultado de una segmentación de umbral por encima, y píxeles demasiado oscuros, son el resultado de una segmentación de umbral por debajo.

#### **2.5.6. Suavizamiento (Smoothing).**

Suavizar un conjunto de datos (píxeles), es la reducción de la cantidad de variaciones de intensidad entre píxeles vecinos, eliminando el ruido de la imagen. El procedimiento consiste en encontrar los valores máximo y mínimo de intensidad para cada uno de los píxeles que se encuentran alrededor de un píxel a analizar (píxel central).

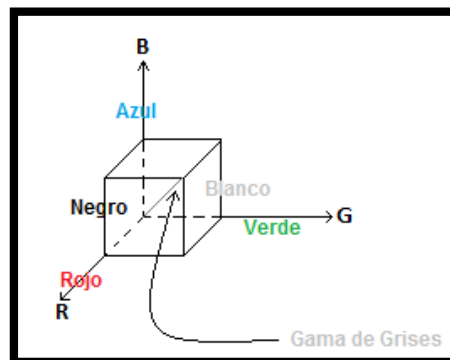
Si la intensidad del pixel central está dentro del rango de sus vecinos, no se realiza cambio alguno. Si la intensidad del pixel central es mayor que el valor máximo, el pixel central toma el valor del máximo. Si la intensidad del pixel central es menor que el valor mínimo, dicho valor es asignado al pixel central. En OpenCV, el suavizamiento de una imagen se hace de manera sencilla mediante la función `cvSmooth ()`.

### **2.5.7. Detección de bordes.**

La detección de bordes consiste en identificar los puntos de una imagen digital, en la cual su brillo tenga discontinuidades. Esto se hace mediante el cálculo de la primera y segunda derivada, el resultado de aplicar la detección de bordes a una imagen puede reducir significativamente la cantidad de datos a ser procesados y así dejar por fuera información que puede ser catalogada como menos relevante y preservar las propiedades estructurales importantes de la imagen.

### **2.5.8. Espacio de color**

Modelo RGB es uno de los modelos más utilizados por los sistemas informáticos, con el que es posible representar un color mediante una mezcla de los tres colores de luz primario y reproducir los colores en el monitor. Está basado en la síntesis aditiva de las intensidades de luz relativas al rojo, al verde y al azul para conseguir los distintos colores; por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes incluyendo el negro y el blanco. El nombre del modelo RGB viene de las iniciales, en inglés, de esos tres colores: Red, Green y Blue (ver figura 5).



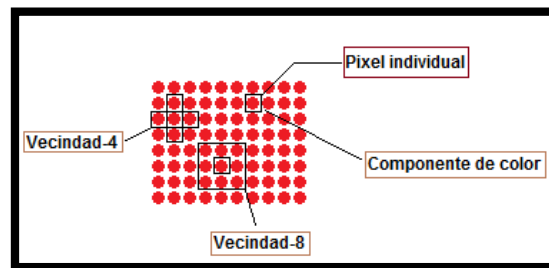
**Figura 5.** Representación Gráfica del Modelo de Color RGB

(Pantone, 2016)

La representación gráfica del modelo RGB (ver figura 2.12) se realiza mediante un cubo unitario con los ejes R, G y B. El origen (0, 0,0) representa el negro y las coordenadas (1, 1,1) el blanco. Los vértices del cubo en cada eje R, G y B, de coordenadas (1, 0,0), (0, 1,0) y (0, 0,1) representan los colores primarios rojo, verde y azul. Los restantes tres vértices (1, 0,1), (0, 1,1) y (1, 1,0) al magenta, cian y amarillo respectivamente, colores secundarios y respectivamente complementarios del verde, rojo y azul. La diagonal del cubo representa la gama de grises desde el negro al blanco. En esta diagonal cada punto o color se caracteriza por tener la misma cantidad de cada color primario. Las imágenes con modelo RGB utilizan tres planos de imágenes independientes, uno para cada color primario. Cuando estas tres imágenes son proyectadas a un monitor RGB, la pantalla de fósforo produce una imagen de color compuesto. Para el desarrollo del proyecto se usará una cámara de color para adquirir imágenes digitales, utilizando el formato RGB.

## 2.6. Procesamiento de Imágenes

Cuando se está procesando una imagen en el dominio espacial los píxeles son manipulados en el plano de la imagen, y la generación de un nuevo será una función del valor de cada píxel o del grupo de vecindad.

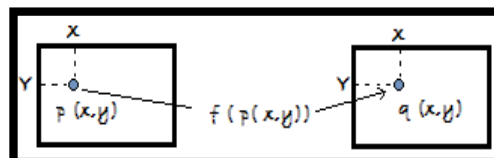


**Figura 6.** Imagen de dominio espacial los píxeles 28

(Pantone, 2016)

### a) Operaciones Individuales

Se genera una nueva imagen de salida  $q$  a partir del procesamiento de cada píxel de una imagen de entrada  $p$ , descripción grafica ver (fig.7)

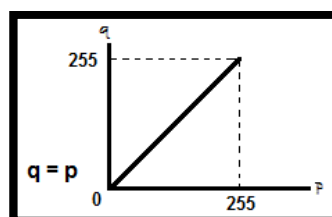


**Figura 7.** Funciones de Operaciones

(Pantone, 2016)

### b) Operador Identidad

Se crea una imagen de salida  $q$ , idéntica a la entrada  $p$ .

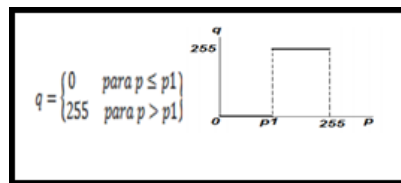


**Figura 8.** Operador Identidad

(Pantone, 2016)

### c) Operador Umbral

Crea una imagen de salida  $q$  con resolución en amplitud 1bpp (binarizada), a partir de un umbral.

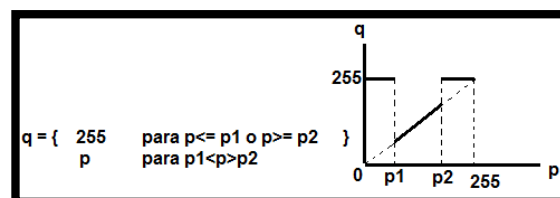


**Figura 9.** Operador Umbral

(Fuente: Pantone Inc. 2016)

### d) Operador de umbral

En escala de grises Crea una imagen de salida  $q$  donde permanecen los pixeles con niveles de gris en el intervalo definido por  $p_1$  y  $p_2$ .



**Figura 10.** Operador escala de grises

(Pantone, 2016)

## 2.7. Fundamentos de Unity



**Figura 11.** Logotipo Unity 3D

(UNITY, 2019)



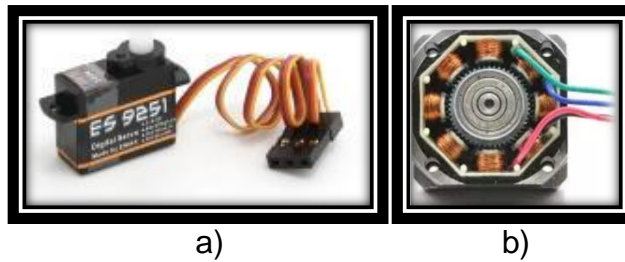
Unity puede usarse junto 3DS Max, Maya, Blender, Cinema 4D, etc. Los cambios realizados a los objetos creados con este software se actualizan automáticamente en todas las instancias de ese objeto durante todo el proyecto sin necesidad de volver a importar manualmente.

EL motor gráfico utiliza Direct3D (en Windows), OpenGL (Mac y Linux), OpenGL ES (Android y iOS). Tiene un soporte para mapeado de relieve, reflexión, sombras, etc. Permite trabajar con varios lenguajes de programación, la implementación está basada en scripts los cuales pueden ser reproducidos mediante Java Script, C# .

Unity contiene un editor de código integrado. Otro de los puntos fuertes de Unity es que soporta gran cantidad de paquetes 3D y texturas de múltiples extensiones, también soporta la creación de redes y juegos en línea.

Permite realizar tanto videojuego en 2D y en 3D. El principal punto fuerte de Unity es que tiene una versión Free, que contiene gran cantidad de características, aunque también tenemos la versión Unity Pro que contiene características adicionales como render a textura, determinación de cara oculta, iluminación global y efectos de postprocesamiento. La versión gratuita, por otro lado, muestra la pantalla de bienvenida y una marca de agua que no se puede personalizar o desactivar. Tanto Unity como Unity pro incluyen el entorno de desarrollo, tutoriales, ejemplos de proyectos y de contenido.

## 2.8. Servomotores y Motores paso a paso



**Figura 12.** a) Servomotor b) Motores paso

(Francisco Conti. 2013)

### a) Servomotores

Un servomotor de modelismo es un dispositivo actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición. Está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa.

Los servos RC convierten los comandos electrónicos del receptor en movimientos físicos que se trasladan a los mandos de los modelos (por ejemplo en un avión rc: alerones, elevador, etc.). Los servos se conectan a un canal específico del receptor para mover una parte específica del modelo rc y ejercerá un movimiento proporcional al movimiento que impongamos a los sticks de la radio. (rctecnic, 2014) Los servos de modelismo se utilizan frecuentemente en sistemas de radiocontrol y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. En la Figura 4 podemos observar un servomotor de aeromodelismo.

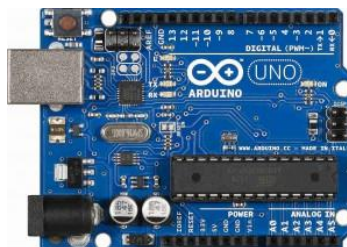
## b) Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de  $1.8^\circ$ .

Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

## 2.9. Arduino



**Figura 13.** Arduino uno

(Blum, 2013)

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un puerto USB, un puerto para alimentación, además permite realizar un reseteo si fuera necesario. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Antecedentes Investigativos

Los sistemas de visión artificial se han desarrollado significativamente mediante la tecnología que se tiene en años actuales permitiendo de esta manera una investigación más a fondo en lo que se trata de visión artificial.

De este modo ha existido cambios que permiten mejorar los procesos aplicando herramientas de visión artificial aportando mayor eficiencia y calidad en sistemas que anteriormente eran complicados de supervisar; como ejemplo podemos citar lo siguiente:

- Inspección eficiente y continua
- Supervisión al 100 % de un producto
- Revisión en tiempo real

#### ¿Dónde se utiliza?

Mercados emergentes:

- Transporte / Guiado de vehículos
- Identificación facial, Biometría
- Industria del cine
- Inspección de madera
- Aplicaciones en el infrarrojo

- Sistemas 3D
- Aplicaciones en el rango no-visible
- Aplicaciones de tráfico
- Marketing
- Ocio y entretenimiento

### **¿Cuándo se implementa?**

Los sistemas de visión hasta hace poco tiempo eran una apuesta por la innovación y por la calidad en el proceso de fabricación.

En la actualidad un sistema de visión es una necesidad referente a la calidad del producto y a la reducción de costes a nivel productivo. La innovación sigue existiendo pero a un nivel de aplicación más exigente. En muchos casos la visión viene impuesta por el cliente final.

### **¿Quién los utiliza?**

El usuario típico de un sistema de visión era un experto en la materia.

Tanto los sistemas de visión como sus aplicaciones estaban orientadas a un perfil muy técnico y con amplios conocimientos tanto en el hardware específico como en el proceso a controlar.

Actualmente existen productos de visión que se pueden poner en funcionamiento por usuarios no expertos con una cierta formación respecto al producto. Los interfaces

gráficos y la simplicidad en las cámaras han orientado la visión a este tipo de procesos a controlar. (Infaimon Héctor Ruiz, 2011)

Los sistemas de visión artificial también son utilizados en la Industria Alimenticia, y es aquí donde capturan las imágenes de las frutas que se desplazan sobre la cinta transportadora. El sistema de visión es capaz de clasificar la fruta según su forma o tamaño, y determinar su grado de maduración a través del color.

Los sistemas de inspección de alimentos frescos en Europa tienen una gran aceptación y difusión. La adopción de estos sistemas ha sido determinada principalmente por dos factores: el envejecimiento de los trabajadores, que tiene como resultado el hecho de que haya menos personas disponibles para este tipo de trabajo de clasificación, y los altos costes laborales en los países desarrollados.

Consecuentemente ha habido, en los últimos años, un gran número de compañías, que han fabricado máquinas de clasificación de alimentos en los países desarrollados, pero que a su vez empiezan a exportarlas a los países en vías de desarrollo, ya que el producto clasificado, habitualmente, tiene su mercado en Europa y Estados Unidos y estos países solicitan la máxima calidad. (Grupo Infaimon, 2017).

### **3.2 Modalidad de la Investigación**

A continuación, en el siguiente proyecto se define una relación entre el diagnóstico, el problema y la solución de tal forma que al responder dos preguntas que resultan importantes: ¿Cuál es el problema? Y ¿Cómo se solucionar el problema? Para aquello se sigue un proceso que permita elaborar el proyecto y se describe de la siguiente forma:

- Inicialmente se empieza realizando una investigación bibliográfica, recolección de información y criterios que permita usar para tener más claramente cuál es el problema y de qué manera solucionarlo.
- Como siguiente punto se utiliza el método de campo el cual a través de la información recolectada permitirá que el diseño tenga un nuevo matiz de soluciones a la problemática planteada.
- Como consecuencia de lo anterior es necesario aplicar el método experimental que permite relacionar la parte investigativa y el diseño en un módulo didáctico.

### **3.3 Tipos de Investigación**

#### **3.3.1. Investigación Bibliográfica**

Para iniciar el proyecto es necesario empezar con la recolección de información a través de tesis realizadas previamente, artículos científicos, libros de ingeniería que expliquen acerca del tema que permitirá obtener la información necesaria para determinar el problema y la solución e iniciar con la elaboración del módulo de visión artificial.



La selección de colores y formas busca procesar las imágenes a través de una serie de procesos como el escalamiento, dilatación, erosión para la correcta selección y ubicación de las piezas.

### **3.3.2. Investigación de método Investigativo documental**

Este método permite realizar una Investigación y estudio de los elementos que se utilizará en el proyecto mediante información recolectada en el proceso anterior y teniendo muy en claro la similitud de proyectos con estas características de visión artificial y que finalmente será implementado en el Laboratorio de Hidrónica y Neumática a través de un módulo didáctico.

### **3.3.3. Método De Campo**

Mediante la información obtenida se establecerá las características de los elementos que se van a utilizar implicando el correcto diseño del proyecto.

### **3.3.4. Método Experimental**

Por medio del método experimental se realiza la implementación de un Módulo Robotizado y gracias a la información recolectada pudimos seleccionar el número de grados de libertad del robot, la resolución de la cámara, el tipo de controlador, el tipo de software apropiado para su lenguaje de programación, así como su interfaz gráfica de tal forma que integrando la investigación con la parte del diseño se logra la demostración de la aplicación en función de un prototipo.

### 3.3.5. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación dará las pautas necesarias para responder el problema planteado a través de pruebas que relacione los objetivos con el problema y que finalmente permitirá una solución cumpliendo cada objetivo planteado.

Como objetivo principal el proyecto se centrará en el diseño e implementación de un módulo didáctico de visión artificial para la selección de objetos según colores y formas implementando un brazo robótico como complemento del sistema de producción modular (MPS) existente en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.

El sistema proveerá información al brazo robótico permitiendo la selección, captación y la ubicación de los elementos seleccionados ubicando en las diferentes bandejas de clasificación para cada forma y color, además podremos visualizar en una interface gráfica a través de una pantalla; para lo cual se utilizarán elementos como la tarjeta de procesamiento de datos arduino, una cámara para obtener una mejor visualización de las formas y el color del elemento, una banda transportadora que permitirá el desplazamiento de los elementos, un brazo robótico de 7 GDL, y un CPU.

El procesamiento de las imágenes utiliza una programación específica para realizar la detección de bordes para obtener los puntos de la imagen que pertenecen a la frontera de la figura deseada debido a las imperfecciones de la imagen se sigue un proceso de filtros en la imagen tales como el escalamiento, la dilatación de la imagen que permite suprimir el fondo de la figura y finalmente la erosión que ayuda a unir y

obtener un contorno el más similar a la forma deseada.

### **3.4. Niveles de la Investigación**

#### **3.4.1. Exploratoria**

Como primer nivel de la investigación se explora el problema que existe en el Sistema de Producción Modular instalado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga y que se da a notar una fase faltante para desarrollar un proceso completo que cumpla con la identificación y selección de piezas y que gracias a este análisis se obtiene una idea que permita finalmente desarrollar el proyecto.

#### **3.4.2. Descriptiva**

A continuación, en este nivel se desarrolla el planteamiento de la hipótesis que se encontró mediante la investigación y la exploración realizada previamente, con esto se logra definir el proceso que permitirá cumplir correctamente con la identificación y selección de los elementos según su forma y color y de esta manera desarrollar paso a paso el proyecto.

#### **3.4.3. Investigación explicativa**

Finalmente, este nivel permite definir cada paso de diseño y construcción del proyecto; explicar las causas que originaron el estudio para desarrollar este proyecto con el fin de responder las siguientes incógnitas ¿Cuál es el problema? Y ¿Cómo solucionarlo?

### 3.4.4. Población y Muestra

Mediante el análisis del proyecto que surgió a través de una serie de preguntas (ver tabla 1) lograremos una solución resolviendo cada incógnita encontrada.

**Tabla 1**

*Preguntas básicas para la solución de problemas*

Preguntas básicas	Respuestas obtenidas
1 ¿Para qué?	Para identificar y seleccionar formas y colores
2 ¿De qué personas u objetos?	Del Sistema de Producción Modular
3 ¿Sobre qué aspecto?	Sobre visión artificial
4 ¿Quién/es?	Investigadores
5 ¿Cuándo?	2019
6 ¿Dónde?	En el laboratorio de Hidrónica y Nematica del Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Latacunga
7 ¿Cuántas veces?	Una Vez
8 ¿Qué técnicas?	Diseño, Construcción y Pruebas
9 ¿Con qué?	Módulo Didáctico de visión artificial
10 ¿En qué situación?	En un proceso continuo de funcionamiento

## 3.5. Técnicas de Recolección de datos

### 3.5.1. Observación de Laboratorio

A través de técnicas de observación en los diferentes Laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga se logra determinar una correcta selección de elementos necesarios para el funcionamiento adecuado del Módulo de visión

artificial que permita realizar posteriormente las pruebas identificando seleccionando y ubicando las piezas didácticas en su bandeja correspondiente.

### **3.5.2. Instrumentos de medición**

Para obtener los datos necesarios la cámara utilizada en visión artificial requiere de una serie de características que permitan el control del disparo de la cámara para capturar piezas que pasan por delante de ella en la posición requerida. La iluminación es la parte más crítica dentro de un sistema de visión por lo tanto las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos, para realizar un control más eficiente es necesario tener en cuenta la cantidad de luz o iluminación que posteriormente permita ver objetos mediante la cámara mucho más nítidos y con mayor claridad.

### **3.5.3. Técnicas de análisis de datos**

Procesos de bajo nivel: se refieren a operaciones primitivas como es la captura o adquisición de imágenes y el preprocesamiento de imágenes para reducir el ruido, mejorar el contraste y nitidez de la imagen. Una característica importante de estos procesos es que sus entradas y salidas o resultados son imágenes.

Procesos de nivel medio: se refieren a operaciones como la segmentación y la descripción de los objetos individuales presentes en una escena para reducirlos a una forma adecuada para su tratamiento informático, reconocimiento y clasificación de estos.

Un rasgo importante de estos procesos es que sus entradas son generalmente imágenes, pero sus resultados son características extraídas de las imágenes como bordes, contornos o la identidad de los objetos presentes en las imágenes.

Procesos de nivel superior: se refieren a operaciones que reconocen un conjunto de objetos en la imagen y realizan funciones cognitivas que normalmente se asocian con la visión, conocido como el proceso de interpretación.

#### **3.5.4. Técnicas de comprobación de la Hipótesis**

Mediante las imágenes obtenidas por la cámara y procesadas en forma binaria en arduino se obtiene un control automatizado del brazo robótico que permite un movimiento controlado y posicionado en forma adecuada según su bandeja de clasificación correspondiente.

El procesamiento de las imágenes utiliza una programación específica para realizar la detección de bordes para obtener los puntos de la imagen que pertenecen a la frontera de la figura deseada debido a las imperfecciones de la imagen se sigue un proceso de filtros en la imagen tales como el escalamiento, la dilatación de la imagen que permite suprimir el fondo de la figura y finalmente la erosión que ayuda a unir u obtener un contorno el más similar a la forma deseada

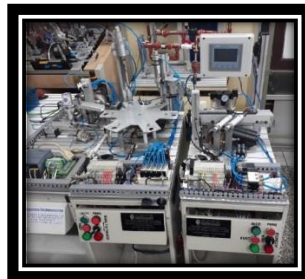
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

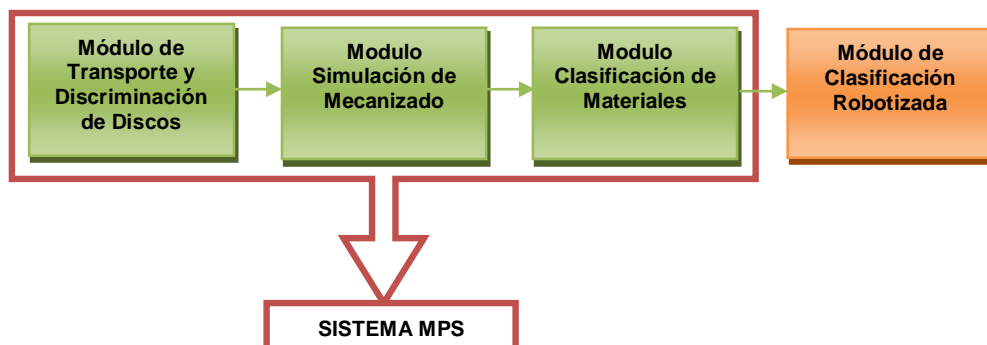
En el presente capítulo con los resultados obtenidos se procederá a seleccionar y analizar los equipos necesarios que posteriormente serán utilizados para la implementación del proyecto.

#### 4.1 Análisis de resultados

En el siguiente proyecto de investigación se centrará principalmente en la implementación de un Módulo Robotizado adicional al Sistema de Producción Modular (MPS) que permita la selección de elementos según su color y característica morfológica utilizando visión artificial.

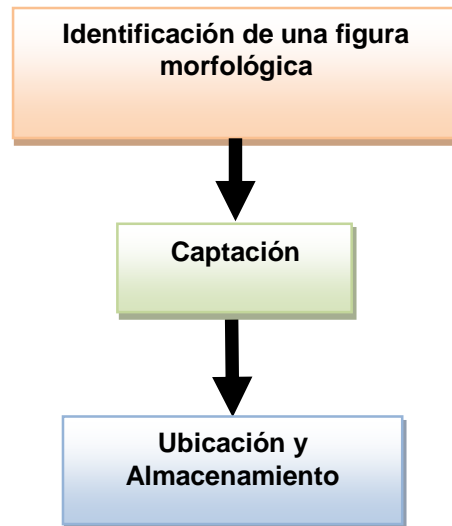


**Figura 14.** Sistema de Producción Modular (MPS)



**Figura 15.** Descripción del cada Módulo del Sistema (MPS)

El sistema proveerá información al brazo robótico permitiendo la selección, captación y la ubicación de los elementos seleccionados además podremos visualizar en una interface hombre- máquina (HMI) el proceso.



**Figura 16.** Descripción del Módulo Robotizado

#### 4.1.1 Necesidades técnicas del Sistema de Producción Modular

Según las especificaciones técnicas del Sistema de Producción Modular se concluye lo siguiente:

- Fácil Implementación
- Confiabilidad en el Equipo
- Funcionamiento rápido y sencillo
- Aprendizaje de nuevas técnicas de Visión Artificial (UNITY)
- Interacción amigable con el Módulo y su software
- Espacio reducido
- Mantenimiento reducido
- Comunicación estable entre software y hardware



- Velocidad de procesamiento de datos
- Visualización real y digital del robot según la programación planteada
- Programación Visual C++ y Librerías Open CV

#### **4.1.2 Conclusiones para el diseño del Módulo**

Finalizada las especificaciones técnicas del Sistema de Producción Modular se determinó características que requieren ser consideradas para realizar el diseño del Módulo:

- Forma del Módulo Base
- Accionamiento del Brazo Robótico Manual/automático
- Números de GDL para el Brazo robótico
- Resolución de la Cámara
- Elemento de accionamiento de la banda transportadora ( Motor paso a paso)
- Forma de la estructura de las Bandejas de clasificación
- Voltaje de alimentación AC 110V 60 Hz
- Regulador del Voltaje AC/DC 110 V AC / 12 V DC
- Convertidor DC/DC 12 Vdc / 7 Vdc hasta 10 Amp.
- Driver para la alimentación del Motor paso a paso

## 4.2 Determinación de las especificaciones técnicas

En la tabla 2 se detalla las características técnicas del Módulo de Visión Artificial.

**Tabla 2**

### *Características técnicas del Módulo de Visión Artificial*

<b>Laboratorio:</b>	<b>Hidronica y Neumática</b>	<b>Producto:</b>	<b>Módulo de Visión Artificial</b>	<b>Fecha Inicial:</b> 03/04/2018 Última revisión: 04/10/2018
<b>Diseñadores:</b> Morales C. Guillermo A. Córdova D. Edgar G.				
<b>CONCEPTO</b>	<b>FECHA</b>	<b>PROPONE</b>	<b>R/D</b>	<b>DESCRIPCIÓN OPERADOR</b>
<b>DISEÑO</b>		D/F	R	*incorpora* Módulo Y Sistema de Clasificación
		E/F	R	Para clasificación de Objetos según colores y formas:
		D/F	R	12 piezas circulares 4 cm $\Phi$ / 4g c/u Colores: Azul/Amarillo/Blanco Formas : Estrella/ Cuadrado/Triangulo/Hexágono Medidas Modulo: Ancho : 37 cm Largo: 71 cm Alto: 68 cm
<b>ENERGÍA</b>		D/R	R	Tipo de Accionamiento: Automático Voltaje de alimentación AC 110V 60 Hz Regulador del Voltaje AC/DC 110 V AC / 12 V DC Convertidor DC/DC 12 Vdc / 7 Vdc hasta 10 Amp
<b>CONTROL</b>		E/F	R	CPU Atravez de la Programación en OPEN CV Compilación en Visual C++
<b>TECNOLOGÍA</b>		D/F	D	CPU ( Panel de Control )
		D/F	D	Brazo Robótico 6 GDL
		D/F	D	Cámara HD 1080p hasta 1920 x 1080 píxeles
		D/F	D	Arduino UNO
		D/F	D	Motor paso a paso
<b>SIMULACIÓN</b>		D/F	R	Visualización en UNITY 3D
<b>PROPONE:</b>		F	= E =	
		Fabricación	Estudiante	
		R		
		=Requerimientos		
		D= Deseo		

### 4.3 Análisis funcional y generación de módulos

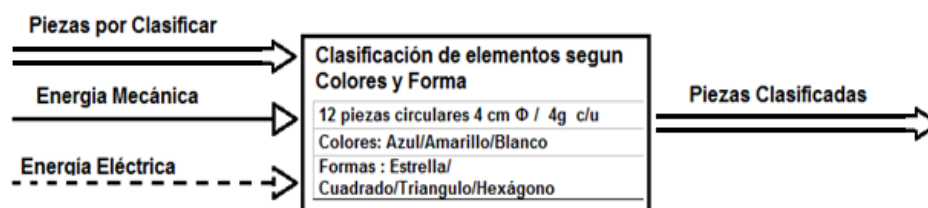
En la tabla 3 se detalla las partes que conforman la selección del brazo robótico.

**Tabla 3**

*Selección del brazo robótico*

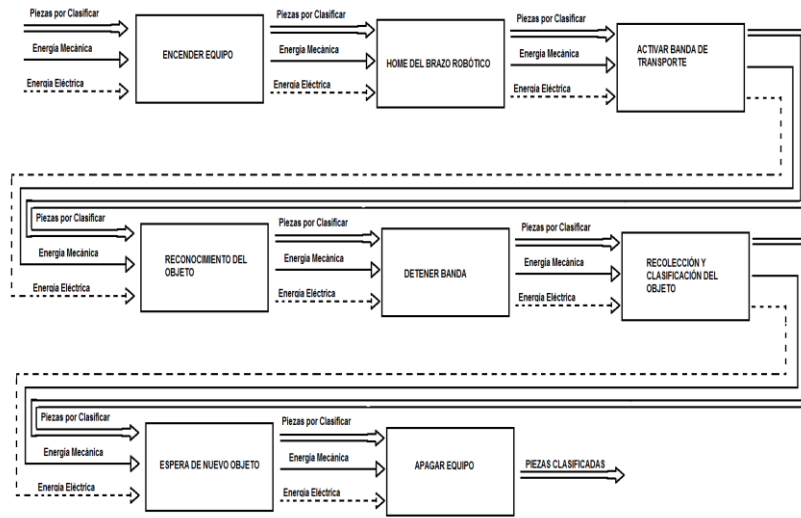
POSIBLES SOLUCIONES	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2
<b>Brazo Robótico</b>	Robot antropomórfico de 6 GDL material metálico	Robot antropomórfico de 6 GDL material PVC
<b>Cinta de transporte</b>	Cinta de correr movimiento LX-160	Banda Industrial 50097/0121
<b>Material del objeto</b>	Aluminio	Nylon
<b>Forma de las bandejas de clasificación</b>	Bandejas cilíndricas unidas en forma cuadrada	Bandejas cilíndricas unidas en hasta media circunferencia
<b>Pantalla</b>	LCD 3.5" 320*480	Monitor Dell 12 "
<b>Procesador</b>	Raspberry PI3 Model B Quad core 1.2 Ghz	CPU Intel core 2 duo 2.2 Ghz
<b>Elemento de visualización</b>	Cámara Webcam Trust USB	Cámara HD 1080p hasta 1920 x 1080 píxeles

El Análisis funcional trata de hacer una descripción por bloques de cada elemento que conforma el módulo, se empieza desde el nivel cero (Ver figura 17) como función principal



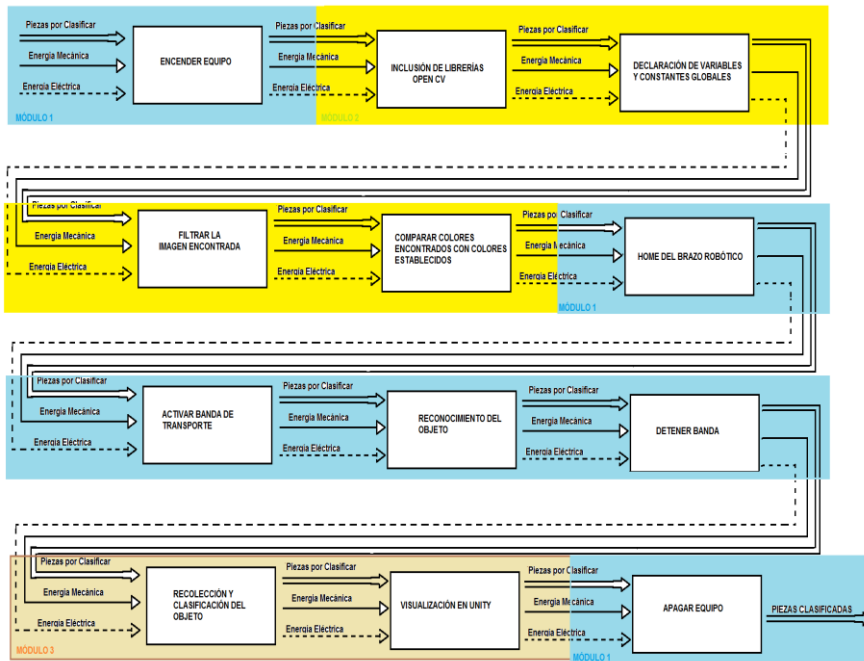
**Figura 17.** Nivel 0 Análisis Funcional.

Finalizado el Nivel 0; A continuación se procede a desglosar cada una de las funciones básicas con respecto a la función principal conocido y detallado como Nivel 1 mostrado en la figura 18:



**Figura 18.** Nivel 1 del análisis funciones

A continuación, y como último paso se ha procesado a desglosar otras funciones que serán muy necesarias para este nivel 2, agrupando el número de módulos y procedimientos que tendrá esta tesis como se observa en la figura 19:



**Figura 19.** Nivel 2 desglose del Módulo

#### 4.5 Selección de las alternativas más convenientes para el módulo.

La Ponderación de los criterios y posibles soluciones se detalla a continuación en las siguientes figuras y tablas:



**Figura 20.** Soluciones para las bandejas

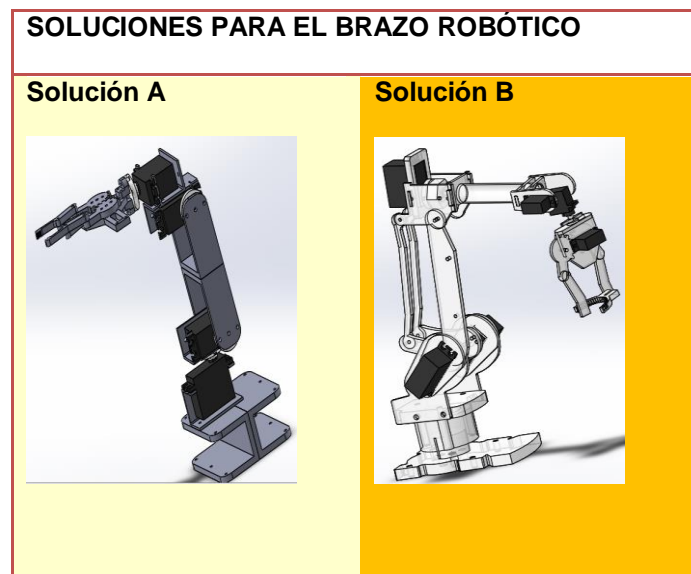
**Tabla 4**

*Análisis de criterios a favor para bandejas*

Tabla de Ponderación					
	CRITERIOS EN CONTRA	Calificación	CRITERIOS A FAVOR	Calificación	TOTAL
Solución A	Menor número de bandejas cilíndricas	0	Mayor espacio disponible	1	1
	Menor facilidad para ubicación de piezas	0			
	Menor diámetro de bandejas cilíndricas	0			
Solución B	Menor espacio disponible	0	Mayor número de Bandejas Cilíndricas (Total 12)	1	3
			Facilidad para ubicación de piezas	1	
			Mayor diámetro de bandejas cilíndricas	1	

La solución con mayor puntuación es la alternativa B debido a que los criterios a favor de la misma resultaron ser mayores que la solución A. Obteniendo como características principales lo siguiente:

- Mayor número de Bandejas Cilíndricas (Total 12).
- Facilidad para ubicación de piezas.
- Mayor diámetro de bandejas cilíndricas.



**Figura 21.** Soluciones para el Brazo Robótico

**Tabla 5**

*Análisis de criterios a favor para el Brazo Robótico.*

Tabla de Ponderación					
	CRITERIOS EN CONTRA	Calificación	CRITERIOS A FAVOR	Calificación	TOTAL
Solución A	Vibración excesiva de la estructura	0	Bajo costo	1	1
	Sobrecalentamiento de los servomotores	0			
	Alcance limitado	0			
Solución B	Costo alto	0	Suavidad en su movimiento	1	3
			Poco esfuerzo de los servomotores	1	
			Mayor alcance de trabajo	1	

La solución con mayor puntuación es la alternativa B debido a que los criterios a favor de la misma resultaron ser mayores que la solución A. Obteniendo como características principales lo siguiente:

- Suavidad en su movimiento
- Poco esfuerzo de los servomotores
- Mayor alcance de trabajo



**Figura 22.** Soluciones para Pantalla de Visualización

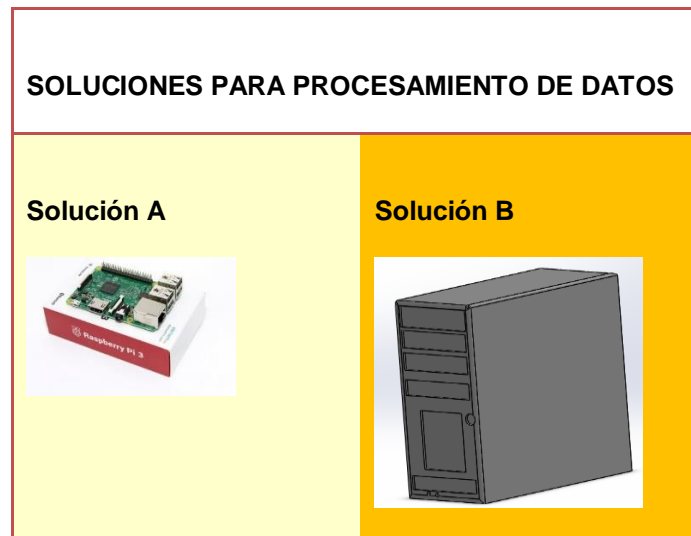
**Tabla 6**

*Análisis de criterios a favor para pantalla de visualización*

Tabla de Ponderación					
	CRITERIOS EN CONTRA	Calificación	CRITERIOS A FAVOR	Calificación	TOTAL
Solución A	Baja Resolución	0	Bajo costo	1	1
	Visualización del proceso reducida	0			
	Instalación compleja	0			
Solución B	Costo alto	0	Alta Resolución	1	3
			Amplia visualización	1	
			Fácil Instalación	1	

La solución con mayor puntuación es la alternativa B debido a que los criterios a favor de la misma resultaron ser mayores que la solución A. Obteniendo como características principales lo siguiente:

- Alta Resolución
- Amplia Visualización
- Fácil Instalación.



**Figura 23.** Soluciones para Procesamiento de datos

**Tabla 7.**

Análisis de criterios a favor para pantalla de visualización

Tabla de Ponderación					
	CRITERIOS EN CONTRA	Calificación	CRITERIOS A FAVOR	Calificación	TOTAL
Solución A	Procesamiento de datos reducido	0	Bajo costo	1	1
	Incapacidad de instalación de programas necesarios	0			
	Control de elementos de potencia reducido	0			
Solución B	Costo alto	0	Eficaz procesamiento de datos	1	3
			Amplia memoria para instalación de programas	1	
			Control adecuado de los elementos de potencia	1	

La solución con mayor puntuación es la alternativa B debido a que los criterios a favor de la misma resultaron ser mayores que la solución A. Obteniendo como características principales lo siguiente:

- Eficaz procesamiento de datos
- Amplia memoria para instalación de programas
- Control adecuado de los elementos de potencia



#### 4.6 Esquema virtual de la solución ganadora.

En el esquema de la figura se presenta el esquema virtual de la solución ganadora del módulo de visión artificial.



**Figura 24.** Esquema del módulo ganador de visión artificial.

#### 4.7 Revisión de la solución ganadora

Como resultado del análisis de las posibles soluciones y finalizada las especificaciones de la misma se determinó las siguientes características técnicas para realizar el diseño del Módulo:

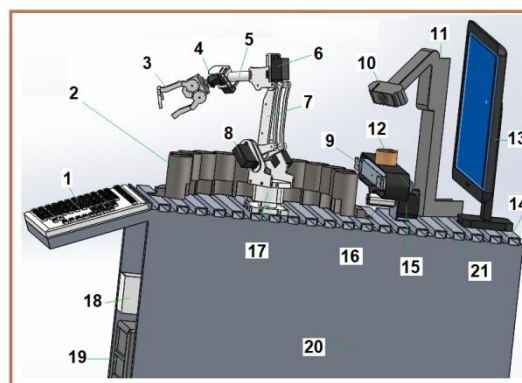
- Forma rectangular del Módulo Base
- Accionamiento del Brazo Robótico automático
- 6 de GDL para el Brazo robótico
- Resolución HD de la Cámara
- Elemento de accionamiento de la banda transportadora ( Motor paso a paso)

- Forma de la estructura de las Bandejas de clasificación
- Voltaje de alimentación AC 110V 60 Hz
- Regulador del Voltaje AC/DC 110 V AC / 12 V DC
- Convertidor DC/DC 12 Vdc / 7 Vdc hasta 10 Amp.
- Driver para la alimentación del Motor paso a paso
- Largo: 71 cm / Ancho 37 cm / Altura 68 cm
- Mantenimiento 1 vez al mes

Como complemento del módulo MPS nuestro proyecto está enfocado en la realización de prácticas mediante un módulo didáctico que permitirá la selección de colores y formas de piezas de nylon de diferente color y forma en el laboratorio de hidráulica y neumática a continuación se detalla cada elemento en las siguientes figuras 22 y figura 23:



**Figura 25.** Módulo MPS de visión artificial



**Figura 26.** Partes del módulo MPS de visión artificial

**Tabla 8***Partes del Módulo*

N.-	Denominación	Cantidad	Observaciones
1	Teclado Inalámbrico	1	Marca Genius
2	Bandejas Cilíndricas	12	Hierro Fundido
3	Gripper	1	Poliestireno
4	Servomotor	2	Tower Pro Micro Servo 9g NG90
5	Brazo	1	Acrílico (Impacto medio alto)
6	Servomotor	2	Tower Pro Micro Servo 9g NG90S
7	Brazo Oscilatorio	1	Acrílico
8	Servomotor	2	Tower Pro MG996R Micro Servo
9	Estructura de la Banda	1	Aluminio 1100-H12
10	Cámara	1	HD 1080p hasta 1920 x 1080 píxeles
11	Soporte de la Cámara	1	Aluminio 1100-H12
12	Elemento a Clasificar	12	Nylon 6/10
13	Pantalla	1	DELL 12"
14	Soporte de los Elementos	1	Aluminio 1100-H12
15	Motor Paso a Paso	1	B598 2703
16	Rodillo	4	Nylon 6/10
17	Columna Giratoria	1	Acrílico (Impacto medio alto)
18	Tablero de Control	1	Arduino UNO, Regulador de Voltaje, Driver
19	CPU	1	Intel Core 2 Duo 2.20 GHz
20	Estructura del Modulo	1	Acero
21	Banda Transportadora	1	

**4.8 Comprobación de la Hipótesis**

Para realizar la comprobación de la Hipótesis se analizó las diferentes alternativas para las posibles soluciones que se presentaron al momento de la construcción e identificar si el proyecto es viable o no y mediante el desarrollo de este proyecto se presentará una aportación académica y didáctica para el desarrollo de procesos de selección de elementos según su color y característica morfológica, el cual permitirá tener al alcance del Laboratorio de Hidrónica y Neumática un Módulo Robotizado provisto de visión artificial

**4.8.1 Planteamiento de la Hipótesis**

Mediante la construcción del Módulo Robotizado con visión artificial en el Sistema de Producción Modular (MPS) del Laboratorio de Hidrónica y Neumática de la Universidad de la Fuerzas Armadas se lograra la selección de objetos según colores

y características morfológicas.

#### **4.8.2 Viabilidad del proyecto**

Mediante el análisis realizado se da como resultado que el proyecto es viable, permitiendo iniciar con el diseño e implementación de un Módulo Robotizado adicional al Sistema de Producción Modular (MPS) que permitirá la selección de elementos según su color y característica morfológica utilizando visión artificial.

## CAPÍTULO V

### 5. TEMA DE LA PROPUESTA

Diseño e implementación de un Módulo Didáctico de Visión Artificial para la selección de objetos según colores y características morfológicas implementando un brazo robótico como complemento del Sistema de Producción Modular (MPS) existente en el Laboratorio de Hidrónica y Neumática de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.

#### 5.1 Datos informativos

**Nombre de la empresa:** Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

**Dirección:** Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.

**Tipo de empresa:** Educación

**Tamaño de la empresa:** Grande

##### 5.1.1 Beneficiarios

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, en el campo de Automatización y Visión Artificial.

#### 5.2 Objetivos

##### 5.2.1 Objetivo General

Diseñar e Implementar un módulo didáctico de visión artificial para la selección de objetos según colores y características morfológicas implementando un Brazo

Robótico.

### **5.2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer el Estado del Arte para la selección de objetos según colores y características morfológicas.
- Diseñar el Módulo de Selección de Objetos.
- Implementar los dispositivos de potencia y control.
- Seleccionar elementos que se encuentren dentro de un color primario y una forma simétrica.
- Realizar las pruebas en el módulo Robotizado

### **5.3 Justificación de la Propuesta**

Con el desarrollo de este proyecto se presenta una aportación académica y didáctica para el desarrollo de procesos de selección de elementos según su color y característica morfológica, el cual permitirá tener al alcance del Laboratorio de Hidrónica y Neumática un Módulo Robotizado provisto de visión artificial.

### **5.4 Fundamentación de la propuesta**

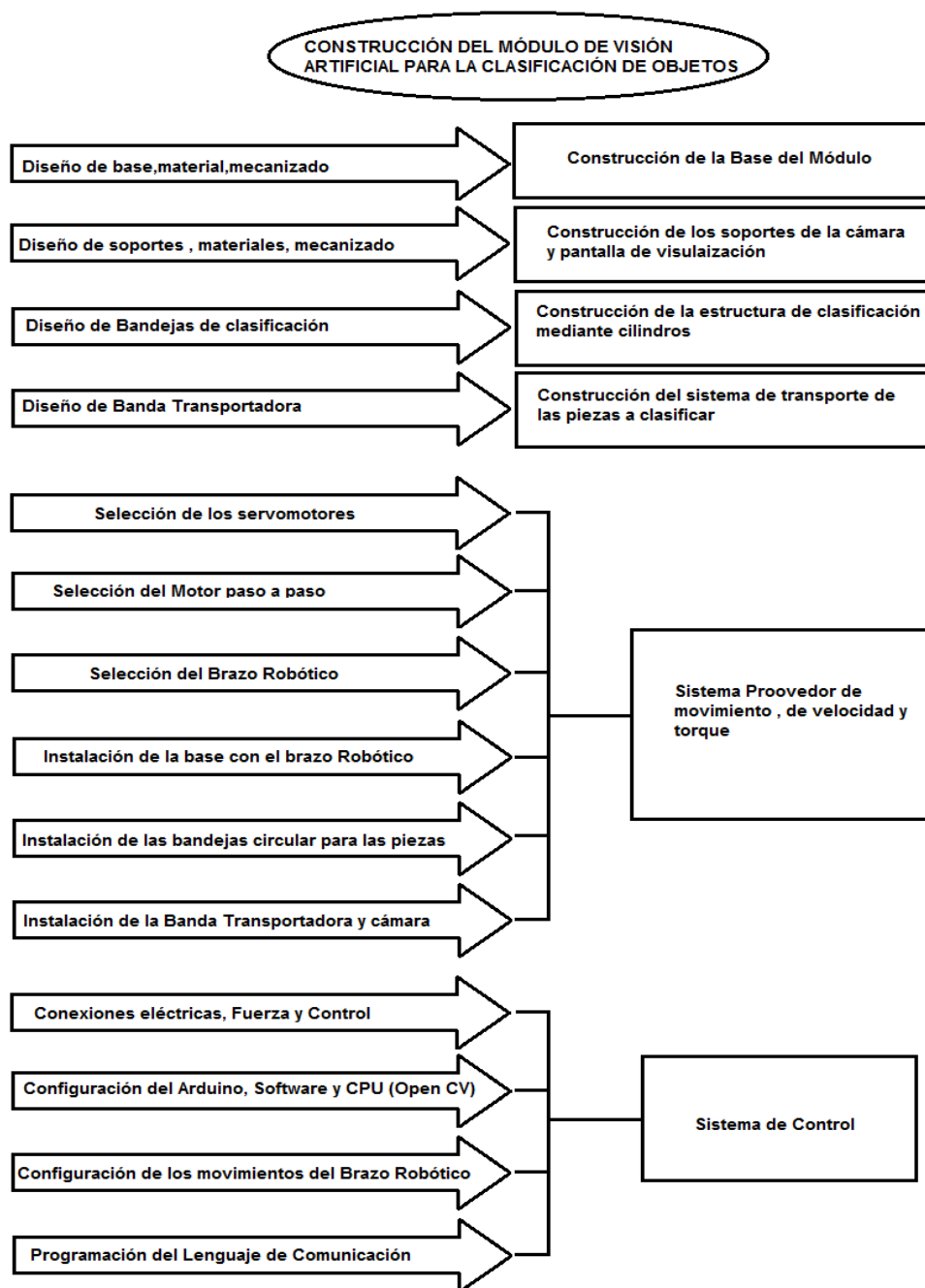
Esta investigación se basa principalmente en el desarrollo de un nuevo sistema automatizado mediante el uso de visión artificial. La cual ayuda a la selección de los mismos mediante identificación de colores y formas.

El presente proyecto pretende, basándose en el campo de la visión artificial, desarrollar unos algoritmos eficientes que pueden ser implementados en un controlador para que este realice las funciones de detección y seguimiento de objetos en función del color y morfología deseado para ello se ha de capturar las imágenes, procesarlas y seguir los objetos que sean detectados en forma autónoma.

## 5.5 Diseño de la Propuesta

### 5.5.1 Resumen

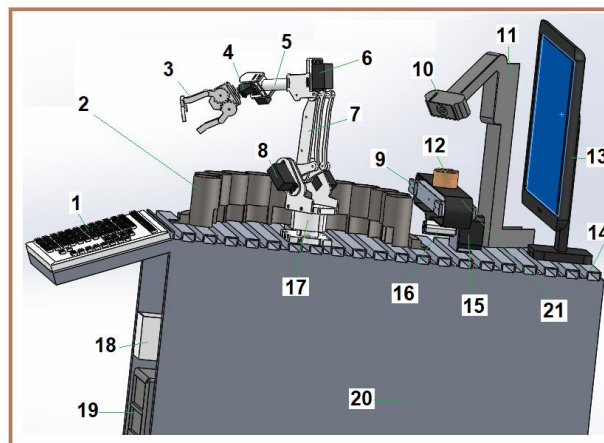
En la Figura 27 se presenta las actividades a realizar para el sistema de diseño y construcción del Módulo de clasificación.



**Figura 27.** Desarrollo del módulo

## 5.6 Construcción del Módulo.

A continuación, se presenta y detalla los materiales (ver tabla 9) que se usó en el módulo para la construcción del mismo para luego posteriormente implementarlo.




**Figura 28.** Partes del módulo de visión artificial

**Tabla 9.**

*Descripción del módulo en general*

N.-	Denominación	Cantidad	Observaciones
1	Teclado Inalámbrico	1	Marca Genius
2	Bandejas Cilíndricas	12	Hierro Fundido
3	Gripper	1	Poliestireno
4	Servomotor	2	Tower Pro Micro Servo 9g NG90
5	Brazo	1	Acrilico (Impacto medio alto)
6	Servomotor	2	Tower Pro Micro Servo 9g NG90S
7	Brazo Oscilatorio	1	Acrilico
8	Servomotor	2	Tower Pro MG996R Micro Servo
9	Estructura de la Banda	1	Aluminio 1100-H12

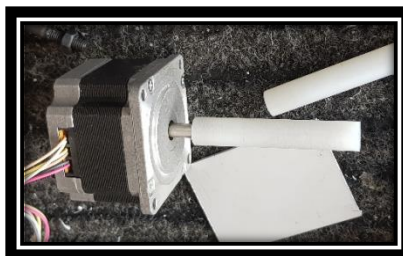
CONTINÚA 



10	Cámara	1	HD 1080p hasta 1920 x 1080 píxeles
11	Soporte de la Cámara	1	Aluminio 1100-H12
12	Elemento a Clasificar	12	Nylon 6/10
13	Pantalla	1	DELL 12"
14	Soporte de los Elementos	1	Aluminio 1100-H12
15	Motor Paso a Paso	1	B598 2703
16	Rodillo	4	Nylon 6/10
17	Columna Giratoria	1	Acilico (Impacto medio alto)
18	Tablero de Control	1	Arduino UNO, Regulador de Voltaje, Driver
19	CPU	1	Intel Core 2 Duo 2.20 GHz
20	Estructura del Modulo	1	Acero
21	Banda Transportadora	1	

### 5.6.1. Rodillo principal

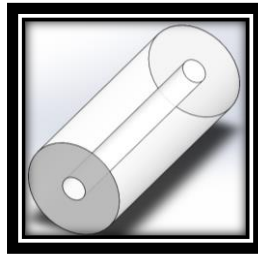
En la figura 29 que se indica a continuación se muestra el rodillo principal el cual se encuentra acoplado en el motor paso a paso de tal forma que al iniciar el proceso este elemento permitirá que los demás rodillos se muevan y por defecto realice el movimiento de la banda trasportadora.



**Figura 29.** Rodillo motriz

### 5.6.2. Rodillos tensores

Los rodillos tensores son los elementos que permitirán que el movimiento de la banda sea más eficiente; estos rodillos se encuentran acoplados mediante un tornillo de 40 mm de largo permitiendo de esta forma acoplarse a la banda transportadora con coeficiente de rozamiento relativamente despreciable (ver figura 30).



**Figura 30.** Rodillos móviles

### 5.6.3. Soporte de la banda

Parar realizar la construcción del soporte de la banda (ver figura 31 a) fue necesario adquirir un perfil de aluminio (ver figura 31 b) que tenga la forma de un cubo de esta forma fue posible acoplar con facilidad la cinta junto con los rodillos.

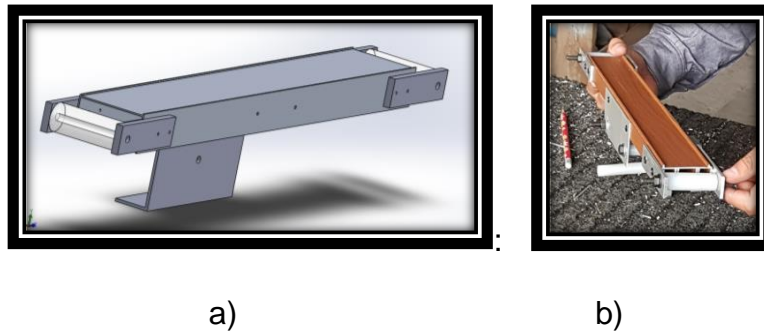


a)

b)

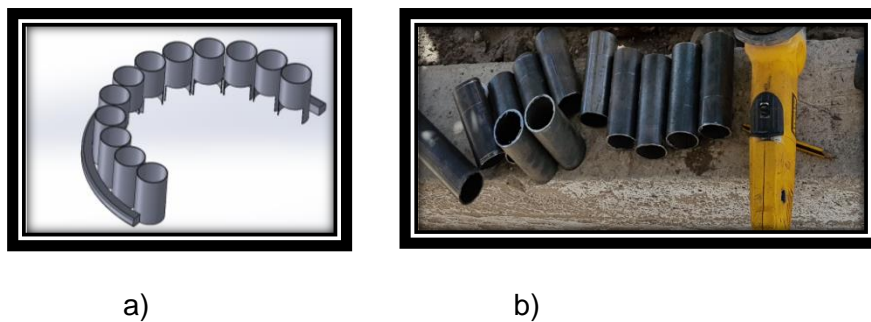
**Figura 31.**a) Diseño soporte de la banda b) Construcción del soporte.

Para realizar el acople de los rodillos con el perfil de aluminio fue necesario cortar una placa que permita la unión de los demás elementos con el perfil de aluminio como se observa a continuación en la (ver figura 32 a y b)



**Figura 32.** a) Diseño acople de rodillos b) Construcción

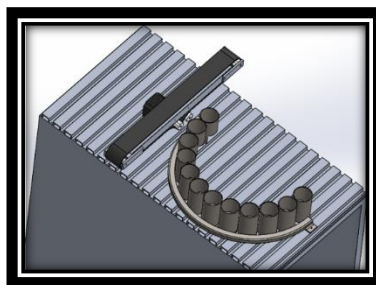
De igual forma se construyó los tubos cilíndricos que permitirá el almacenamiento de las piezas según su forma y color (ver figura 33 a y b).



**Figura 33.** a) Diseño de bandejas b) Construcción de bandejas

#### 5.6.4. Montaje de los cilindros junto a la banda transportadora.

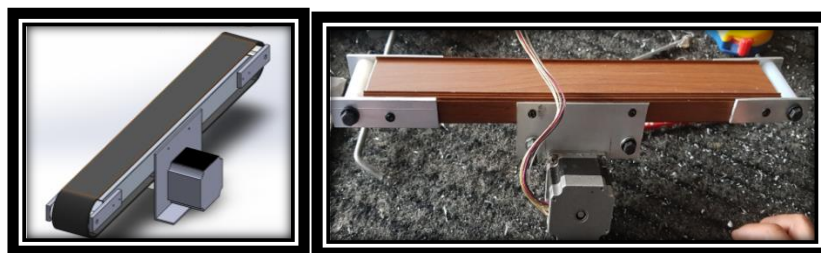
Los tubos cilíndricos son los elementos que permitirá el almacenamiento de las piezas luego de que el brazo robótico reconozca su forma y color clasificando en forma ordenada cada pieza. A continuación, se indica en la figura 34 la configuración del montaje del sistema:



**Figura 34.** Ubicación de los cilindros con la banda transportadora

#### 5.6.5. Acople del motor paso a paso.

Como se observa en la figura 35 a y b el elemento que permitirá el movimiento de la banda en este caso es un motor paso a paso este acoplado mediante a una placa que se encuentra remachada en sus cuatro vértices directamente con el motor.



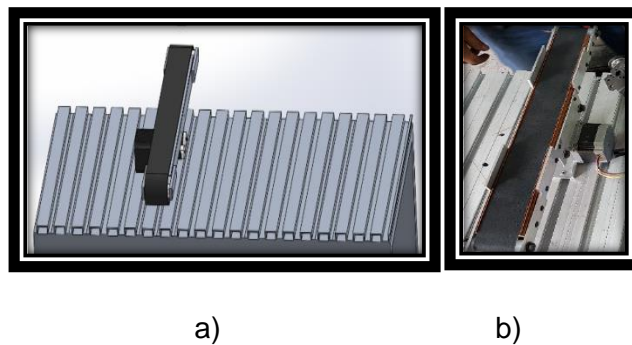
a)

b)

**Figura 35.** a) Diseño del acople del motor b) Construcción

### 5.6.6. Montaje de la banda transportadora.

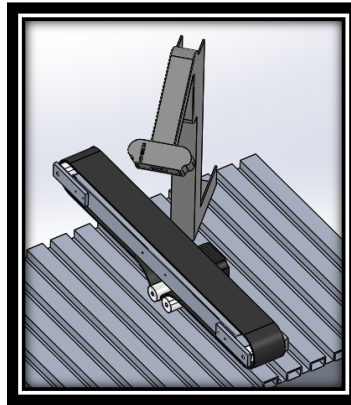
A continuación, se acopla la banda transportadora directamente al motor (ver figura 36 a y b) y a su vez el motor a la mesa mediante tornillos y tuercas configuradas para que se ajusten correctamente en la mesa.



**Figura 36.** a) Diseño del montaje del sistema de transporte.

### 5.6.7. Montaje de la cámara.

Para la ubicación de la cámara se tomó en cuenta la distancia a la que se va instalar, cuando la pieza empiece a transportarse la cámara debe reconocer todo su contorno de este modo el programa reconocerá que figura y cual color debe clasificar siempre y cuando reconozca todo el contorno de la figura a través de la cámara (ver figura 37).



**Figura 37.** Montaje cámara con la banda transportadora.

### 5.6.8. Montaje Total

A continuación, en la figura 38 se indica el módulo con sus respectivos elementos que lo conforman:



**Figura 38.** Montaje Total

## 5.7 Cálculo de esfuerzos

### 5.7.1 Banda transportadora

- Velocidad de avance máximo de la banda transportadora → 0.15 m/s
- Longitud máxima del espacio disponible → 480 mm → 0.48 m
- Ancho máximo del espacio disponible → 60 mm → 0.06 m
- Peso de la banda → 0.04 kg

#### a. Factor de Seguridad

El factor de seguridad es utilizado en el diseño de piezas para considerar las incertidumbres que pueden ocurrir cuando las cargas reales actúan sobre una pieza ya construida.

Se conoce que la resistencia es la capacidad de una estructura para soportar cargas por lo tanto para calcular el factor de seguridad se obtiene entre la relación de la resistencia real y la resistencia requerida.

$$\text{Factor de seguridad } n = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}}$$

Una vez calculado el factor de seguridad se debe tomar en cuenta que para evitar fallos el valor calculado debe ser mayor que 1 teniendo en cuenta que existe un rango de seguridad desde 1 hasta 10.

A continuación, se especifica los factores de seguridad que para este proyecto según la teoría de estructuras estáticas con alto grado de confianza y de acuerdo a los materiales se utiliza un factor de seguridad:

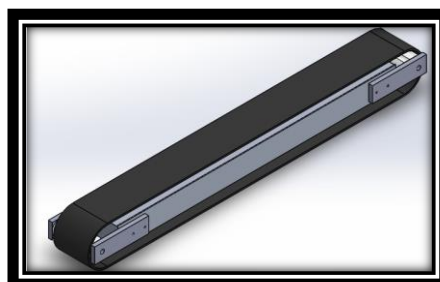
$$F: S: \rightarrow 3$$

**Tabla 10**

*Tabla de valores del factor de seguridad*

<b>SELECCIÓN ORIENTATIVA DE FACTORES DE SEGURIDAD, PARA MATERIALES DÚCTILES</b>		
<b>Información disponible</b>	<b>Fiabilidad de los datos que se disponen</b>	<b>Factor</b>
Ensayos de materiales	El material de diseño ha sido probado en condiciones similares.	A= 1.3
	Características mecánicas de probetas del material ensayado.	A= 2
	Datos fiables de tablas y catálogos genéricos de materiales.	A= 3
	Datos poco fiables de los cuales no sabemos su procedencia.	A> 5
Condiciones de contorno de utilización de material.	Idénticas condiciones a las del material ensayado.	B= 1.3
	La pieza diseñada funcionará en un entorno aislado.	B= 2
	Entorno de utilización moderadamente agresivo.	B= 3
	Entorno de utilización muy agresivo.	B> 5
Procedimientos de diseño y modelado analítico utilizados.	Han sido probados científicamente mediante experimentos.	C= 1.3
	Representan las condiciones de funcionamiento con precisión.	C= 2
	Representan las condiciones de funcionamiento aproximadamente.	C= 3
	Representan las condiciones de funcionamiento con poca precisión.	C> 5

#### b. Selección de la banda transportadora



**Figura 39.** Banda transportadora Solid Works



Se conoce que existen diferentes tipos de bandas transportadoras según el tipo de material, cargas y medidas por lo tanto según las especificaciones requeridas se realizó un análisis previo en donde se selecciona la banda con 3 rodillos, mediante esta configuración permite que se puede transportar los materiales con un peso no mayor a 8 kg por lo tanto el transportar los objetos de nylon por la banda que no supera los 2 metros permite tener un buen control de la velocidad y sin sobreesfuerzo al momento de iniciar la carrera de la banda transportadora.

### c. Selección de la cinta

Existen diferentes tipos de bandas transportadoras según el aspecto de la superficie que transportara la carga, para nuestro caso la superficie a utilizar es una cinta con material rugoso debido a que la carga es de nylon por lo que a arrancar puede provocar un deslizamiento y con esta configuración en la cinta se lograra evitar ese problema además de aquello la distancia a transportar es corta se logra un eficiente movimiento de las cargas.



**Figura 40.** Cinta seleccionada para la banda transportadora

**d. Cálculo de número de objetos permisibles en la banda transportadora**

Para calcular el número de objetos sobre la cinta transportadora se toma en cuenta el número de piezas de nylon, la longitud de la banda y el diámetro de la pieza de nylon por lo tanto la ecuación para dicho cálculo será:

$$n = \frac{L}{D}$$

Donde:

- $n \rightarrow$  N° de piezas de nylon
- $L \rightarrow$  Largo de la Banda: 0,48 m
- $D \rightarrow$  Diámetro de piezas de Nylon: 0,04 m

$$n = \frac{0,48}{0,04}$$

$$n = 12 \text{ piezas de nylon}$$

**e. Cálculo de la amplitud de la banda transportadora**

Para evitar que la cinta transportadora no se encuentre demasiado tensionada es necesario calcular un de valor de una holgura mediante la siguiente ecuación:

$$c = 0,055 (B + 0,9)$$

Donde:

- $c \rightarrow$  Amplitud de la cinta [in].
- $B \rightarrow$  Ancho de la cinta [in]  $\rightarrow 0,04 \text{ m} * \frac{39,37 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 1.574 \text{ in.}$

$$c = 0,055 (1,574 + 0,9)$$

$$c = 0,136 \text{ in} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ m}}$$

$$c = 0,0033 \text{ m}$$

- Perímetro de de la cinta  $\rightarrow p = 2 * \emptyset * \pi$
- Largo de la banda  $\rightarrow \text{Long}_{\text{TOTAL}} = 2(L) + p + c$
- Área de la banda  $\rightarrow \text{Area}_{\text{BANDA}} = \text{Long}_{\text{TOTAL}} * \text{Ancho}_{\text{BANDA}}$
- Peso de la banda  $\rightarrow \text{Peso}_{\text{BANDA}} = \text{Peso}_{\text{CINTA}} * \text{Area}_{\text{BANDA}}$

Donde tenemos:

- $p \rightarrow$  Perímetro de los rodillos [m]
- $\emptyset \rightarrow$  Diametro de los rodillos [m]
- $\text{Area}_{\text{BANDA}} \rightarrow$  Área de la banda [m]
- $\text{Ancho}_{\text{BANDA}} \rightarrow$  Ancho de la banda [m]
- $\text{Peso}_{\text{CINTA}} \rightarrow$  Peso de la banda [m]
- $\text{Peso}_{\text{CINTAFABRICANTE}} \rightarrow$  Peso de la cinta dada por el fabricante  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right]$

Por lo tanto:

$$p = 2 * \emptyset * \pi$$

$$p = 2 * 0,04 \text{ m} * \pi$$

$$p = 0,1256 \text{ m}$$

$$\text{Long}_{\text{TOTAL}} = 2(L) + p + c$$

$$\text{Long}_{\text{TOTAL}} = 2(0,48 \text{ m}) + 0,1256 \text{ m} + 0,0033 \text{ m}$$

$$\text{Long}_{\text{TOTAL}} = 1.0889 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{\text{BANDA}} = \text{Long}_{\text{TOTAL}} * \text{Ancho}_{\text{BANDA}}$$

$$\text{Area}_{\text{BANDA}} = 1.0889 \text{ m} * 0,04 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{\text{BANDA}} = 0,044 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso}_{\text{CINTA}} = \text{Peso}_{\text{CINTAFA}} * \text{Area}_{\text{BANDA}}$$

$$\text{Peso}_{\text{CINTA}} = 4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0.044 \text{m}^2$$

$$\text{Peso}_{\text{CINTA}} = 0.197 \text{kg}$$

#### f. Cálculo del valor de la carga máxima en la banda transportadora

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BANDA TRANSPORTADORA}} = (\text{Peso}_{\text{CINTA}} + \text{Peso}_{\text{PIEZAS}} + \text{Peso}_{\text{BRAZO ROBOTICO}} + \text{Peso}_{\text{ENSAMBLE}}) * \text{GRAVEDAD}$$

$$\text{Peso}_{\text{PIEZAS}} = (40 \text{ gr}) * (12 \text{ unidades}) = 480 \text{ gr} = 0.48 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{BRAZO ROBOTICO}} = 2 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{ENSAMBLE}} = 0.15 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BANDA TRANSPORTADORA}} = (0.2 \text{Kg} + 0.48 \text{ Kg} + 2 \text{Kg} + 0.15 \text{Kg}) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BANDA TRANSPORTADORA}} = (2.83 \text{ kg}) * (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BANDA TRANSPORTADORA}} = 27.73 \text{ N}$$

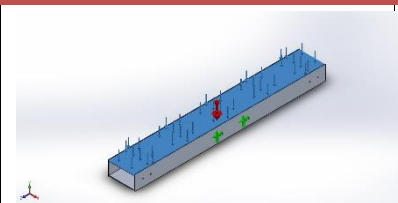
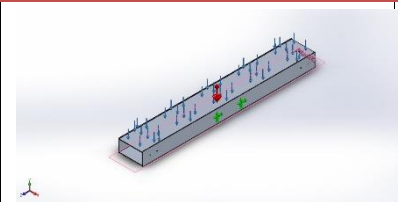
La carga máxima aplicada a la estructura de la banda transportadora es **27.73 N** en la cara superior de la misma.

### g. Análisis de simulación de esfuerzos en la banda transportadora

A continuación, se detalla en las siguientes tablas y figuras el análisis de los esfuerzos realizados en simulación:

**Tabla 11**

*Fuerzas aplicadas a la estructura de la banda*

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 27.73 N
Desplazamiento-1		<b>Referencia:</b> Planta <b>Valores:</b> 0 0 -9.81 <b>Unidades:</b> m/s <sup>2</sup>

**Tabla 12**

*Propiedades de la estructura en la banda transportadora*

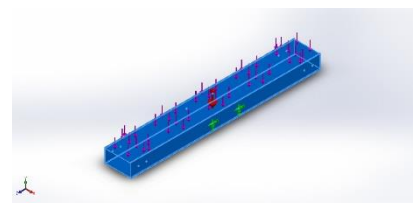
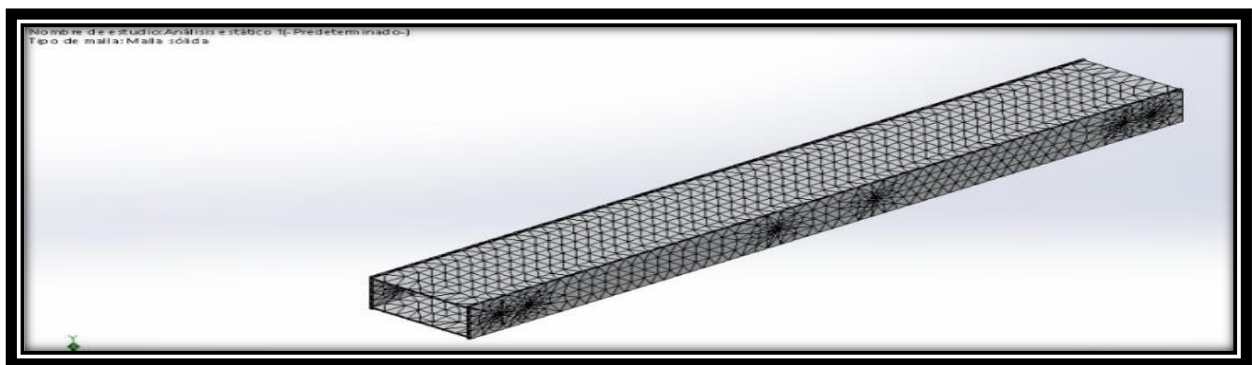
Referencia de modelo	Propiedades
	<b>Nombre:</b> 1100-H12 Barra (SS) <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal  <b>Límite elástico:</b> 99.2845 N/mm <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 110 N/mm <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 68900 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.33 <b>Densidad:</b> 2.71 g/cm <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 26000 N/mm <sup>2</sup> <b>Coefficiente de dilatación:</b> 2.4e-005 /Kelvin

Tabla 13

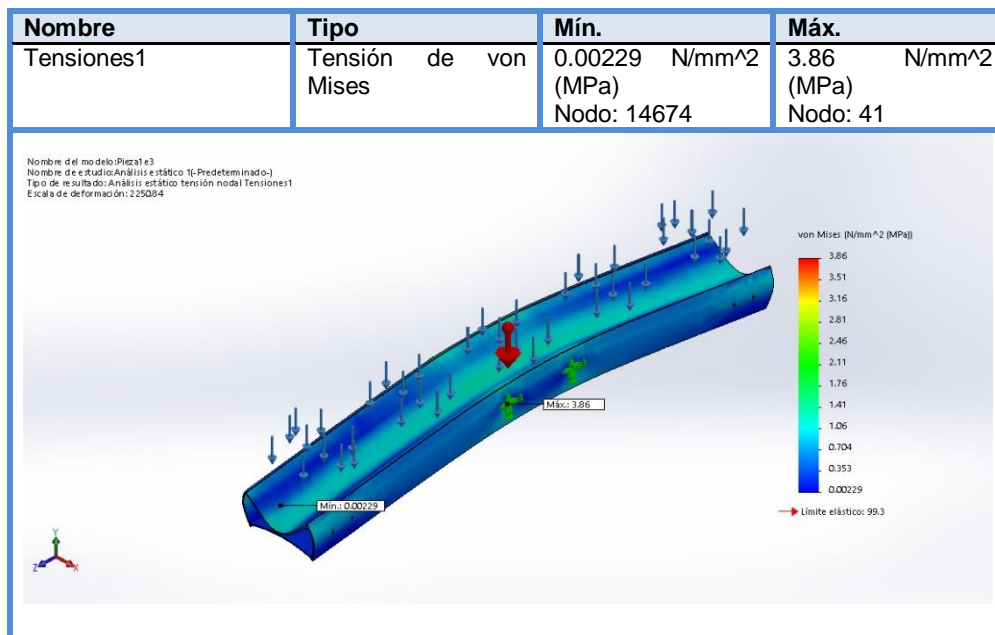
*Información de malla de la estructura de la banda*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	0.65816 cm
<b>Tolerancia</b>	0.032908 cm
<b>Número total de nodos</b>	22149
<b>Número total de elementos</b>	10979
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	30.561
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	7.82
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	6.86
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0



**Figura 41.** Mallado de la estructura

## h. Tensión en la estructura de la banda transportadora



**Figura 42.** Tensión en la estructura de la banda

Para validar el diseño se utiliza la ecuación principal de diseño estructural:

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

Donde:

$F_{\text{CALCULADO}}$  = Es el esfuerzo calculado en un componente estructural sometido a cargas.

$F_{\text{PERMISIBLE}}$  = Es el esfuerzo permisible.

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

$$3.86 \text{ Mpa} \leq 0.6 S_y$$

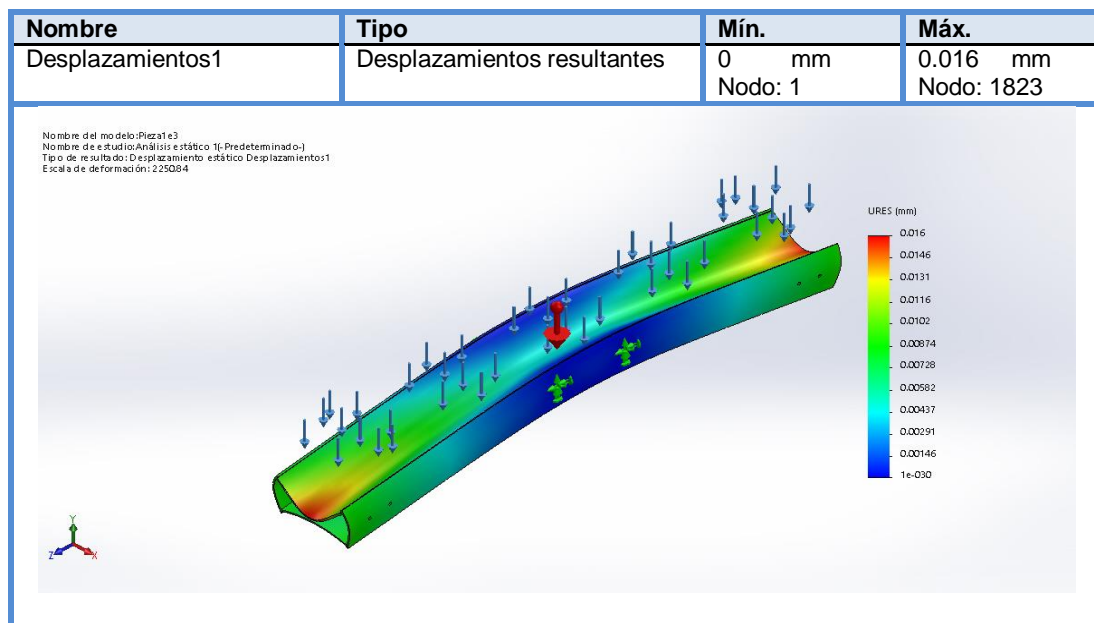
$$3.86 \text{ Mpa} \leq 0.6 (110 \text{ Mpa})$$

$$3.86 \text{ Mpa} \leq 66 \text{ Mpa}$$

El resultado indica que  $F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$  por lo tanto se indica que la aplicación está correctamente diseñada.

### i. Desplazamiento en la estructura de la banda transportadora

En la gráfica siguiente se observa que la máxima deformación **0.0016 mm**, considerado como un valor aceptable



**Figura 43.** Desplazamiento Máx. y min. Sobre la estructura de la Banda

$$\delta r \leq \left[ \frac{L}{800} \right]$$



### Donde

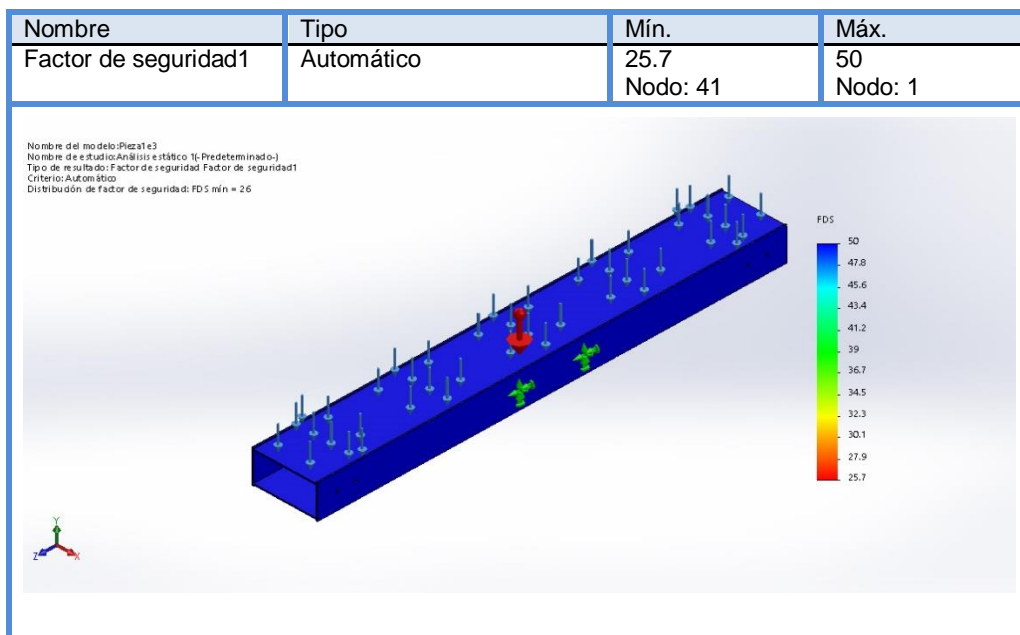
- $\delta r$  = Deflexión que soporta el aluminio Estructural
- $\frac{L}{800}$  = Deflexión permisible de la estructura.
- $L$  = longitud de la estructuta de la banda.

$$\delta r \leq \left[ \frac{480 \text{ mm}}{800} \right]$$

$$\delta r \leq 0.6 \text{ mm}$$

$$0.016 \text{ mm} \leq 0.6 \text{ mm}$$

### j. Factor de seguridad en la estructura de banda transportadora



**Figura 44.** Factor de seguridad en la estructura de la banda

$$F_s = \frac{\sigma_{Limite}}{\sigma_1}$$

$$F_s = \frac{110 \text{ Mpa}}{3.86 \text{ Mpa}}$$

$F_s = 28.49$  El factor de seguridad obtenido es de 28.49 considera como aceptable.

## 5.7.2 Análisis de simulación de esfuerzos en los rodillos

### a. Rodillo móvil y fijo

Por las características de las piezas de nylon se han construido los rodillos fijos y móviles del mismo material ya que permite que la banda tenga mayor movilidad sin ejercer mucho esfuerzo cuando se inicie el proceso.

**Tabla 14**

*Características de los rodillos móviles*

Denominación	Pieza
Material	Nylon
Dimensiones	Diámetro exterior: 18 mm Largo: 50 mm
Masa de Carga	0.05 kg
Peso Unitario	0.49 N

**Tabla 15**

*Características del rodillo tensor*

Denominación	Pieza
Material	Nylon
Dimensiones	Diámetro exterior: 18 mm Largo: 50 mm
Masa de Carga	0.0563 kg
Peso Unitario	0.55 N

### b. Cálculo del valor de la carga máxima en los rodillos

$$\text{Fuerza}_T = (\text{Masa}_P + \text{Masa}_B + \text{Peso}_{RM} + \text{Peso}_{RF} + \text{Peso}_{SB}) * F_g$$

Donde se tiene:

$\text{Fuerza}_T \rightarrow$  Fuerza Total

$\text{Masa}_P \rightarrow$  Masa de las piezas

$\text{Masa}_B \rightarrow$  Masa de la Banda

$\text{Peso}_{RM} \rightarrow$  Peso del rodillo móvil

$\text{Peso}_{RF} \rightarrow$  Peso del rodillo fijo

$\text{Peso}_{SB} \rightarrow$  Peso de la base de la banda

$F_g \rightarrow$  Fuerza de la gravedad

$$\text{Fuerza}_T = ((0.04) * 12 + 0,043 + 0,05 + (0,0563 * 3) + 0,43) * 9,8$$

$$\text{Fuerza}_T = 11,48 \text{ N}$$

La carga máxima aplicada a la estructura del rodillo es 11,48 N

**Tabla 16**

*Propiedades de material del rodillo*

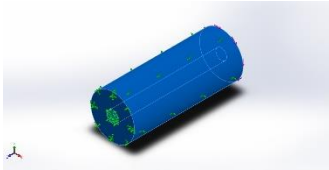
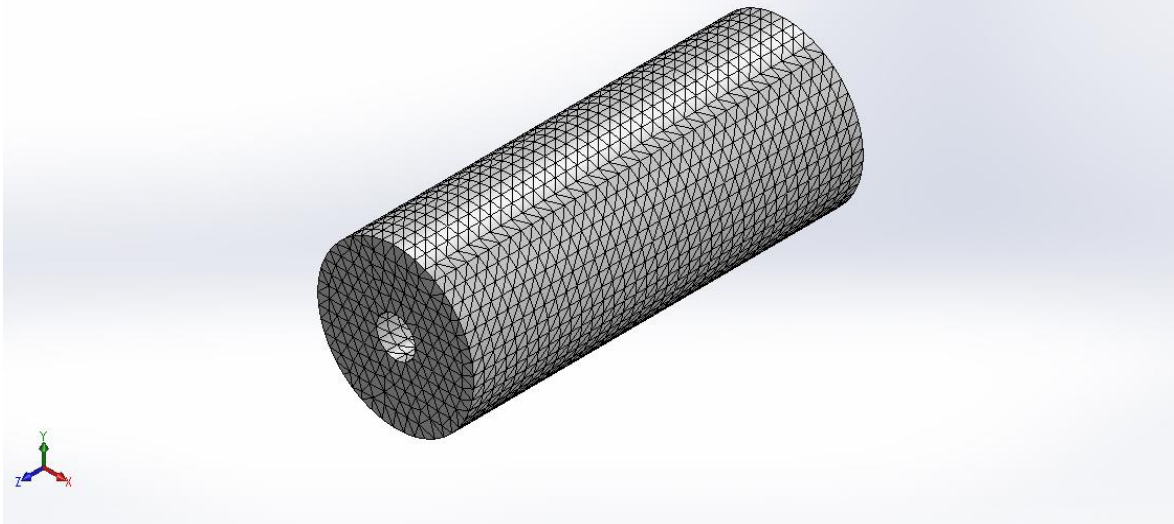
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p><b>Cortar-Extruir1</b></p> 	<b>Sólido</b>	<p><b>Masa:0.0206167 kg</b></p> <p><b>Volumen:1.47262e-005 m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Densidad:1400 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p><b>Peso:0.202044 N</b></p>

Tabla 17

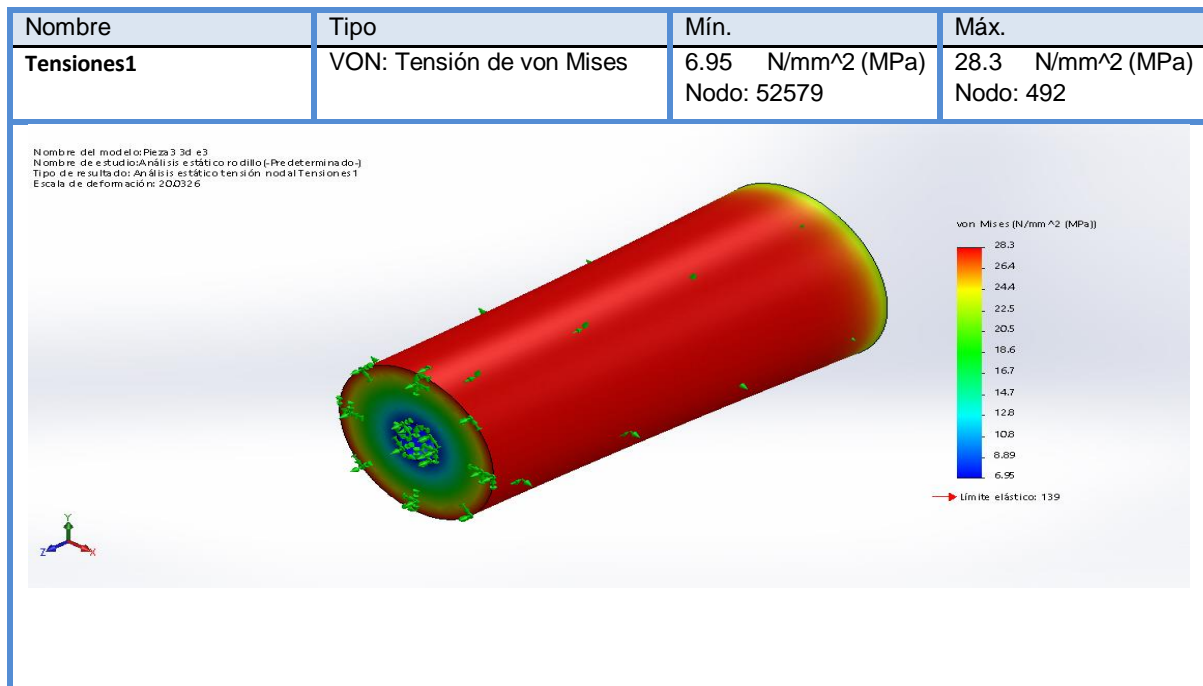
*Información de la malla del rodillo*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	0.140991 cm
<b>Tolerancia</b>	0.00704957 cm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Número total de nodos</b>	53274
<b>Número total de elementos</b>	36471
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	3.6897
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	99.8
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0

Nombre del modelo: Pieza 3\_3d\_e3  
Nombre de estudio: Análisis estático rodillo (-Pre determinado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



### c. Tensión en los rodillos



**Figura 45.** Tensión equivalente ( Von – Mises) del rodillo

Para validar el diseño se utiliza la ecuación principal de diseño estructural:

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

Donde:

$F_{\text{CALCULADO}}$  = Es el esfuerzo calculado en un componente estructural sometido a cargas.

$F_{\text{PERMISIBLE}}$  = Es el esfuerzo permisible.

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

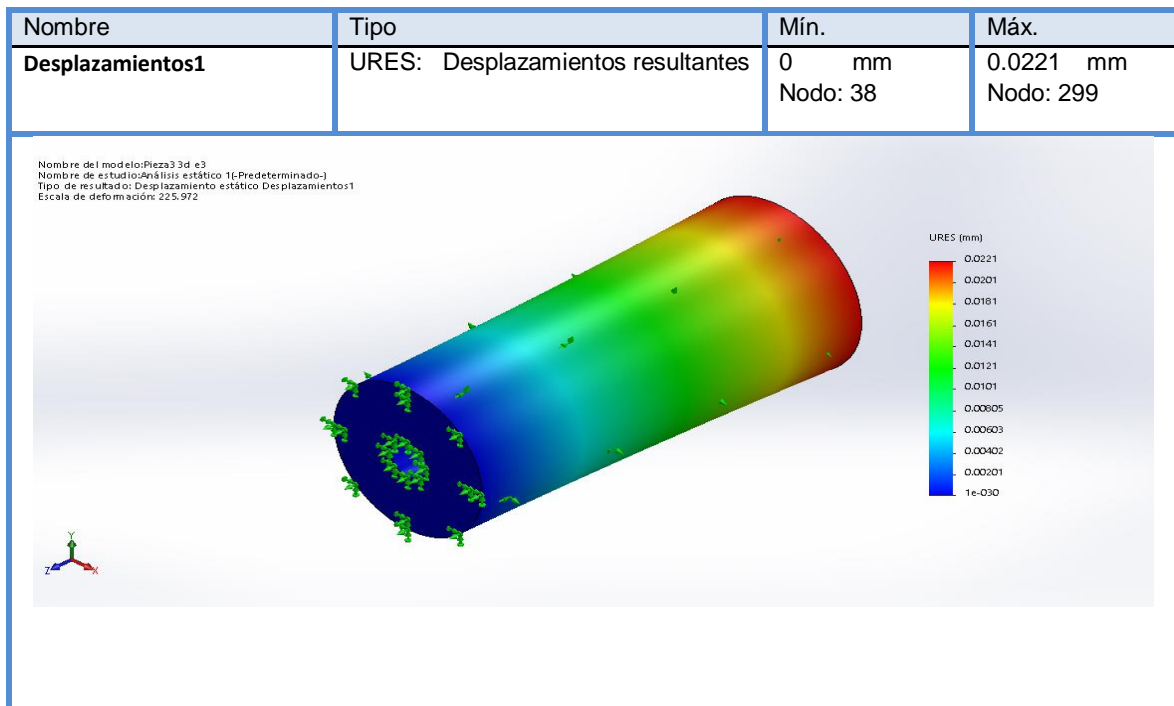
$$28.3 \text{ Mpa} \leq 0.6 S_y$$

$$28.3 \text{ Mpa} \leq 0.6 ( 142.6 \text{ Mpa})$$

$$28.3 \text{ Mpa} \leq 85.56 \text{ Mpa}$$

El resultado indica que  $F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$  por lo tanto se indica que la aplicación está correctamente diseñada.

#### d. Desplazamiento en los rodillos



**Figura 46.** Deformación del rodillo

En la gráfica siguiente se observa que la máxima deformación **0.0221 mm**, considerado como un valor aceptable

$$\delta r \leq \left[ \frac{L}{800} \right]$$

**donde :**

**$\delta r$**  = Deflexión que soporta el aluminio Estructural

$\frac{L}{800}$  = Deflexión permisible de la estructura.

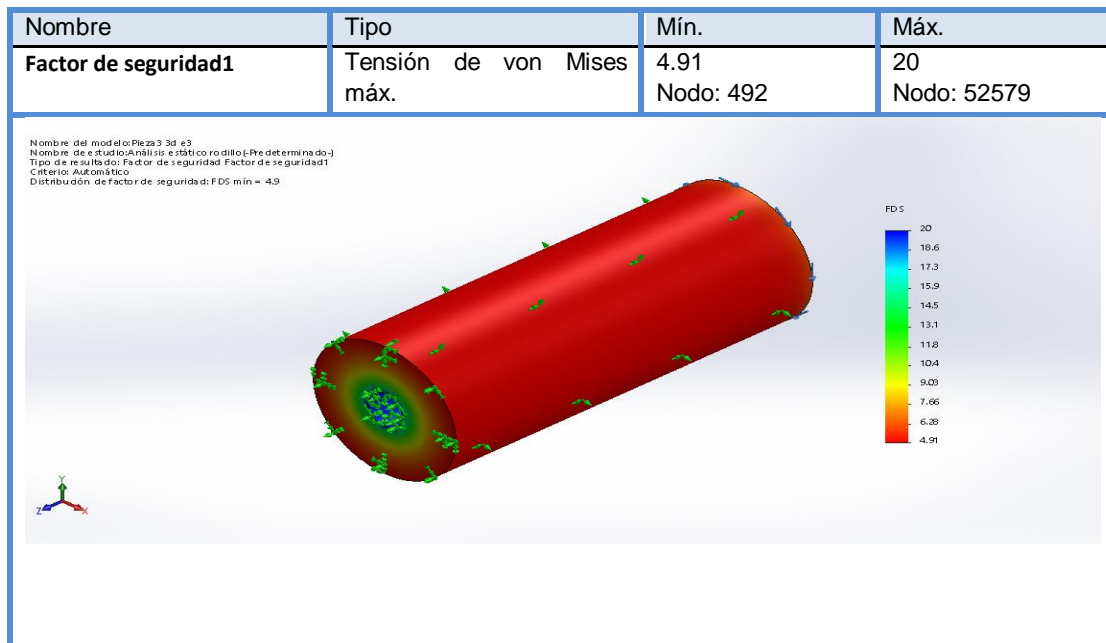
**L** = longitud del rodillo.

$$\delta r \leq \left[ \frac{50 \text{ mm}}{800} \right]$$

$$\delta r \leq 0.6 \text{ mm}$$

$$0.0221 \text{ mm} \leq 0.0625 \text{ mm}$$

### e. Factor de seguridad en los rodillos



**Figura 47.** Factor de seguridad del rodillo

$$F_s = \frac{\sigma_{\text{Limite}}}{\sigma_1}$$

$$F_s = \frac{142,6 \text{ Mpa}}{28.3 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 5.03$$

El factor de seguridad obtenido es de 5.03 considera como aceptable.

### 5.7.3. Análisis de simulación rotacional de la base

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BRAZO}} = (\text{Peso}_{\text{GRIPER}} + \text{Peso}_{\text{PIEZAS}} + \text{Peso}_{\text{SERVOS}} + \text{Peso}_{\text{COMPONENTES}} + \text{Peso}_{\text{ENSAMBLES}})$$

\* GRAVEDAD

$$\text{Peso}_{\text{GRIPER}} = 0.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{PIEZAS}} = (40 \text{ gr}) * (12 \text{ unidades}) = 480 \text{ gr} = 0.48 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{SERVOS}} = 0.93 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{COMPONENTES}} = 0.09$$

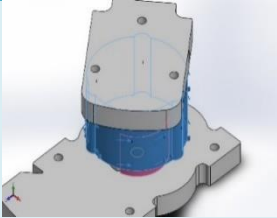
$$\text{Peso}_{\text{ENSAMBLES}} = 0.5$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BRAZO}} = (0.5 + 0.48 + 0.93 + 0.09 + 0.5) * 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL BRAZO}} = 24.5 \text{ N}$$

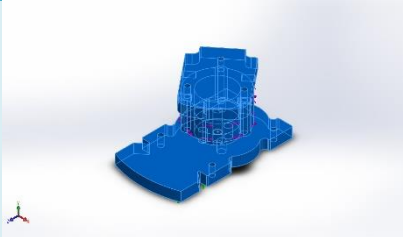
**Tabla 18**

*Propiedades del material de la Base del Brazo Robótico*

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-2		Entidades: <b>6 cara(s)</b> Referencia: <b>Cara&lt; 1 &gt;</b> Tipo: <b>Aplicar momento torsor</b> Valor: <b>24.5 N</b>

**Tabla 19**

*Momento Torsor sobre la estructura de la base del brazo robótico*

Referencia de modelo	Propiedades																		
	<table border="1"> <tr> <td>Nombre:</td> <td>PVC Plastificado</td> <td>0.007</td> </tr> <tr> <td>Límite de tracción:</td> <td>13 N/mm<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Módulo elástico:</td> <td>6 N/mm<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Poisson:</td> <td>0.47</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad:</td> <td>1.29 g/cm<sup>3</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Módulo cortante:</td> <td>2 N/mm<sup>2</sup></td> <td></td> </tr> </table>	Nombre:	PVC Plastificado	0.007	Límite de tracción:	13 N/mm <sup>2</sup>		Módulo elástico:	6 N/mm <sup>2</sup>		Coefficiente de Poisson:	0.47		Densidad:	1.29 g/cm <sup>3</sup>		Módulo cortante:	2 N/mm <sup>2</sup>	
Nombre:	PVC Plastificado	0.007																	
Límite de tracción:	13 N/mm <sup>2</sup>																		
Módulo elástico:	6 N/mm <sup>2</sup>																		
Coefficiente de Poisson:	0.47																		
Densidad:	1.29 g/cm <sup>3</sup>																		
Módulo cortante:	2 N/mm <sup>2</sup>																		

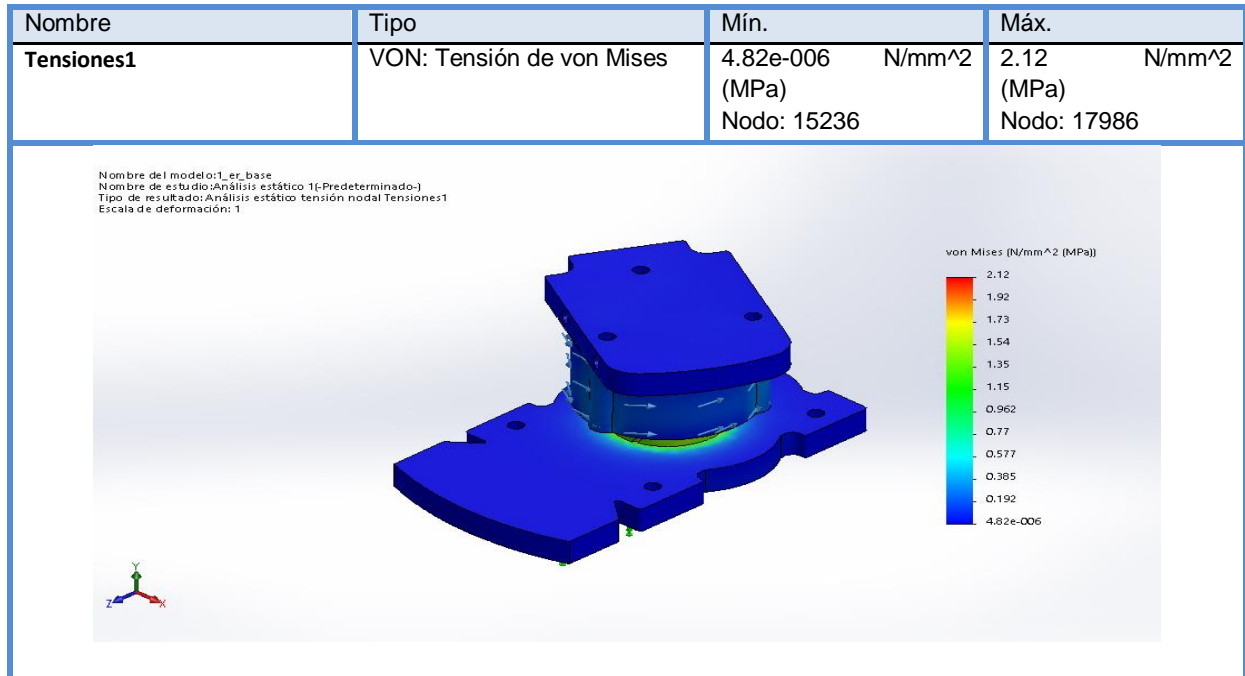
**Tabla 20**

*Información de la malla de la base del robot*

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	0.453007 cm
Tolerancia	0.0226504 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden



### a. Tensión en la base del brazo robótico



**Figura 48.** Tensión equivalente de la base del robot

Para validar el diseño se utiliza la ecuación principal de diseño estructural:

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

Donde:

$F_{\text{CALCULADO}}$  = Es el esfuerzo calculado en un componente estructural sometido a cargas.

$F_{\text{PERMISIBLE}}$  = Es el esfuerzo permisible.

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

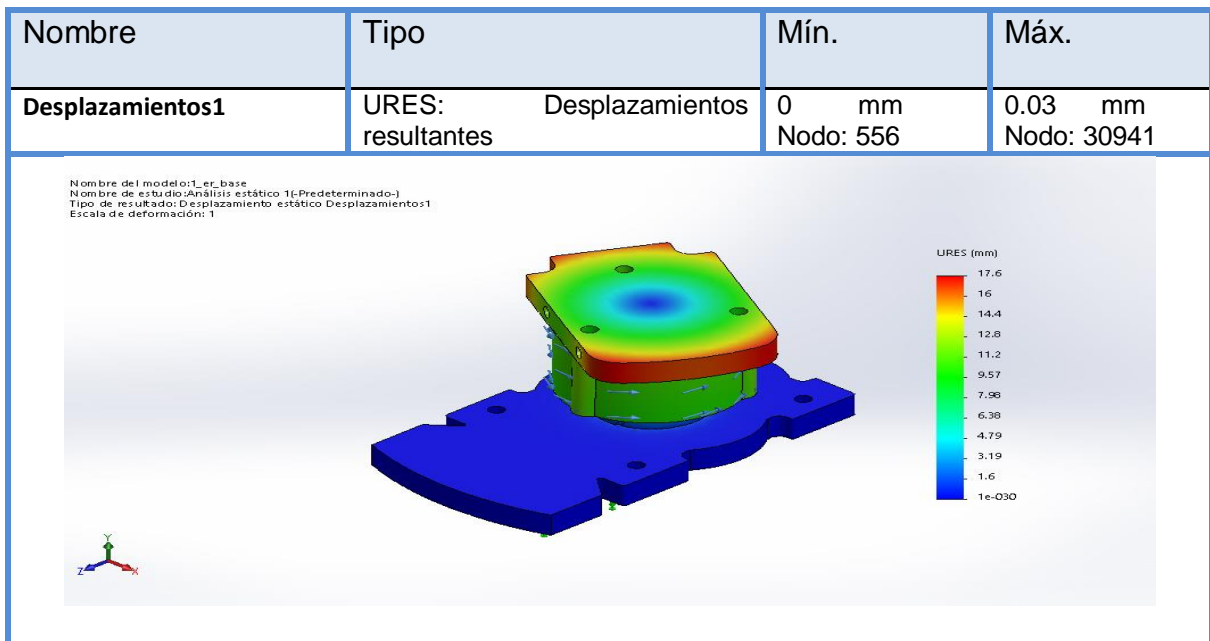
$$2.12 \text{ Mpa} \leq 0.6 S_y$$

$$2.12 \text{ Mpa} \leq 0.6 (13 \text{ Mpa})$$

$$2.13 \text{ Mpa} \leq 7.8 \text{ Mpa}$$

El resultado indica que  $F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$  por lo tanto se indica que la aplicación está correctamente diseñada.

### b. Deformación en la base del brazo robótico



**Figura 49.** Deformación en la base del robot

En la gráfica siguiente se observa que la máxima deformación **0.03 mm**, considerado como un valor aceptable

$$\delta r \leq \left[ \frac{L}{800} \right]$$

**donde :**

$\delta r$  = Deflexión que soporta el aluminio Estructural

$\frac{L}{800}$  = Deflexión permisible de la estructura.

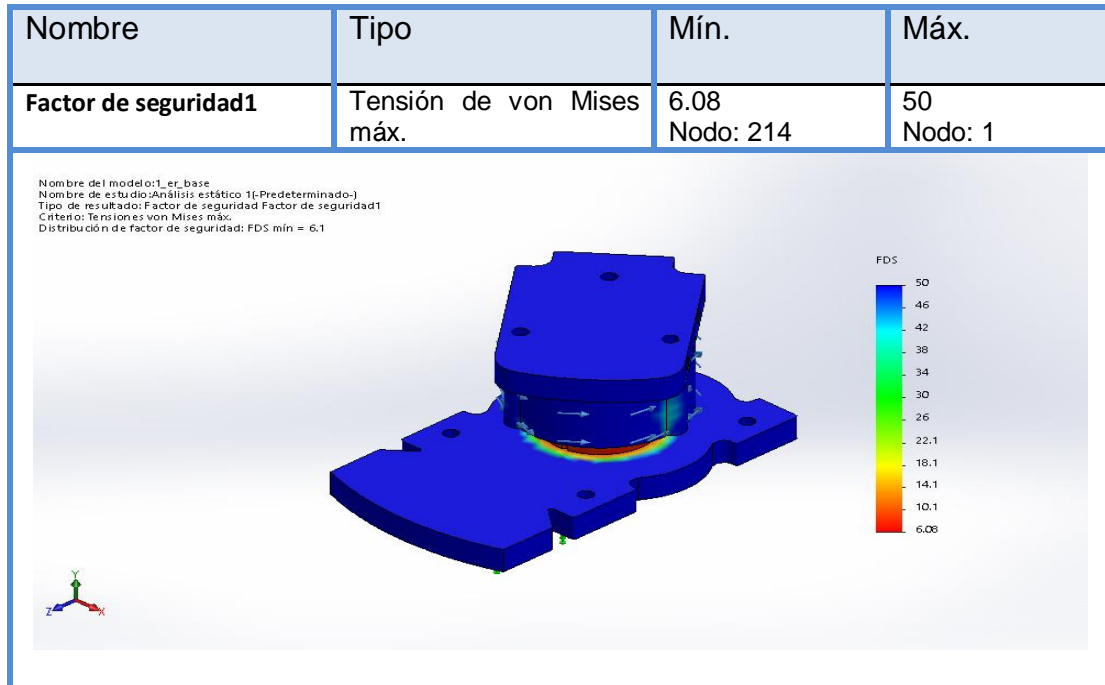
$L$  = longitud de la base.

$$\delta r \leq \left[ \frac{50 \text{ mm}}{800} \right]$$

$$\delta r \leq 0.6 \text{ mm}$$

$$0.03 \text{ mm} \leq 0.0625 \text{ mm}$$

### c. Factor de seguridad en la base del brazo robótico



**Figura 50.** Factor de seguridad en la base del brazo robótico

$$F_s = \frac{\sigma_{Limite}}{\sigma_1}$$

$$F_s = \frac{13 \text{ Mpa}}{2.12 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 6.13$$

El factor de seguridad obtenido es de 6.13 considera como aceptable.

#### 5.7.4. Análisis de la estructura del modulo

**Peso**<sub>TOTAL ESTRUCTURA</sub>

$$= (\text{Peso}_{\text{CINTA}} + \text{Peso}_{\text{PIEZAS}} + \text{Peso}_{\text{BRAZO ROBOTICO}} + \text{Peso}_{\text{ENSAMBLE}} + \text{Peso}_{\text{BANDEJAS}} + \text{Peso}_{\text{CAMARA CON ESTRUCTURA}} \\ + \text{Peso}_{\text{MONITOR}} + \text{Peso}_{\text{TECLADO}} + \text{Peso}_{\text{estructura de aluminio}}) * \text{GRAVEDAD}$$

$$\text{Peso}_{\text{PIEZAS}} = (40 \text{ gr}) * (12 \text{ unidades}) = 480 \text{ gr} = 0.48 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{BRAZO ROBOTICO}} = 2 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{ENSAMBLE}} = 0.15 \text{ kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{BANDEJAS}} = 2 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{CAMARA CON ESTRUCTURA}} = 0.75 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{MONITOR}} = 2.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{TECLADO}} = 0.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{estructura de aluminio}} = 2 \text{ Kg}$$

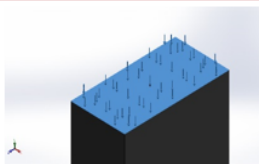
$$\text{Peso}_{\text{TOTAL estructura}} = (0.2 \text{ Kg} + 0.48 \text{ Kg} + 2 \text{ Kg} + 0.15 \text{ Kg} + 2 + 0.75 + 2.5 + 0.5 + 2) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL estructura}} = (10.58 \text{ kg}) * (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL estructura}} = 103.68 \text{ N}$$

**Tabla 21**

*Información de la carga aplicada*

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 103.68 N</p>

**Tabla 22**

*Propiedades del material en el módulo*

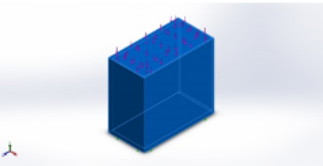
Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: Fundición gris
	Límite de tracción: 151.658 N/mm <sup>2</sup>
	Límite de compresión: 572.165 N/mm <sup>2</sup>
	Módulo elástico: 66178.1 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson: 0.27
	Densidad: 7.2 g/cm <sup>3</sup>
	Módulo cortante: 50000 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-005 /Kelvin

Tabla 23

## Información de la malla de la estructura del módulo

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.61614 cm
Tolerancia	0.180807 cm
Número total de nodos	17139
Número total de elementos	8850
Cociente máximo de aspecto	21.741
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	74
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.72

Nombre del modelo: Pieza1\_mezcambiasaar  
Nombre de estudio: Análisis estático estructura (Predeterminado)  
Tipo de malla: Malla sólida



## a. Tensión equivalente en la estructura del modulo

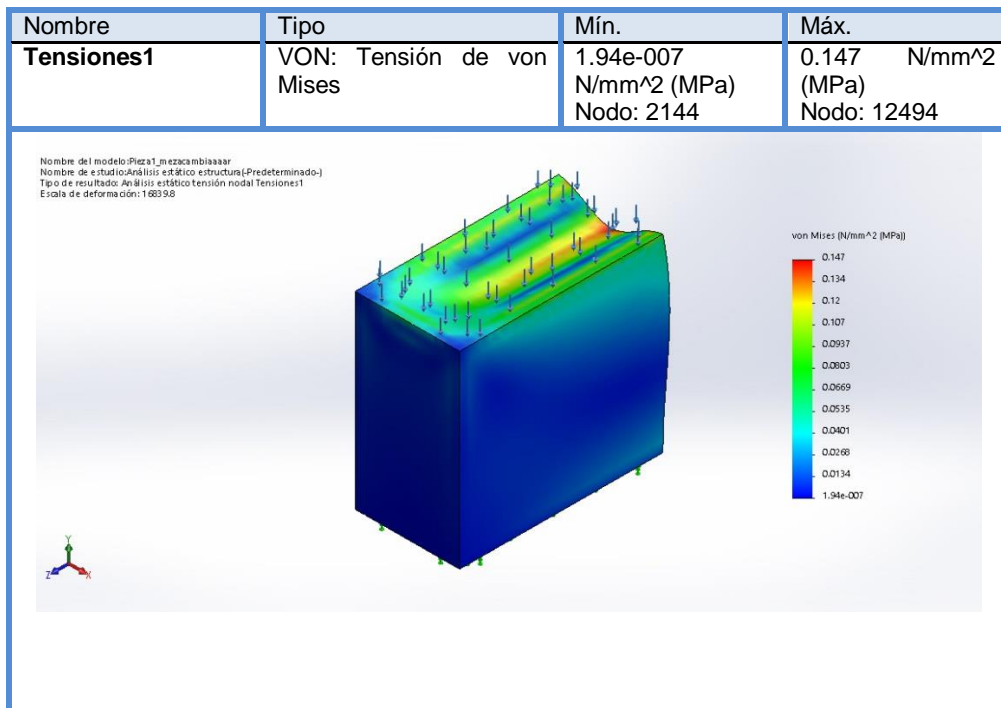


Figura 51. Tensión equivalente en la estructura del modulo

Para validar el diseño se utiliza la ecuación principal de diseño estructural:

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

Donde:

$F_{\text{CALCULADO}}$  = Es el esfuerzo calculado en un componente estructural sometido a cargas.

$F_{\text{PERMISIBLE}}$  = Es el esfuerzo permisible.

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

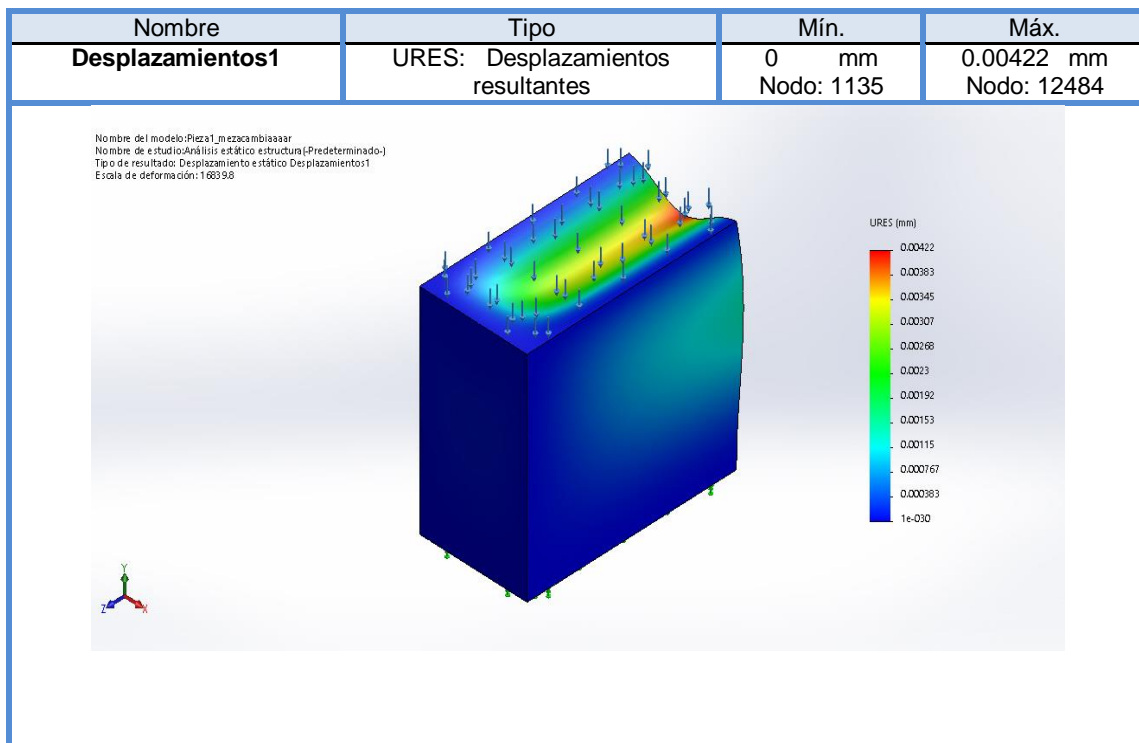
$$0.147 \text{ Mpa} \leq 0.6 S_Y$$

$$0.147 \text{ Mpa} \leq 0.6 ( 151.65 \text{ Mpa})$$

$$0.147 \text{ Mpa} \leq 90.99 \text{ Mpa}$$

El resultado indica que  $F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$  por lo tanto se indica que la aplicación está correctamente diseñada.

## b. Deformación en la estructura del modulo



**Figura 52.** Desplazamiento en la estructura del modulo

En la gráfica siguiente se observa que la máxima deformación 0.00422 mm, considerado como un valor aceptable

$$\delta r \leq \left[ \frac{L}{800} \right]$$

donde :

$\delta r$  = Deflexión que soporta el aluminio Estructural

$\frac{L}{800}$  = Deflexión permisible de la estructura.

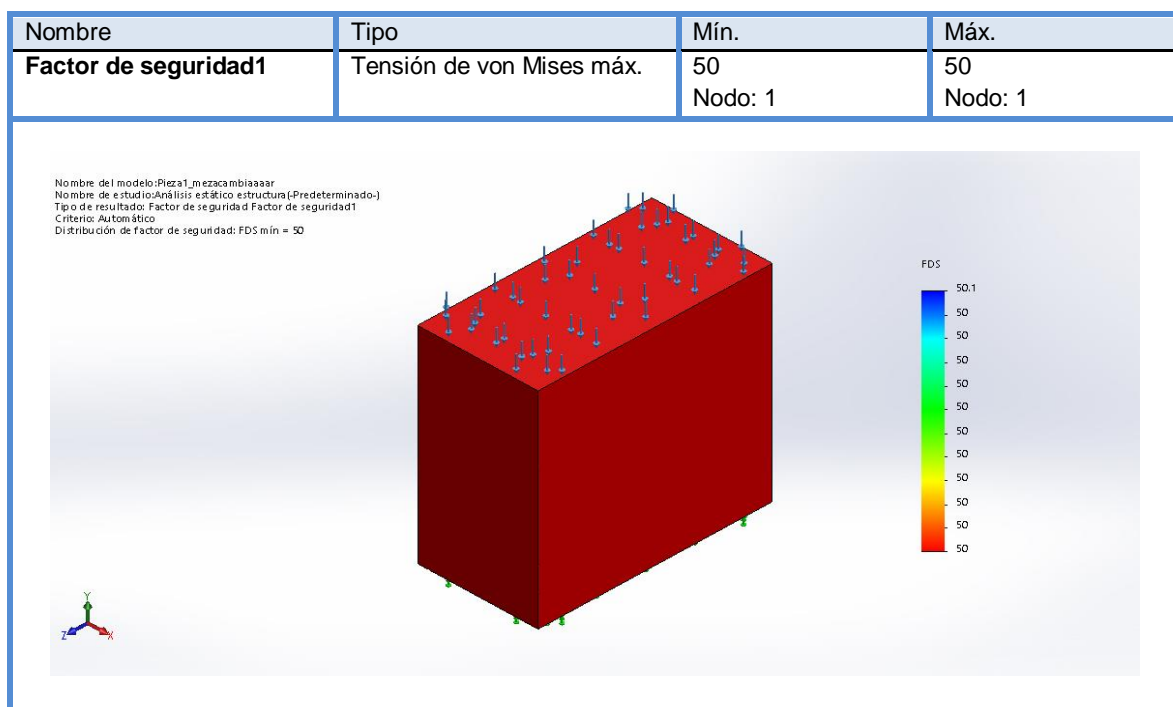
$L$  = longitud del rodillo.

$$\delta r \leq \left[ \frac{710 \text{ mm}}{800} \right]$$

$$\delta r \leq 0.6 \text{ mm}$$

$$0.00422 \text{ mm} \leq 0.885 \text{ mm}$$

### c. Factor de seguridad en la estructura del modulo



**Figura 53.** Factor de seguridad en la estructura del modulo

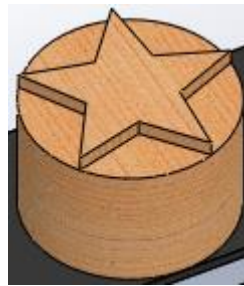
$$F_s = \frac{\sigma_{Limite}}{\sigma_1}$$

$$F_s = \frac{151.65 \text{ Mpa}}{0.147 \text{ Mpa}}$$

$F_s = 5.03$  El factor de seguridad obtenido es de 5.03 considera como aceptable

### 5.7.5. Características de las Piezas Didácticas

Para realizar el proceso de selección se necesitó construir piezas (ver Figura 55) que permitan la fácil movilidad del brazo robótico de tal modo que según el tipo de pieza que se construya será más fácil cada movimiento y ubicación del mismo según esto a continuación se especifica las características de la pieza (ver tabla 24).



**Figura 54.** Modelado de la pieza

**Tabla 24**

*Dimensiones de las piezas didácticas*

Denominación	Color de pieza
<b>Material</b>	Nylon
<b>Dimensiones</b>	Ancho 40 mm
	Altura 25 mm
<b>Masa de carga</b>	0.0563 kg
<b>Peso unitario</b>	0.55 N

Una vez conocidas las características de las piezas se procedió a realizar figuras que permitan clasificar según su forma y pintar cada elemento para realizar la selección según su color (ver tabla 25).



Tabla 25

*Características de las piezas según su forma y color*

Imagen	Forma	Color
	Triangular	Blanco
	Cuadrada	Blanco
	Hexagonal	Blanco
	Estrella	Blanco
	Triangular	Amarillo
	Cuadrada	Amarillo
	Hexagonal	Amarillo
	Estrella	Amarillo
	Triangular	Azul
	Cuadrada	Azul
	Hexagonal	Azul
	Estrella	Azul

Tabla 26

*Propiedades de las piezas didácticas*

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	Nailon 6/10
	Limite elástico:	139.043 N/mm <sup>2</sup>
	Limite de tracción:	142.559 N/mm <sup>2</sup>
	Módulo elástico:	8300 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson:	0.28
	Densidad:	1.4 g/cm <sup>3</sup>
	Módulo cortante:	3200 N/mm <sup>2</sup>
	Coefficiente de dilatación térmica:	3e-005 /Kelvin

Tabla 27

*Cargas aplicadas en las piezas didácticas*

	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 10 Unidades: kgf/cm <sup>2</sup> Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
Gravedad-1		Referencia: Cara< 1 > Valores: 0 0 9.81 Unidades: m/s <sup>2</sup>

Tabla 28

## Información de malla de las piezas didácticas

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	0.320783 cm
Tolerancia	0.0160391 cm
Número total de nodos	11371
Número total de elementos	7537
Cociente máximo de aspecto	7.3525



## a. Tensión equivalente en las piezas didácticas

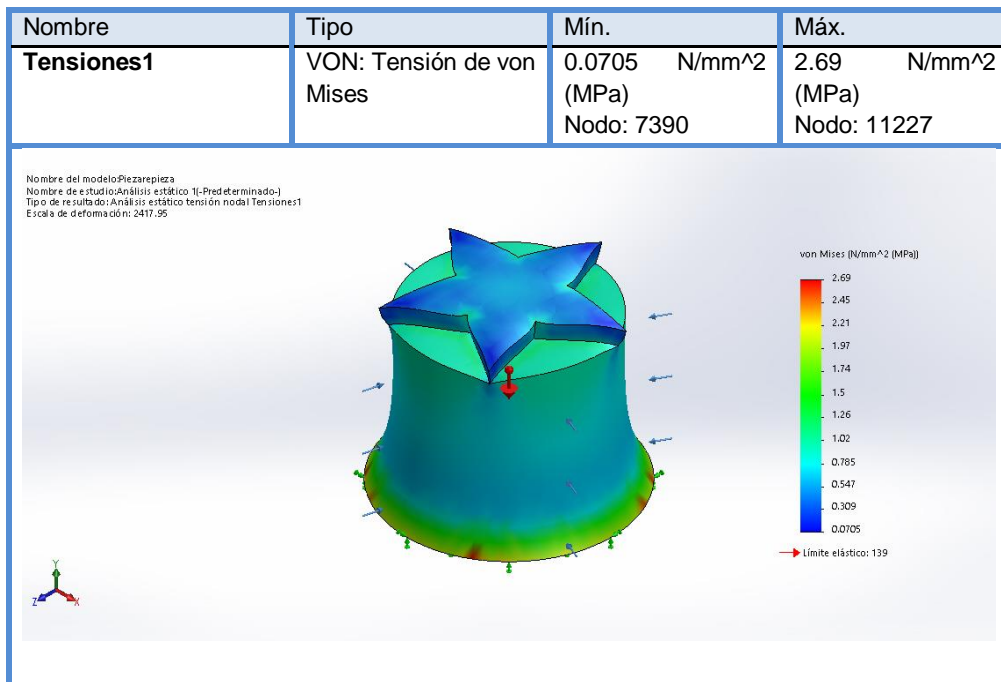


Figura 55. Tensión equivalente (Von – Mises)

Para validar el diseño se utiliza la ecuación principal de diseño estructural:

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

Donde:

$F_{\text{CALCULADO}}$  = Es el esfuerzo calculado en un componente estructural sometido a cargas.

$F_{\text{PERMISIBLE}}$  = Es el esfuerzo permisible.

$$F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$$

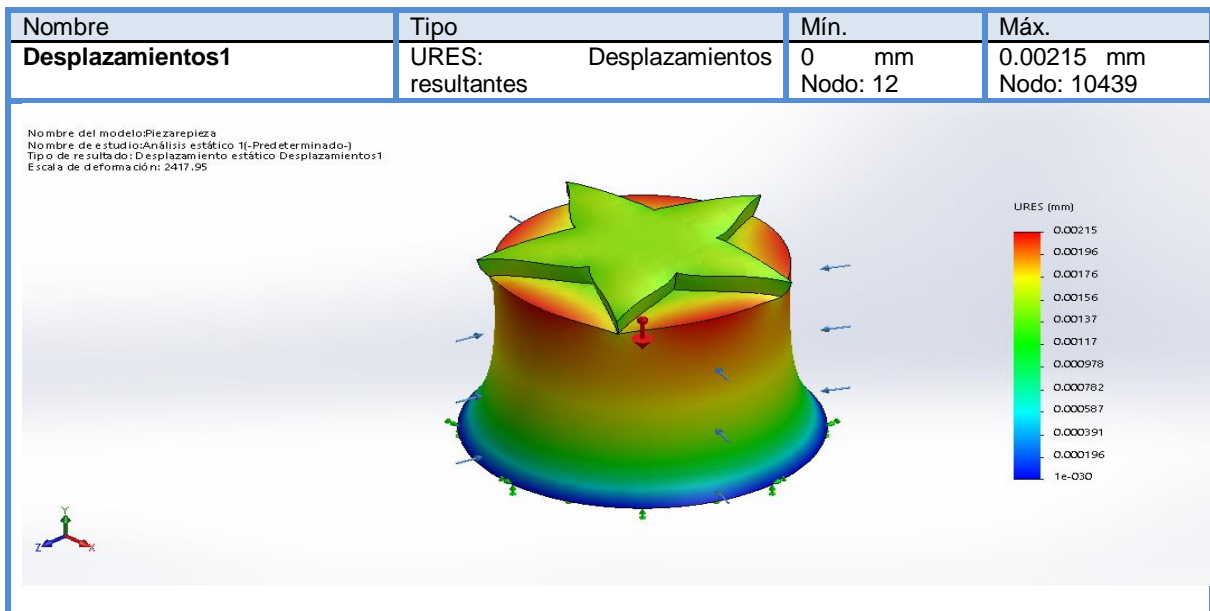
$$2.69 \text{ Mpa} \leq 0.6 S_y$$

$$2.69 \text{ Mpa} \leq 0.6 ( 142.6 \text{ Mpa})$$

$$28.3 \text{ Mpa} \leq 85.56 \text{ Mpa}$$

El resultado indica que  $F_{\text{CALCULADO}} \leq F_{\text{PERMISIBLE}}$  por lo tanto se indica que la aplicación está correctamente diseñada.

## b. Desplazamiento en las piezas didácticas



**Figura 56.** Desplazamiento de las piezas didácticas

En la gráfica siguiente se observa que la máxima deformación **0.00221 mm**, considerado como un valor aceptable

$$\delta r \leq \left[ \frac{L}{800} \right]$$

donde :

$\delta r$  = Deflexión que soporta el aluminio Estructural

$\frac{L}{800}$  = Deflexión permisible de la estructura.

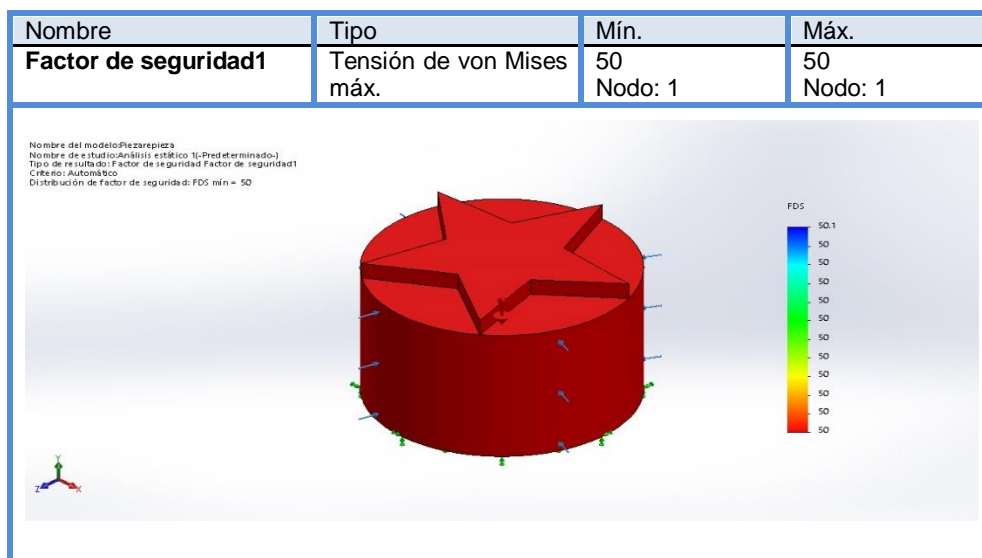
$L$  = longitud del rodillo.

$$\delta r \leq \left[ \frac{50 \text{ mm}}{800} \right]$$

$$\delta r \leq 0.6 \text{ mm}$$

$$0.00221 \text{ mm} \leq 0.0625 \text{ mm}$$

### c. Factor de seguridad en las piezas didácticas



**Figura 57.** Factor de seguridad en las piezas didácticas

$$F_s = \frac{\sigma_{Limite}}{\sigma_1}$$

$$F_s = \frac{142,6 \text{ Mpa}}{2.69 \text{ Mpa}}$$

$F_s = 53$  El factor de seguridad obtenido es de 53 considera como aceptable.

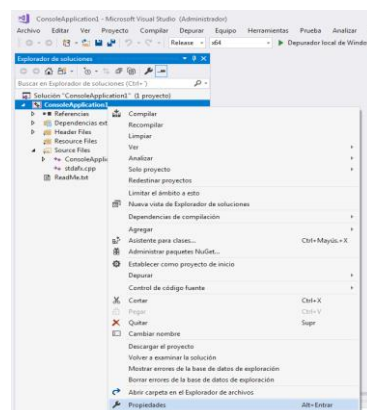
## 5.8. Implementación del sistema de control del proceso.

Para realizar e iniciar el proceso se adquirió un CPU CORE 2 DUO y un arduino que se comunicaran entre sí para realizar los diversos movimientos requeridos para la clasificación de las piezas; debido a esto se instaló en el CPU los programas que permitirán el control.

### 5.8.1 Instalación de las librerías de open CV

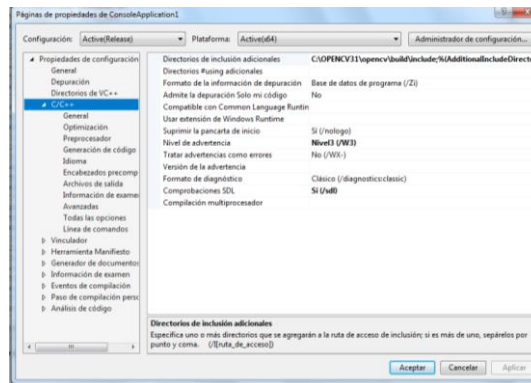
OpenCV (Open Source Computer Vision Library) implementa una gran variedad de herramientas para la interpretación de la imagen, es principalmente una librería que implementa varios algoritmos y técnicas para la detección de rasgos, para rastrear, análisis de la formas geométricas, análisis del movimiento, reconstrucción 3D, segmentación de objetos y reconocimiento de gestos, rostros, etc. (OpenCV, 2018). Una vez creado el proyecto en visual studio, hay que integrar las librerías de openCV con los siguientes procedimientos.

- a) Clic derecho en ConsoleApplication/propiedades (ver figura 59 ).



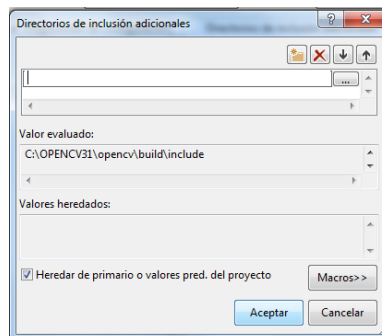
**Figura 58.** Inclusiones adicionales e Importar librerías opencv.

b) Aparecerá una ventana extra de propiedades del proyecto (ver figura 60).



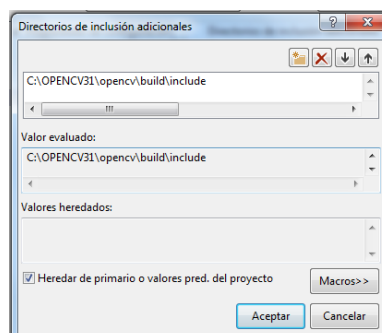
**Figura 59.** Inclusión adicional.

c) Dar clic en “Directorios de inclusión adicionales” y se abre una ventana adicional (ver figura 61).



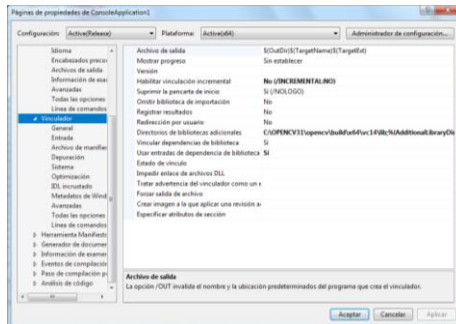
**Figura 60.** Direccionar inclusión adicional de openCV

d) Copiar la dirección del lugar que esta el compilador de openCV (ver figura 62)



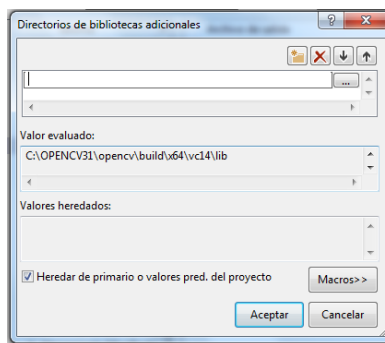
**Figura 61.** Aceptar dirección de openCV

e) Además se necesita vincular las librerías openCV con Visual Studio, estas librerías serán primordiales para la detección de objetos, clic en “Vinculador” y “directorios de bibliotecas adicionales” (ver figura 63).



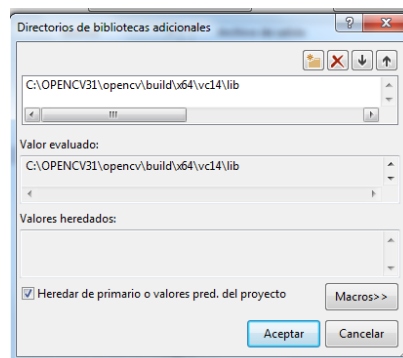
**Figura 62.** Importar librerías adicionales

e) Aparece una ventana extra para añadir un directorio (ver figura 59).



**Figura 63.** Direccional librería necesaria

f) Copiar el directorio de las librerías de openCV y pegar (ver figura 65).



**Figura 64.** Direccional el directorio de las librerías opencv

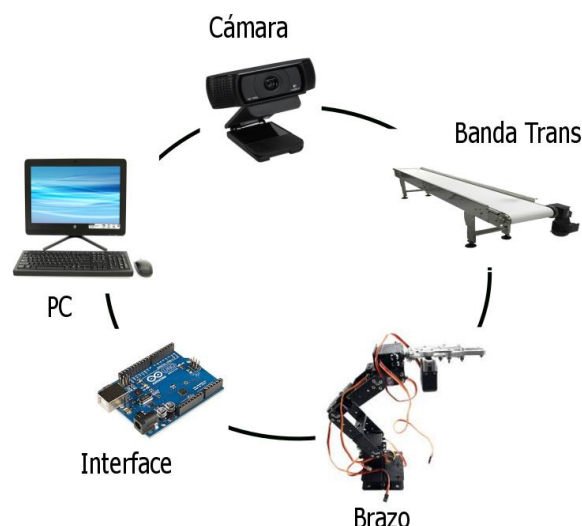


### 5.8.2. Implementación de código

Para el control se usa básicamente Visual Studio, OpenCV, Arduino IDE y Unity ; como programas complementarios se usa LabView, SolidWork, 3DS Max, en si el proceso se resume y se toma el siguiente orden.

1. La banda transportadora lleva consigo un objeto.
2. Una cámara (Sensor) monitorea el objeto en la banda transportadora.
3. La pc con un software, usa un determinado algoritmo para la clasificación del objeto de acuerdo a la forma y color.
4. El brazo toma el objeto que la cámara detectó y coloca el objeto en un recipiente dado.

Para llevar a cabo estos procesos físicamente se implementa como se muestra en la figura 66:

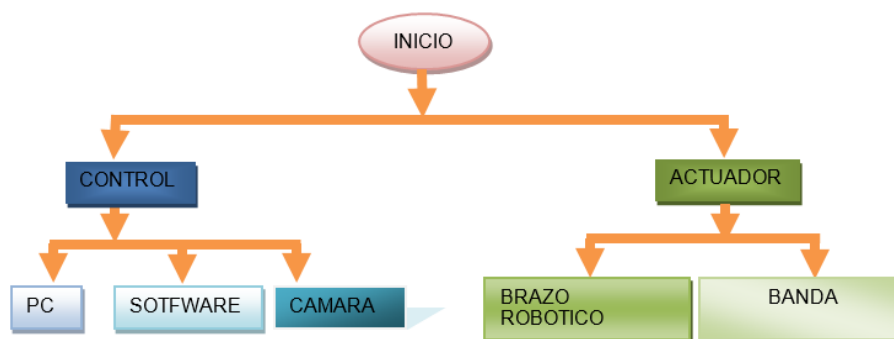


**Figura 65.** Implementación del hardware.

El desarrollo empieza con la programación del brazo, para lo cual se usa una tarjeta arduino uno como interface y se programa en Arduino IDE como tarjeta de

control del brazo robótico para la clasificación de objetos, la cámara actuará como sensor para la detección de objetos que constantemente será monitoreado para la detección del objeto objetivo.

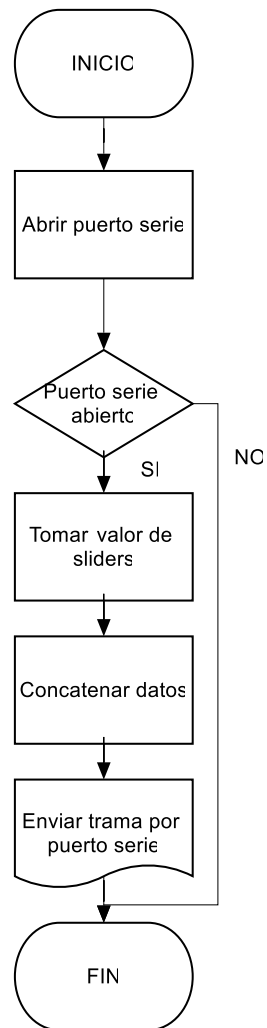
Para llevar a cabo la clasificación de los objetos se divide en el control para clasificar objetos y el control del brazo robótico; algoritmos que se explicarán posteriormente.



**Figura 66.** Etapas para el control de clasificación de objetos

### 5.8.3. Control del brazo robótico

Cada grado de libertad es controlado por un servo y dicho servo es controlado por un pin PWM de arduino uno, ya que al servo se lo controla por el ancho de pulso comprendido entre 1ms y 2ms, siendo 0 grados y 180 grados respectivamente, como el brazo es de 6 grados de libertad es decir 6 servos se necesita 6 salidas PWM, estas salidas poseen la tarjeta arduino uno. El control clásico sería controlar servo por servo es decir se movería primero un movimiento luego otro hasta completar los 6 movimientos, sin embargo, se desarrolló un algoritmo de control donde se puede controlar paralelamente (Figura 68).



**Figura 67.** Diagrama de flujo para control manual del brazo robótico.

```

if( diff1!=0.0 || diff2!=0.0 || diff3!=0.0 || diff4!=0.0 || diff5!=0.0 )
for( int i=1; i<=STEP0; i++ ){
  setServo( 1, pos1+(diff1*i) );
  setServo( 2, pos2+(diff2*i) );
  setServo( 3, pos3+(diff3*i) );
  setServo( 4, pos4+(diff4*i) );
  setServo( 5, pos5+(diff5*i) );
  delay( TIME1 );
}
  
```

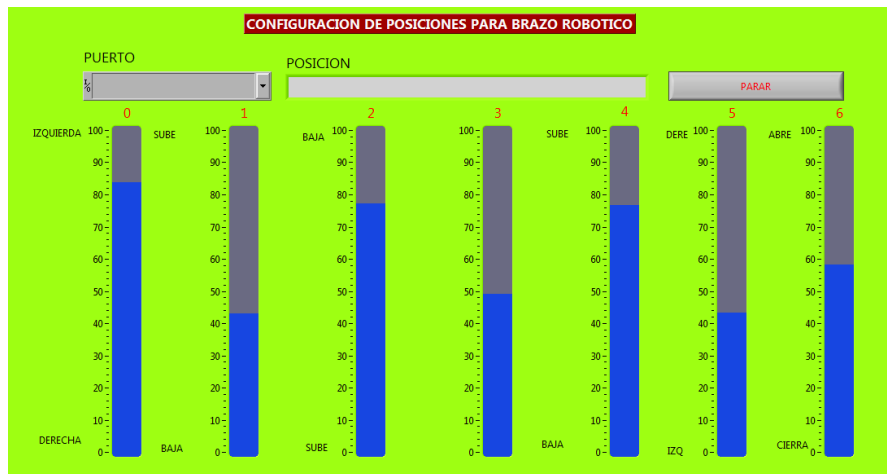
**Figura 68.** Algoritmo para el control paralelo en Arduino

De esta manera se puede controlar desde 1 hasta los n servos que tenga de forma simultánea (Figura 69), el control que se realiza al brazo robótico es por posiciones; es decir internamente en la interface estará guardado las posiciones que el brazo que deba seguir, para obtener dichas posiciones se ha utilizado un HMI

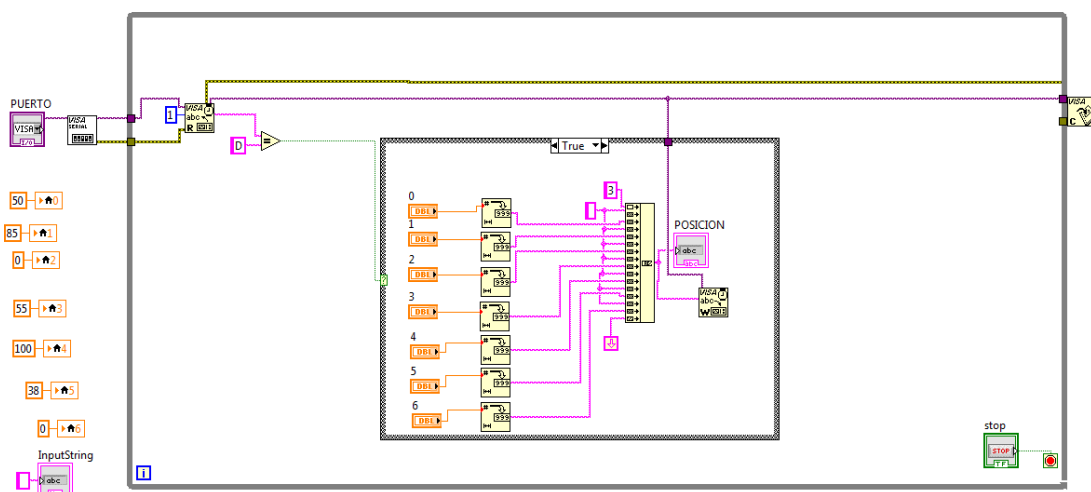
para la interacción manual con el brazo.

#### 5.8.4. Ajuste de posiciones

Para el ajuste de posiciones por facilidad y rapidez se ha programado en bloques de LabView (Figura 70) y se ha diseñado una amigable interface (Figura 71) para el manejo de cada grado de libertad del brazo, cada slider manipula un grado de libertad del brazo robótico y conjuntamente con el valor de todos se envía una cadena de caracteres para que la tarjeta siga dichas instrucciones de movimiento.



**Figura 69.** HMI para interacción con el brazo robótico.

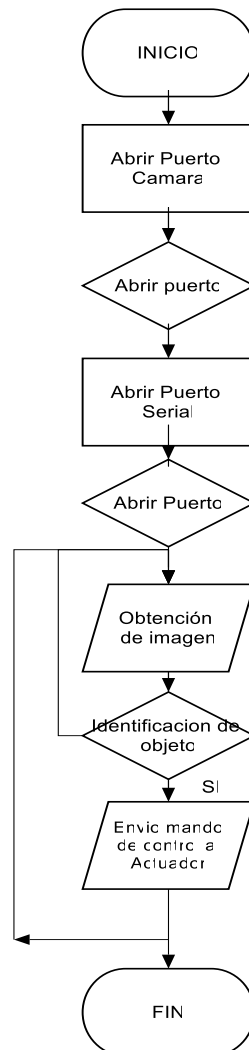


**Figura 70.** Diagrama de bloques del HMI labView.

Una vez ajustado los valores y posiciones de cada servo o grado de libertad se procede a implementar el código en c++ junto con las librerías en openVC.

### 5.8.5. Algoritmo para la detección de objetos

En general para la detección de objetos y enviar mandos de control al robot sigue los siguientes pasos (Figura 72), pasos que se explicara posteriormente, incluyendo las librerías que se necesita para el manejo de interfaces de entrada y salida como es cámara y puerto serial.



**Figura 71.** Diagrama de flujo detección de objetos y control.

En si se programó en c++ y se necesita las librerías para facilitar el manejo de imágenes y puertos de entrada que anteriormente fueron integradas en visual studio.

Las librerías necesarias que visual estudio utiliza son:

- `#include "stdafx.h"`: llamado también pre compilador, un encabezado para que compile solo una vez.
- `#include <Windows.h>`: Define una gran cantidad de funciones específicas de Windows que se pueden usar en C.
- `#include <cmath>`: define el uso de funciones matemáticas.

Además, se usa las siguientes librerías para el manejo de la cámara, entrada y salida de datos por el puerto serie.

- `#include <opencv2\highgui\highgui.hpp>` : manejo de cámara.
- `#include <opencv2\imgproc\imgproc.hpp>`: editar y extraer propiedades de imagen.
- `#include <iostream>`: manejo de periféricos de entrada y salida.

Una vez declarado las librerías necesarias, declaramos constantes por defecto que usaremos en adelante.

- `#define OFFSET 10`: constante mínimo para eliminación de ruido.

Constantes mínimas de área el reconocimiento del objeto para cada color.

- `#define OFF_A`      5000
- `#define OFF_V`      5000
- `#define OFF_B`      5000
- `#define OFF_OBJ`    5000

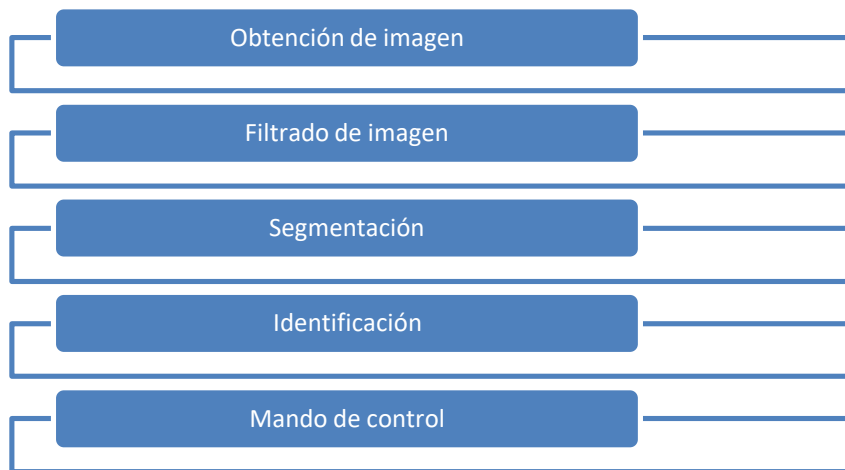
Inicialmente el programa abre los periféricos de entrada y salida como son la cámara y puerto serie con las siguientes instrucciones: `camera.open(0)`; como es la única cámara que estará conectada asignamos sin problema el valor 0, para abrir el puerto serie en la que está la tarjeta, se usa el comando `CreateFile`.

Una vez abierto el puerto serie asignamos parámetros esenciales como:

- `serialParams.BaudRate = CBR_9600;`
- `serialParams.ByteSize = 8;`
- `serialParams.StopBits = ONESTOPBIT;`
- `serialParams.Parity = NOPARITY;`

#### **5.8.6. Reconocimiento de objetos**

Para el reconocimiento de objeto por color y forma se sigue los siguientes 5 pasos (ver figura 73):



**Figura 72.** Diagrama para el reconocimiento de objetos

### **a. Obtención de la imagen**

El comando `camera.read(src)` se obtiene la imagen y la guarda en una variable, hay que tener en cuenta que la cámara captura imágenes de forma rápida y esa rapidez hace se vea en forma de video.

### **b. Filtrado de imagen**

Es el conjunto de técnicas englobadas dentro del preprocesamiento de imágenes cuyo objetivo fundamental es obtener, a partir de una imagen origen, otra final cuyo resultado sea más adecuado, mejorando ciertas características de la misma, que posibilite efectuar operaciones del procesado sobre ella.



Los principales objetivos que se persiguen con la aplicación de filtros son:

- Suavizar la imagen: reducir la cantidad de variaciones de intensidad entre píxeles vecinos.
- Eliminar ruido: eliminar aquellos píxeles cuyo nivel de intensidad es muy diferente al de sus vecinos y cuyo origen puede estar tanto en el proceso de adquisición de la imagen como en el de transmisión.
- Realzar bordes: destacar los bordes que se localizan en una imagen.
- Detectar bordes: detectar los píxeles donde se produce un cambio brusco en la función intensidad. (Dr. Ing. Antonio Valles Romero,2015)

### **c. Segmentación**

El objetivo de la segmentación es simplificar y/o cambiar la representación de una imagen en otra más significativa y más fácil de analizar. La segmentación se usa tanto para localizar objetos como para encontrar los límites de estos dentro de una imagen.

Para llevar a cabo la segmentación se aplica filtros especiales que proporciona openCV para el manejo de imágenes.

RANGO: `inRange(src, Scalar(0x00, 0x96, 0xe6), Scalar(0xf0, 0xff, 0xff), srcA)`

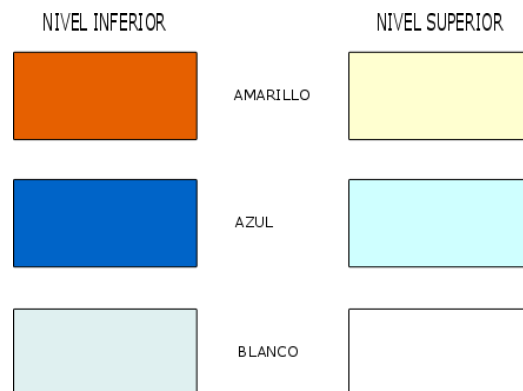
DILATAR: `dilate(srcA, srcA, Mat(), Point(-1, -1), 3);`

EROSIONAR: `erode(srcA, srcA, Mat(), Point(-1, -1), 7);`

PIXELES: amarillo = countNonZero(srcA);// -OFF\_A;

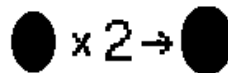
CONDICIÓN: if (amarillo < OFF\_OBJ) amarillo = 0;

- **Rango:** visualiza solo los pixeles que cumplan con los valores comprendidos entre el nivel inferior y superior, de acuerdo a la figura 74 se da un rango para separar los pixeles a acuerdo al color.



**Figura 73.** Límites para segmentación por color

- **Dilatar:** Este filtro amplía y realza las zonas oscuras, para cada píxel de la imagen, alinea el valor del píxel (luminosidad) con el valor más bajo (el más oscuro), se añade un píxel oscuro en las áreas oscuras. Un píxel aislado en un fondo más claro se cambiará por un gran "píxel" y eso creará ruido en la imagen (Figura 75).



**Figura 74.** Imagen dilatada.

- **Erosionar:** El filtro ensancha y realza las zonas, para cada píxel de la imagen, alinea el valor del píxel (luminosidad) con el valor más alto (el más claro). Así se añade un píxel claro sobre áreas claras. Se borrará un píxel aislado en un

fondo más claro. Un área clara más grande se dilatará en un píxel en todas las direcciones (figura 76).



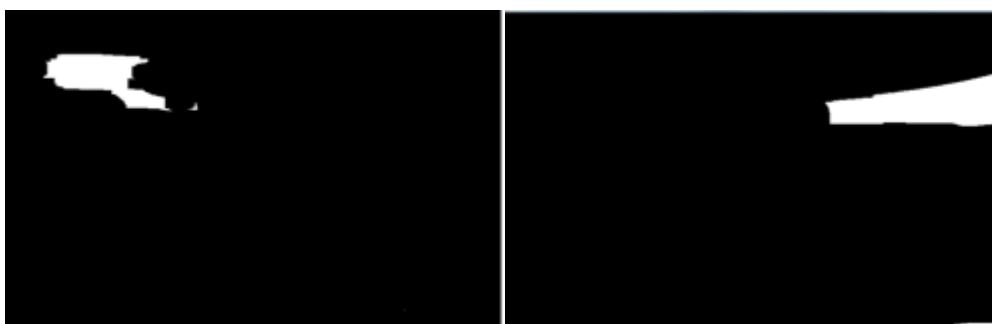
**Figura 75.** Imagen erosionada.

Se tiene una original figura 77-a. a partir de ella, se binariza por cada color, para el caso del color azul se obtiene muy definido la figura 77-b.



a)

b)



c)

d)

**Figura 76.** a) Imagen original. b),c), d) segmentación de la imagen

Finalmente calcula el área del objeto en pixeles y aplica condición para guardar el valor del color y luego completar con la identificación.

#### d. Identificación

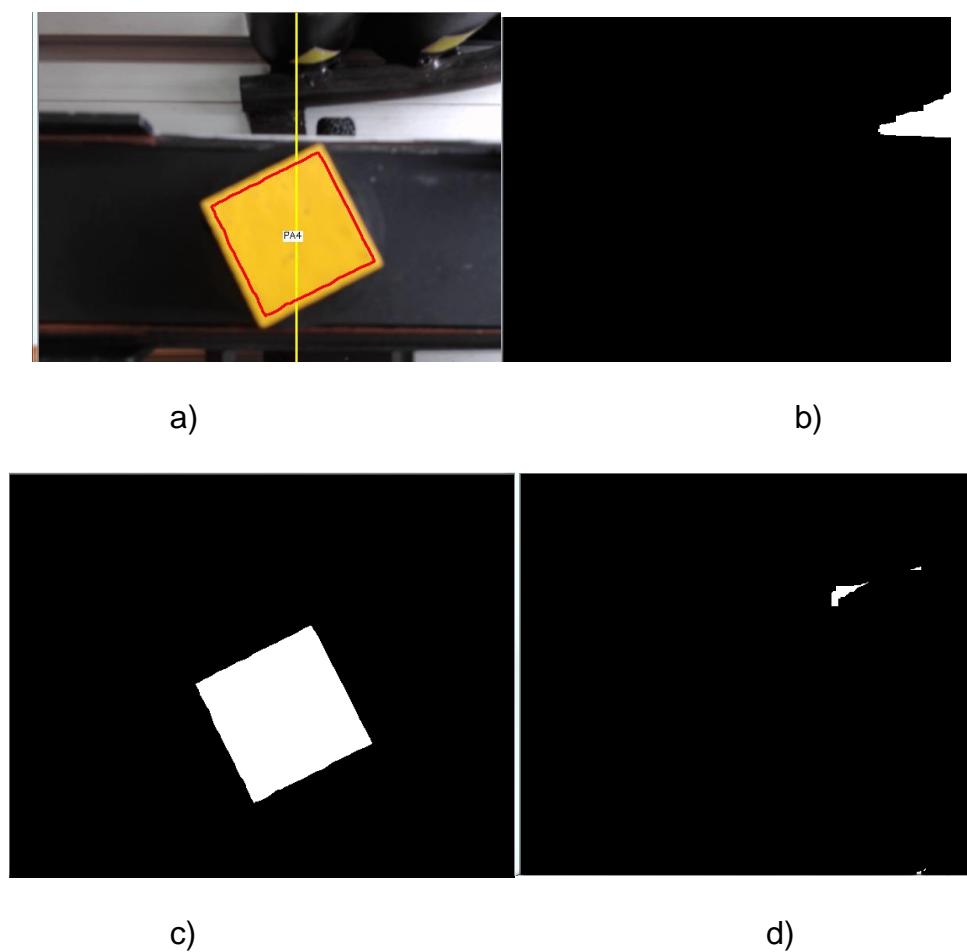
También llamado reconocimiento de formas el cual consiste en el reconocimiento de patrones de señales. Los patrones se obtienen a partir de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción donde cada objeto queda representado por una colección de descriptores. El sistema de reconocimiento debe asignar a cada objeto su categoría o clase (conjunto de entidades que comparten alguna característica que las diferencia del resto).

Para la identificación se toma en cuenta el número de bordes que se obtiene con la función `findContours(imagen)` ; con el resultado se compara con la tabla (29) para asignar al tipo de figura que pertenece así se indica en la figura 78-a, la imagen original trazado los bordes de color rojo es el resultado de la segmentación e identificación.

**Tabla 29**

*Número de bordes acuerdo a su figura a identificar*

FIGURA	NUMERO DE BORDE
<b>Triangulo</b>	3
<b>Cuadrado</b>	4
<b>Estrella</b>	9
<b>Pentágono</b>	6



**Figura 77.** a) Imagen original. b),c), d) segmentación de la imagen

Finalmente se ha resumido en un diagrama de bloques (Figura 79) el funcionamiento total que conlleva todos procesos anteriores, de esta manera se clasifican los objetos.

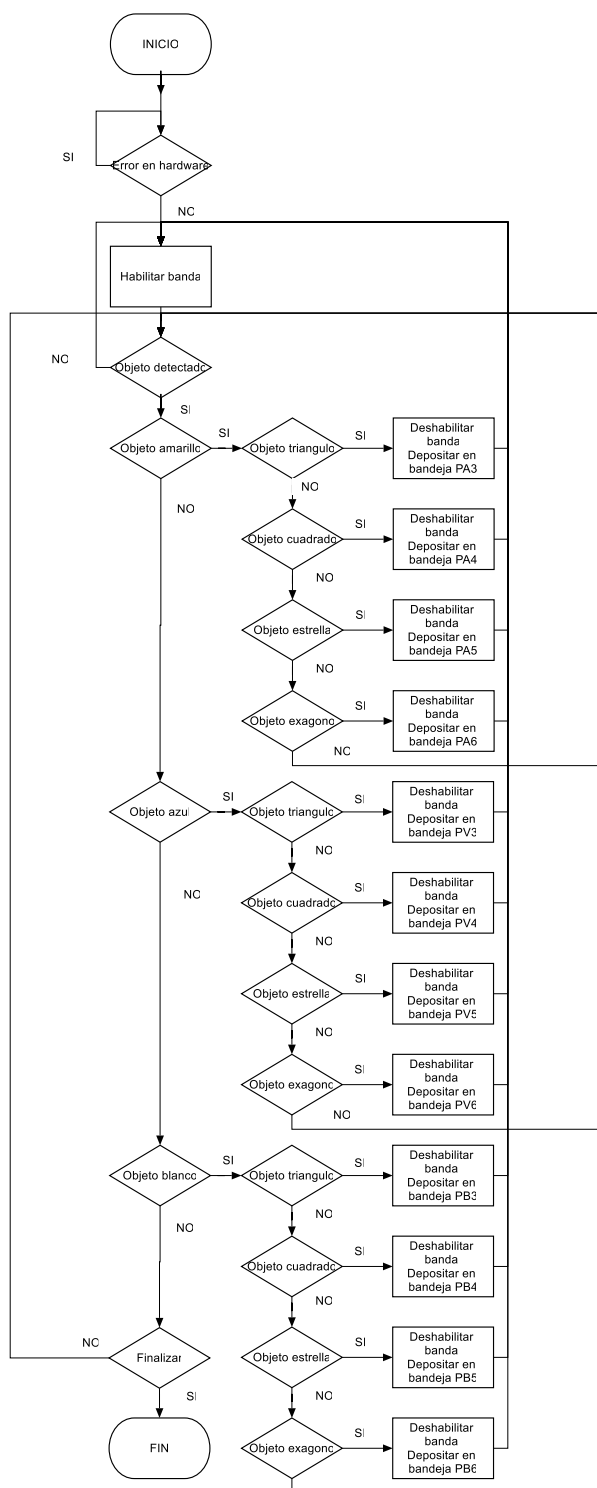


Figura 78. Diagrama de flujo de movimientos según forma y color

### e. Control del brazo por puerto serie

Finalmente envía por el puerto serial una trama indicando el tipo de objeto que se ha detectado para que la banda transportadora se detenga e inmediatamente el brazo tome al objeto y lo clasifique, la clasificación según la trama se muestra en la tabla 30.

**Tabla 30**

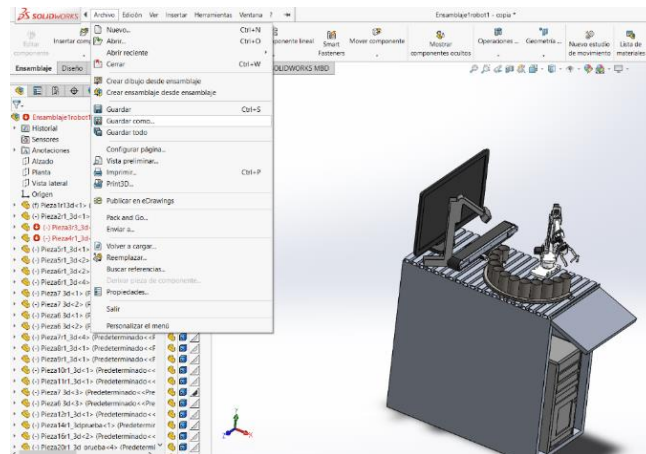
*Función de carácter o trama*

Trama o carácter	Definición
<b>I</b>	Inicia funcionamiento del brazo
<b>S</b>	Para el funcionamiento del brazo
<b>PA3</b>	Triangulo amarillo
<b>PA4</b>	Cuadrado amarillo
<b>PA5</b>	Pentágono amarillo
<b>PA6</b>	Estrella amarillo
<b>PV3</b>	Triangulo azul
<b>PV4</b>	Cuadrado azul
<b>PV5</b>	Pentágono azul
<b>PV6</b>	Estrella azul
<b>PB3</b>	Triangulo blanco
<b>PB4</b>	Cuadrado blanco
<b>PB5</b>	Pentágono blanco
<b>PB6</b>	Estrella blanco

### 5.8.7. UNITY

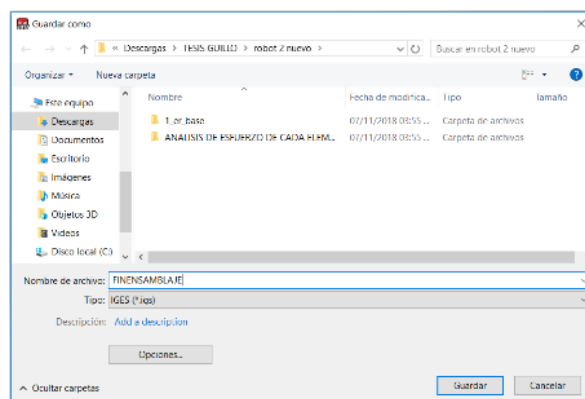
Para visualizar la animación en Unity y tiempo real, es necesario convertir lo archivos diseñados en Solid Word a FBX, sin embargo la conversión no es posible directamente en SolidWord, más bien se usa un intermediario como es 3DS Max de Autodesk. Para la conversión, se sigue los siguientes pasos.

- a. Abrir el archivo en solid work, Archivo>Guardar como (ver figura 80):



**Figura 79.** Paso1, guardar como.

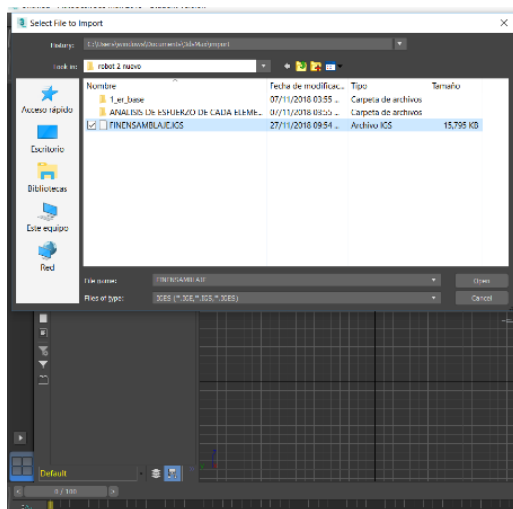
- b) Guardar en formato igs (ver figura 81):



**Figura 80.** Paso 2, Guardar.

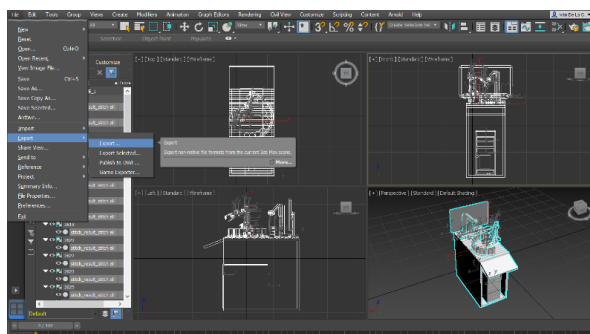


c) En Autodesk 3DS MAX se importa el archivo (ver figura 82):



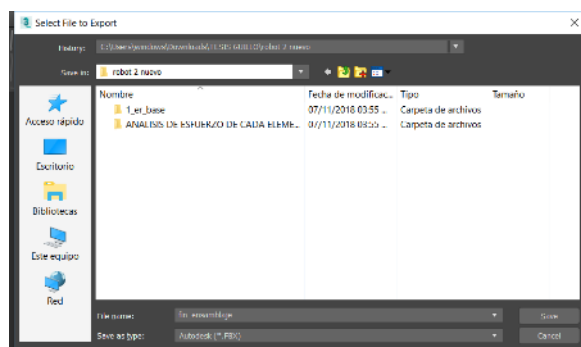
**Figura 81.** Paso 3. Importar el archivo en 3DS MAX.

d) Se exporta el archivo (ver figura 83):



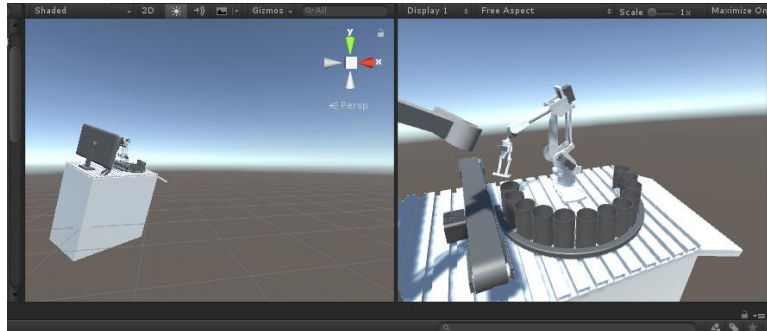
**Figura 82.** Paso 4, visualización del módulo en 3Ds Max.

e) Exportar el archivo a figura FBX de tipo 3D Object (ver figura 84):



**Figura 83.** Paso 5, Exportar a FBX.

- f) Una vez que se obtiene el archivo en FBX y procede añadir al proyecto de Unity (ver figura 85):



**Figura 84.** Visualización del módulo ensamblado en Unity.

Para poder controlar el módulo en tiempo real con el módulo en físico es necesario crear funciones que vayan a la par con los movimientos en Unity, para lo cual se ha creado funciones para cada grado de libertad.

Existen varios comandos para controlar movimientos de objetos, sin embargo se ha utilizado “RotateAround”, el cual como característica tiene girar el objeto con respecto a otro objeto. Hay que tomar en cuenta que el árbol articulado conformado por varios objetos que conforman el grado de libertad va a girar con respecto a un objeto eje, visto de otra forma sería de la siguiente forma en la figura 82.

`Eje_hijo.RotateAround ( ejepadre , movimiento , Tiempo)`, el Eje hijo gira con respecto al eje padre por un determinado tiempo, tiempo que depende del procesador del CPU.

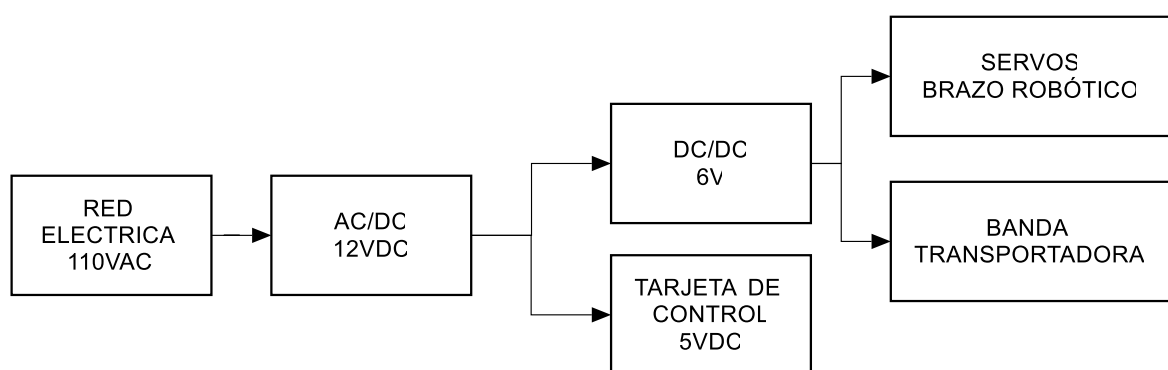
## 5.9. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.9.1. Pruebas

Una vez terminado con la implementación del módulo se procede hacer las pruebas respectivas tanto eléctricas y electrónicas.

### 5.9.2. Pruebas eléctricas y electrónicas

El módulo es alimentado con voltaje continuo de 12VDC, sin embargo aplica a los servos del brazo robótico y banda transportadora es alimentado con 6V y la tarjeta de control con 5V, es así que se utilizó un regulador dc/dc reductor para bajar de 12VDC a 6VDC, la tarjeta de control tiene incorporado su propio regulador a 5VDC razón para conectar directamente a 12VDC como se muestra en la figura 86.

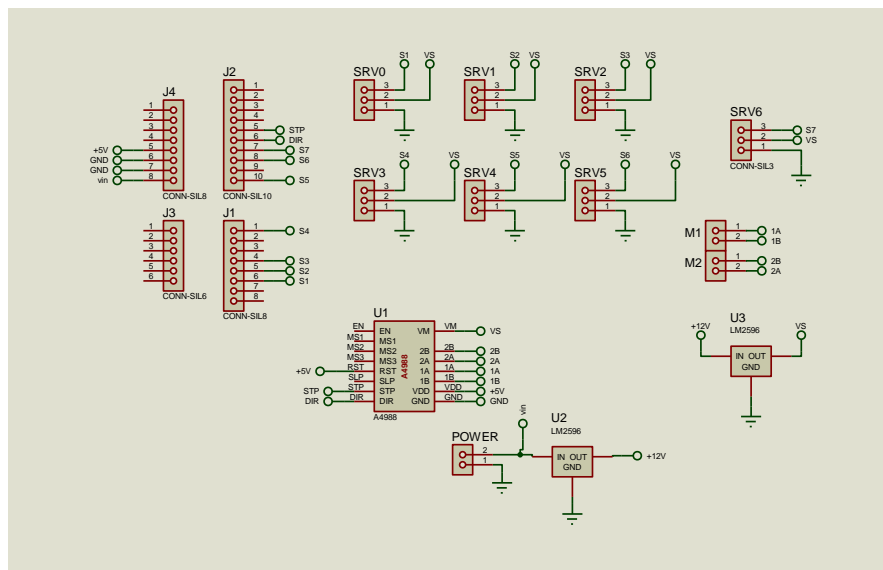


**Figura 85.** Diagrama de conexión eléctrica

Se ha testado en diferentes fechas y condiciones climáticas, teniendo la misma repetitividad en cuanto al voltaje que se necesita en los elementos de accionamiento como son los servos y banda transportadora.

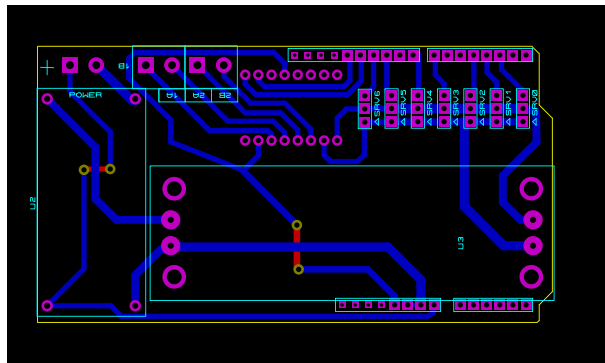
### 5.9.3. Pruebas de conexión

La placa de control y potencia se lo ha desarrollado en proteus (ver figuras 87), en el cual se ha dado las conexiones respectivas para posteriormente sacar el cobre en ácido sulfúrico.

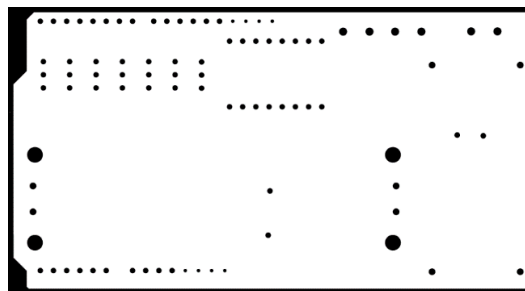


**Figura 86.** Esquema del circuito

Para hacer la placa en ácido, los agujeros y corte se realizó en GIMP (ver figuras 88 y 89), el cual es un programa de software libre para editar imágenes, que finalmente se tiene la siguiente imagen, esta imagen es transformada a código g, código que será insertado en la CNC para que haga el trabajo respectivo.

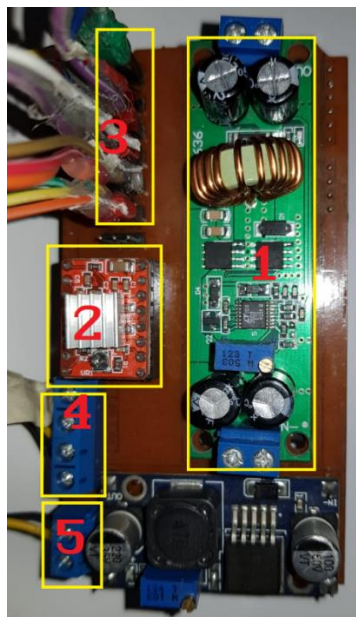


**Figura 87.** Pcb del circuito



**Figura 88.** Placa de potencia impresa

Finalmente se muestra una placa como se muestra en la figura 90, el cual tiene componentes que serán explicados en la tabla 31.



**Figura 89.** Placa de potencia

**Tabla 31**

Partes de la placa de potencia

Item	Nombre	Descripción
1	Regulador 1A40908	dc-dc Regula la tensión de entrada.
2	Driver motor a pasos A4988	Amplifica la señal del microcontrolador a señal de potencia para el motor
3	Salidas servos	Señal PWM de salida para el control se servos
4	Motor a pasos	Conexión para el motor a pasos
5	Alimentación	Voltaje de entrada min 7.0V y max 33.0V

Como se puede apreciar la placa de potencia admite hasta 33 voltios de entrada DC, en caso que este se exceda, simplemente el dc/dc se dañaría y este puede ser remplazado con otro dc/dc que usualmente venden en el mercado.

#### **a. Driver de motor paso a paso A4988**

Este producto es una tabla portadora o tabla de ruptura para el controlador de microstepping A4988 DMOS de Allegro con traductor y protección contra sobrecorriente; por lo tanto, recomendamos una lectura cuidadosa de la hoja de datos A4988 (1 MB pdf) antes de usar este producto. Este controlador de motor paso a paso le permite controlar un motor paso a paso bipolar a una corriente de salida de hasta 2 A por bobina (consulte la sección Consideraciones de disipación de energía a continuación para obtener más información).

Estas son algunas de las características:

- Interfaz de control de dirección y paso simple
- Cinco resoluciones de pasos diferentes: paso completo, paso medio, cuarto de paso, paso octavo y paso dieciséis
- El control de corriente ajustable le permite configurar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite usar voltajes por encima del voltaje nominal de su motor paso a paso para lograr tasas de paso más altas
- Control de corte inteligente que selecciona automáticamente el modo de decaimiento actual correcto (decaimiento rápido o decaimiento lento)
- Desconexión térmica por sobrecalentamiento, bloqueo por baja tensión y protección contra corriente cruzada
- Protección de corto a tierra y carga corta

(Pololu, 2008)

#### **5.9.4. Pruebas de comunicación y programación**

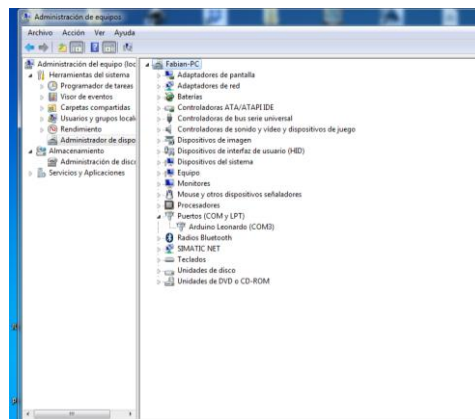
- **Comunicación de cámara**

Por ventaja la cámara se comunica por USB, el cual como característica es generar su COM interno, y en el programa no será necesario seleccionar el puerto COM, más bien crea un vector de cámaras, el computador tendrá acceso a una sola cámara así que se ha definido la dirección 0 como única dirección de cámara.

- **Comunicación serial**

La tarjeta Arduino Uno posee un conector serial que será conectado al computador por consiguiente crea un puerto, y este será diferente a medida que otros se conecten, si el puerto nunca es desconectado tendrá el mismo com, sin embargo para conocer el puerto com del dispositivo hacemos los siguientes pasos

Inicio>>clic derecho en “Mi equipo”>> administrar>> administrar dispositivos (Figura 90)



**Figura 90.** Administrador de dispositivos

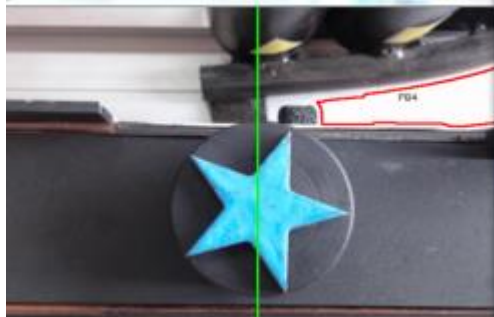
### 5.9.5. Pruebas de posicionamiento2

#### a. Posicionamiento de la cámara

Para ejecutar esta prueba se ajustó en varias posiciones dándonos como mejor resultado a una altura de 10cm, 75° con respecto a su eje 15cm con respecto al lado izquierdo de la banda transportadora, esta posición no puede ser cambiado ya que la manipulación de este afectaría la posición de agarre inicial del brazo, en la figura 91 se puede observar una línea que atraviesa por la mitad de la imagen, si el objeto está en la mitad de la línea, el controlador enviará una señal para que la banda



transportadora se detenga y por consiguiente el brazo agarre el objeto y coloque en algún embace predefinido.



**Figura 91.** Posicionamiento de la cámara

#### **b. Posicionamiento de la banda Transportadora**

Se ha hecho pruebas ajustando las velocidades de la banda transportadora, sin embargo, este no ha variado en lo absoluto ya que este está empotrado a la base, de igual forma la banda ha mantenido su tensión fijado inicialmente.

#### **c. Prueba de Carga**

Para ejecutar esta prueba se aplicó diferentes cargas en el gripper del brazo robótico, siendo este en donde cae toda la fuerza tanto del objeto a levantar y del brazo mismo, se aplicó cargas de hasta 200g, sin embargo, el peso fue tanto que incluso el servo de la base sufrió un daño en los piñones internos. Es así que se bajó constantemente hasta llegar a 100g, peso que se obtuvo estable al brazo robótico.

#### **d. Posicionamiento del brazo robótico**

Para hacer pruebas de posicionamiento del brazo se ajustó las posiciones para cada contenedor, se realizó múltiples pruebas junto con el objeto, teniendo finalmente errores que varían entre  $0.5^\circ$  y  $2^\circ$  como se muestra en la tabla 32, sin embargo este error no ha sido problema ya que para que el objeto se introduzca en el contenedor

admite de hasta 5° de error, cabe recalcar que para tener ese error de repetitividad en posición se cambió por servos para que en conjunto con el brazo soporten cargas mayores a 200g.

**Tabla 32**

*Pruebas de posicionamiento*

Objeto	Angulo ajustado	Angulo	Angulo	Error
Embace	(grados)	alcanzado (Min)	alcanzado (Max)	(Grados)
PA3	8	7	8	+0.5, -0.5
PA4	24	23	24	+0.5, -0.5
PA5	39	38	39	+0.5, -0.5
PA6	54	54	55	+0.5, -0.5
PV3	69	68	69	+0.5, -0.5
PV4	84	83	86	+1.5, -1.5
PV5	99	98	101	+1.5, -1.5
PV6	114	114	116	+1, -1
PB3	129	128	130	+1, -1
PB4	143	142	146	+2, -2
PB5	159	158	159	+1.5, -1.5
PB6	174	173	175	+1.5, -1.5

**e. Pruebas de Luz de Posicionamiento**

Para realizar este tipo de pruebas se realizó durante 7 días a diferente hora para corregir efectos de luz que tanto afecta a la cámara.

Las pruebas en el día se constatan en la tabla 33, se obtuvo un error en cuanto a la luz del día en el color amarillo, este principalmente se dio en un día con mucha

iluminación, y hacía que el amarillo reflejara dentro de los límites del color blanco. Sin embargo, este se corrigió con la modificación de los colores inferior y superior.

**Tabla 33**

*Pruebas de cámara en el día*

<b>Objeto Embace</b>	<b>Numero de intentos</b>	<b>Intentos pasados</b>	<b>Intentos errores</b>
<b>PA3</b>	7	7	0
<b>PA4</b>	7	7	0
<b>PA5</b>	7	7	0
<b>PA6</b>	7	6	1
<b>PV3</b>	7	7	0
<b>PV4</b>	7	7	0
<b>PV5</b>	7	7	0
<b>PV6</b>	7	7	0
<b>PB3</b>	7	7	0
<b>PB4</b>	7	7	0
<b>PB5</b>	7	7	0
<b>PB6</b>	7	7	0

De igual forma en la tarde se realizó pruebas en las cuales se constató que no se tuvo ningún error en cuanto al reflejo de la luz (ver tabla 34).

**Tabla 34***Pruebas de cámara en la tarde*

<b>Objeto Embace</b>	<b>Numero de intentos</b>	<b>Intentos pasados</b>	<b>Intentos errores</b>
<b>PA3</b>	7	7	0
<b>PA4</b>	7	7	0
<b>PA5</b>	7	7	0
<b>PA6</b>	7	7	0
<b>PV3</b>	7	7	0
<b>PV4</b>	7	7	0
<b>PV5</b>	7	7	0
<b>PV6</b>	7	7	0
<b>PB3</b>	7	7	0
<b>PB4</b>	7	7	0
<b>PB5</b>	7	7	0
<b>PB6</b>	7	7	0

Finalmente se realizó pruebas al final del día, de las cuales no se tuvo problemas con la luz (ver tabla 35).

**Tabla 35**

*Pruebas de cámara en la noche*

Objeto Embace	Numero de intentos	Intentos pasados	Intentos errores
PA3	7	7	0
PA4	7	7	0
PA5	7	7	0
PA6	7	7	0
PV3	7	7	0
PV4	7	7	0
PV5	7	7	0
PV6	7	7	0
PB3	7	7	0
PB4	7	7	0
PB5	7	7	0
PB6	7	7	0

### 5.9.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### a. Análisis técnico

Como se pudo observar en las tablas 33, 34,35 el único error por la luz que se obtuvo es en el día, sin embargo, con el ajuste de los colores dados se corrigió dicho problema, dándonos como resultado un error de cero

Además, la simulación en Unity sigue las instrucciones que el brazo físico para seleccionar el objeto que anteriormente fue procesado siendo este en tiempo real.

## 5.9.7. Conclusiones y recomendaciones

### a. Conclusiones

- Se ha diseñado un módulo para la selección de objetos todo en base a simulaciones tomando en cuenta las fuerzas y cargas que se aplicaran al seleccionar dichos objetos con el fin de clasificarlos.
- Se ha desarrollado el código en open source para la selección de objetos según colores y formas u características morfológicas, éstas se almacenan en un recipiente previamente definido con el fin de clasificar dichos objetos.
- Se ha diseñado e implementado una placa de potencia y control para el brazo robótico y banda transportadora dimensionando tanto en voltaje como corriente para de esta manera el módulo tenga una larga vida util para el manejo de los mismos obedeciendo los comandos de control que serán enviados por el puerto seria desde la computadora.
- Dentro del algoritmo se ha implementado el código para clasificar por color y forma, basta con definir los colores mínimos y máximos y el número de veticas de la figura.
- Se ha desarrollado las pruebas necesarias para que el módulo didáctico pueda entrar en funcionamiento junto con los demás módulos de aprendizaje.

## **b. Recomendaciones**

- Ubicar y fijar la cámara de manera correcta, ya que por las vibraciones que produce la banda transportadora esta suele cambiar de posición, posición que no debe cambiarse bajo ningún concepto, podría tener problemas en el agarre del objeto para llevarlo a su recipiente.
- Seleccionar una cámara con una resolución adecuada, las cámaras con baja resolución tienden a ser afectados significativamente por la luz, siendo este un verdadero problema en la selección del color.
- Realizar múltiples pruebas con los colores mínimos y máximos para que el color del objeto este dentro de los colores predefinidos, y así no tener problemas de no reconocimiento del objeto.
- Antes de armar el brazo robótico tomar en cuenta la carga que va a ser aplicada, al ser una carga más arriba de lo permitido, el brazo puede sufrir daños en sus servos, elementos de accionamiento primordiales para el desempeño del mismo.
- Estructurar de manera adecuada el cable de los servos, este puede interferir en sus movimientos y puede dar errores de posicionamiento, ya que este además de duro suele tener un peso que interferirá con el trabajo del brazo.

### 5.9.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AlexanderBorger. (12 de Agosto de 2004). <http://www.industriaynegocios.cl/>.

Barrientos. (2007). *Fuentes de Robótica*.

Blum, J. (2013). *Arduino*.

CEPYME ARAGON. (15 de Marzo de 2006). <http://www.conectapyme.com/>. Obtenido de <http://www.conectapyme.com/documentacion/2006robotica.pdf>

Google, S. (15 de Junio de 2018). *Sities Google*. Recuperado el 20 de 10 de 2018, de <https://sites.google.com/site/cg05procesamientodeimagenes/>

Hernando, M. (07 de Febrero de 2010). *Moodle Universidad Politecnica de Madrid*. Obtenido de <http://www.elai.upm.es/>: <http://www.elai.upm.es/moodle/mod/resource/view.php?id=905>

Mendoza Pérez, M. A., Juárez Landín, C., & Sánchez Ramírez, J. L. (2017). *Manual de Prácticas de Laboratorio: Fundamentos de Robótica*. Valle de Chalco: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69974/secme-33422\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69974/secme-33422_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

OpenCV, E. d. (22 de Abril de 2018). *OpenCV*. Recuperado el 26 de 11 de 2018, de OpenCV: <https://opencv.org/>

Pantone. (2016). *Representación gráfica del modelo de color RGB*.

Pololu. (Diciembre de 2008). *Pololu*. Recuperado el 01 de 12 de 2018, de <https://www.pololu.com/product/1182>: <https://www.pololu.com/product/1182>

UNITY. (12 de FEBRERO de 2019). <https://unity.com/madewith>. Obtenido de UNITY:



<https://unity.com/madewith>

Universidad de Madrid. (15 de Febrero de 2012). [http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf). Obtenido de [http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf):

Zato, R. (1994).

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

## CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

### CERTIFICACIÓN

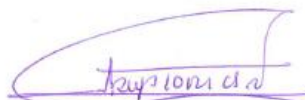
Se certifica que el presente trabajo de Investigación fue desarrollo por los Señores MORALES CAICEDO GUILLERMO ARMANDO y CÓRDOVA DELGADO EDGAR GILBERTO

En la ciudad de Latacunga, a los 31 días del mes de Enero del 2019.

Aprobado por:



ING. WILSON SÁNCHEZ OCAÑA  
DIRECTOR DEL PROYECTO



ING. KATYA TORRES VASQUEZ  
DIRECTORA DE CARRERA



DR. RODRIGO VACA  
SECRETARIO ACADÉMICO