



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA ROBOTIZADA DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS EN MOVIMIENTO POR MEDIO DE UN ROBOT PARALELO TIPO DELTA MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA

AUTORES: ORTIZ ARMENDARIZ, LUIS GABRIEL
PAREDES BRAVO, RONNIE JOSUE

DIRECTOR: ING. SINGAÑA AMAGUAÑA, MARCO ADOLFO

LATACUNGA, AGOSTO 2021



SECCIÓN 1

- INTRODUCCIÓN

SECCIÓN 2

- OBJETIVOS
- MARCO TEÓRICO

SECCIÓN 3

- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

SECCIÓN 4

- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



VIDEO



Diseñar y construir una celda robotizada de clasificación de objetos en movimiento por medio de un robot paralelo tipo delta mediante visión artificial y redes neuronales para el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar conceptos sobre celdas robotizadas de clasificación, sus sistemas mecánicos y electrónicos, tipos, variantes, aplicaciones, dispositivos y software usado.

- Diseñar la estructura de la celda de clasificación, robot paralelo tipo delta, banda transportadora, pallets.

- Seleccionar componentes y materiales para la construcción de la celda de clasificación, robot paralelo tipo delta, banda transportadora, pallet.

- Implementar una aplicación con HMI para el manejo y monitoreo de la celda robotizada.

- Implementar algoritmos de visión artificial y redes neuronales para el control de clasificación de objetos.

- Clasificar objetos mediante visión artificial y redes neuronales.

- Realizar pruebas de funcionamiento de la celda robotizada de clasificación.

- Validar la hipótesis mediante el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas.



- **Celda Robotizada**

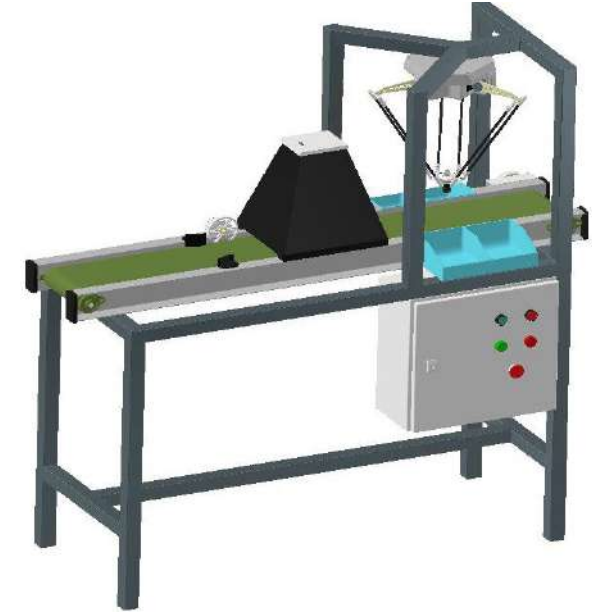
- Conjunto de componentes electromecánicos, que interactúan de manera coordinada para el logro de un objetivo.

- **Robot Tipo Delta**

- Es un robot paralelo que puede llegar a disponer de hasta cinco grados de libertad

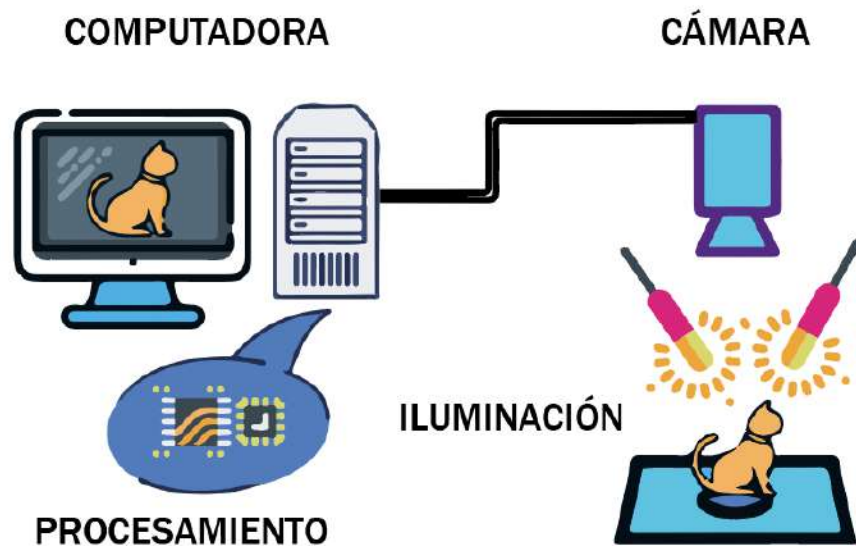
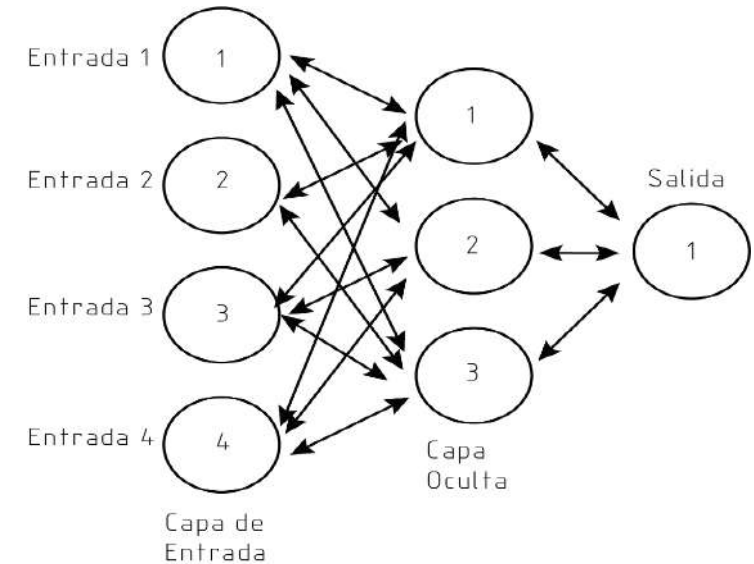
- **Banda Transportadora**

- Es un elemento fundamental en el traslado de materiales y mercancías.



- **Red Neuronal Artificial**

- Son un modelo inspirado en el funcionamiento del cerebro humano.
- Conjunto de nodos que están conectados y transmiten señales entre sí.



- **Visión Artificial**

- Todas las aplicaciones donde una combinación de hardware y software brindan en la ejecución de sus funciones son a base de la captura y el procesamiento de imágenes.

Diseño y construcción del sistema mecánico

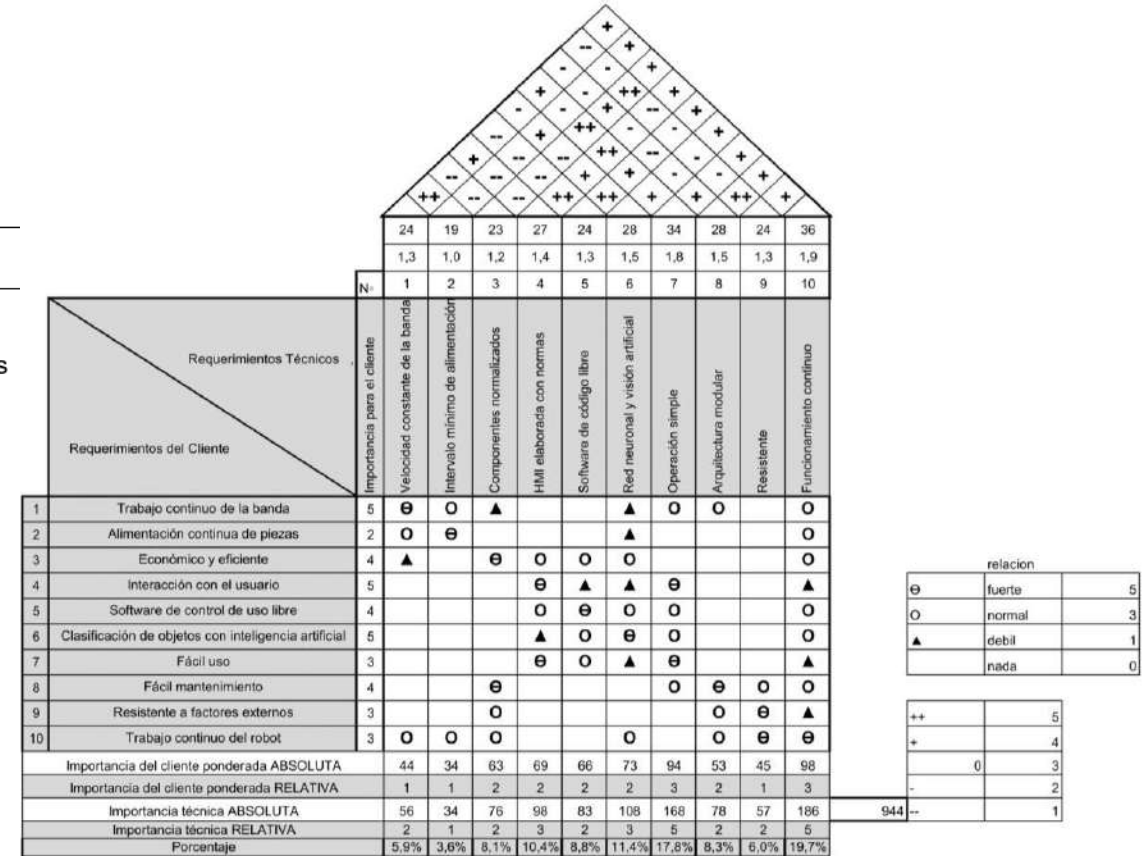
Matriz QFD

Necesidades del usuario

Especificaciones técnicas del proyecto

No.	Necesidad
1	Trabajo continuo de la banda
2	Alimentación continua de piezas
3	Económico y eficiente
4	Interacción con el usuario
5	Software de control de uso libre
6	Clasificación con inteligencia artificial
7	Fácil uso
8	Fácil mantenimiento
9	Resistente a factores externos
10	Trabajo continuo del robot

No.	Necesidad
1	Velocidad constante de la banda
2	Intervalo mínimo de alimentación entre piezas
3	Componentes normalizados
4	HMI amigable para el usuario
5	Software de código libre
6	Red neuronal y visión artificial
7	Operación simple
8	Arquitectura modular
9	Resistente
10	Funcionamiento continuo



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#	Módulo	Subsistema	Función
1	Planeación	Diseño de la Celda Robotizada	Definición de elementos activos y pasivos, distribución de los elementos y lay-out
2	Robot paralelo Delta	Geometría y Cinemática del robot	Geometría y posicionamiento del robot
		Diseño del robot	Diseño mecánico del Robot Delta
3	Celda robotizada	Diseño y construcción de la banda transportadora	Transporte continuo de objetos a ser clasificados
		Estructura de la celda	
4	Control	Tarjeta de control	Control de los sistemas, adquisición de datos, envío y recepción de señales
		Redes neuronales y visión artificial	Detección objetos mediante inteligencia artificial y redes neuronales
		Algoritmo de intersección de objetos en movimiento	Posicionamiento del robot en el espacio con relación al objeto en movimiento a ser transportado
5	HMI	Interfaz gráfica	Interacción con el operario y control de las funciones de la celda


PLANEACIÓN

Módulos y Subsistemas



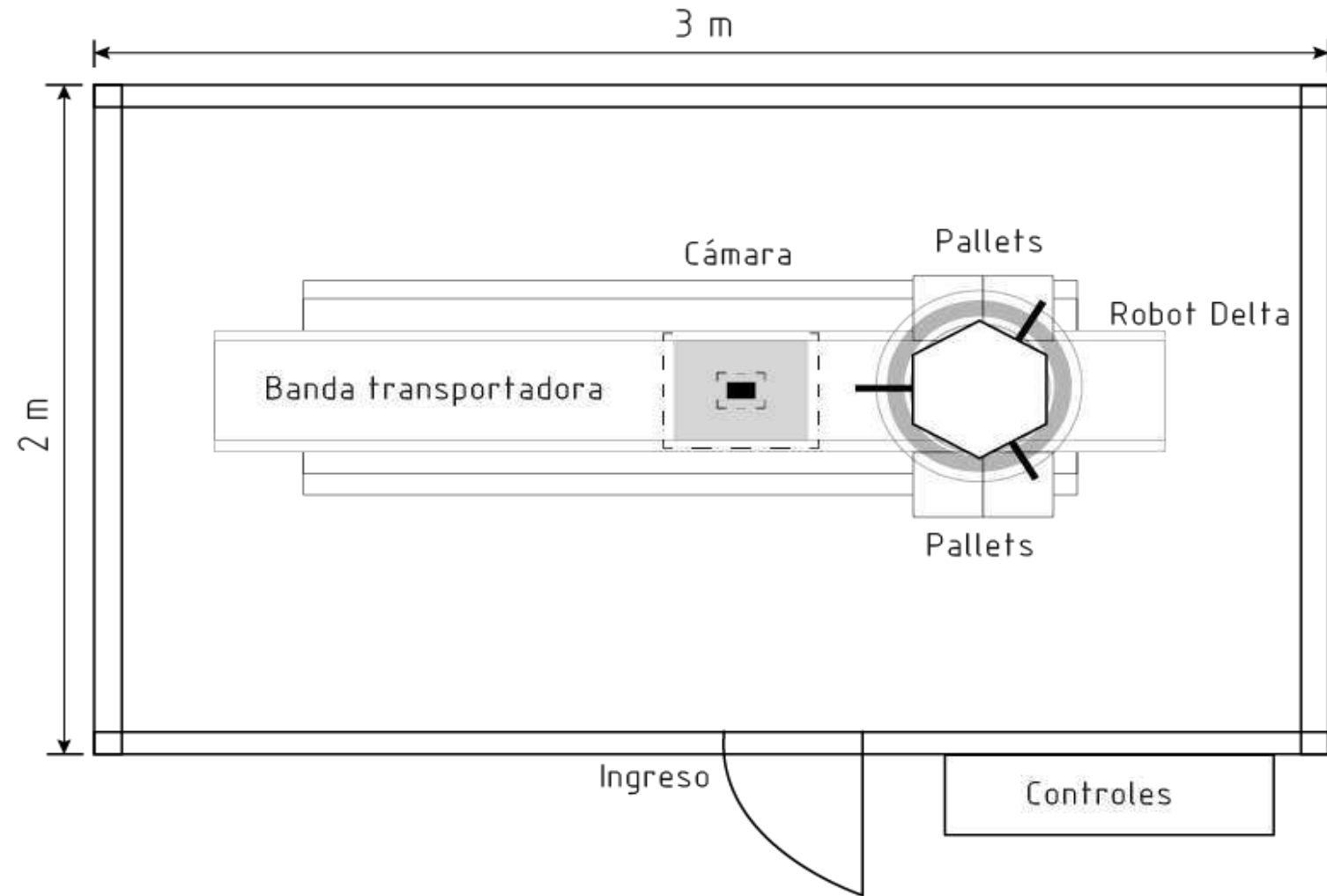
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Elementos de la celda robotizada

Elementos Activos	Ilustración
Robot Delta	

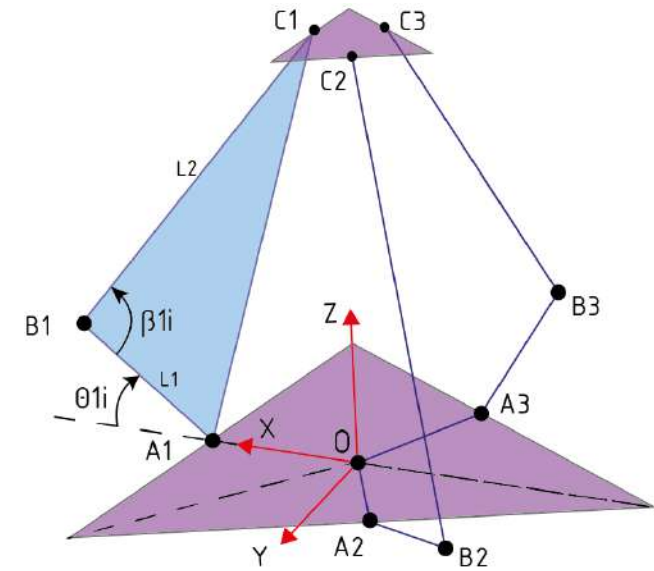
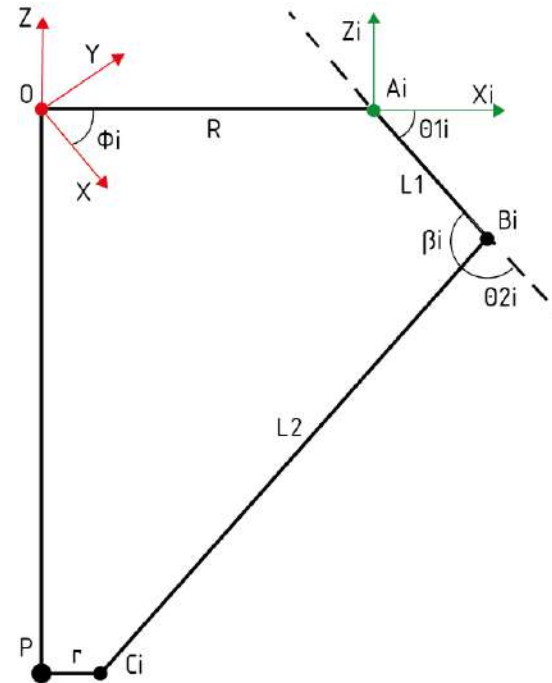
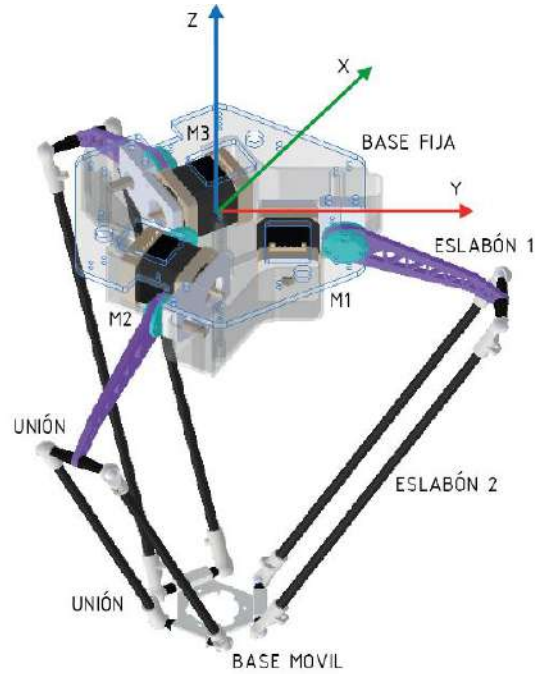
Elemento	Descripción
Banda transportadora	
Cámara visión de artificial	
Pallets y cajas de almacenamiento	

LAYOUT Celda Robotizada



DISEÑO DEL ROBOT DELTA

Geometría y Cinemática del Robot



Resultado del Análisis Cinemático

Para $\phi_1 = 0$

$$\theta_{11} = \sin^{-1} \left(\frac{c_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{b_1}{a_1} \right)$$

Para $\phi_2 = 120$

$$\theta_{12} = \sin^{-1} \left(\frac{c_2}{\sqrt{a_2^2 + b_2^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{b_2}{a_2} \right)$$

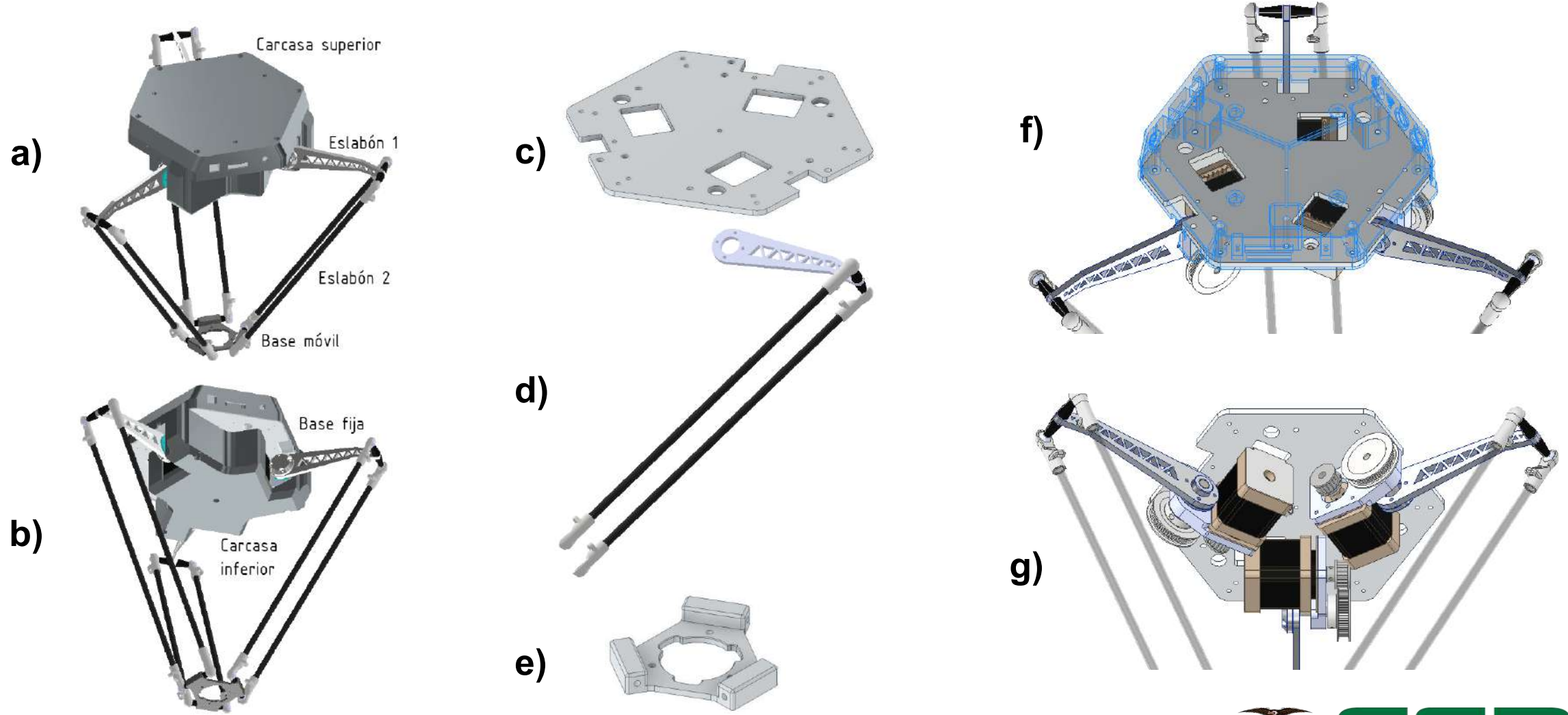
Para $\phi_3 = 240$

$$\theta_{13} = \sin^{-1} \left(\frac{c_3}{\sqrt{a_3^2 + b_3^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{b_3}{a_3} \right)$$



DISEÑO DEL ROBOT DELTA

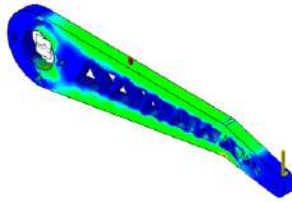
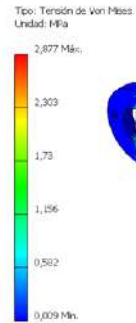
Diseño de Elementos



DISEÑO DEL ROBOT DELTA

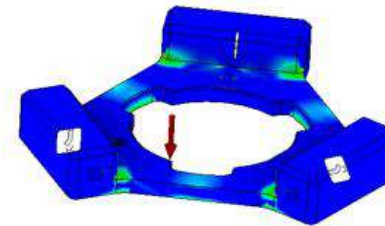
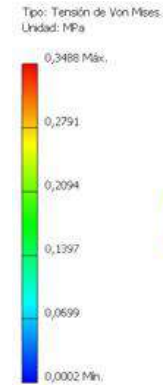
Análisis de Esfuerzos

Eslabón 1



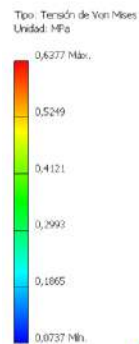
σ_{vm}	2.877 MPa
S_y Al.	207 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$ $2.877 MPa < 207 MPa$	

Base móvil



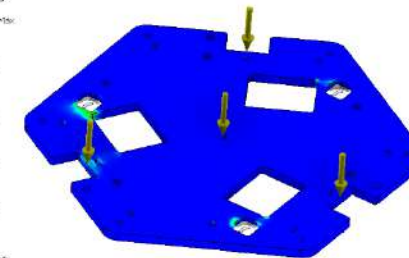
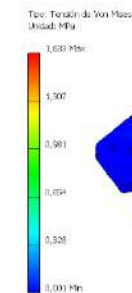
σ_{vm}	0.348 MPa
S_y Al.	207 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$ $0.348 MPa < 207 MPa$	

Eslabón 2



σ_{vm}	0.637 MPa
S_y F.C.	570 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$ $0.6377 MPa < 570 MPa$	

Base Fija



σ_{vm}	1.633 MPa
S_y Al.	207 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$ $1.633 MPa < 207 MPa$	



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Diseño y Selección de Elementos

Estructura y Banda Transportadora



Cinta de caucho



Rodillos y ejes



Chumaceras

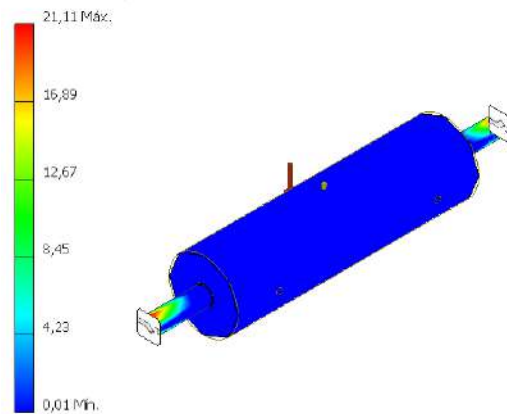


DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Análisis de Esfuerzos

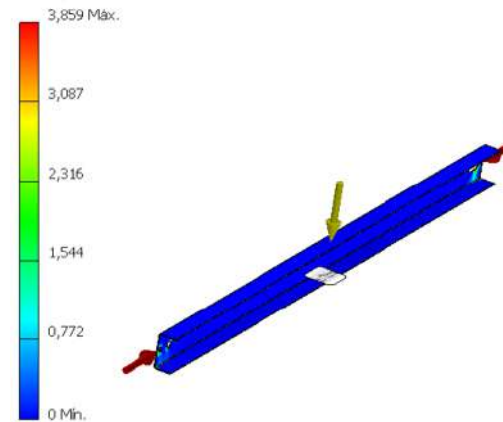
Rodillo

Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa



Rieles Laterales

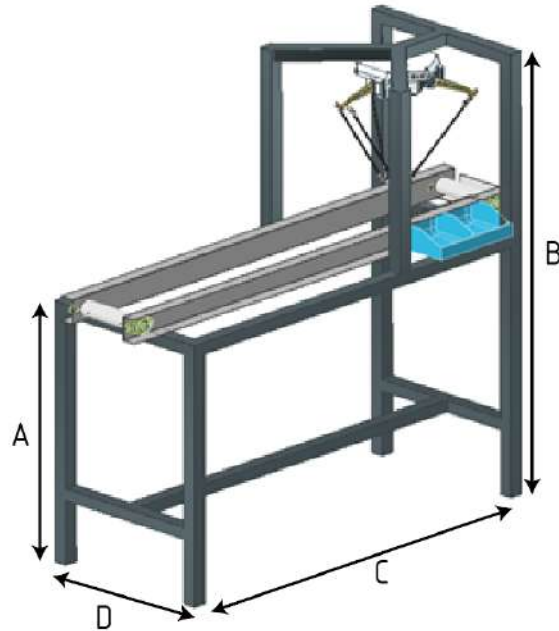
Tipo: Tension de Von Mises
Unidad: MPa



σ_{vm}	3.859 MPa
S_y Acero.	250 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$ $3.859 MPa < 250 MPa$	

Diseño Estructural de la Celda Robotizada

Estructura

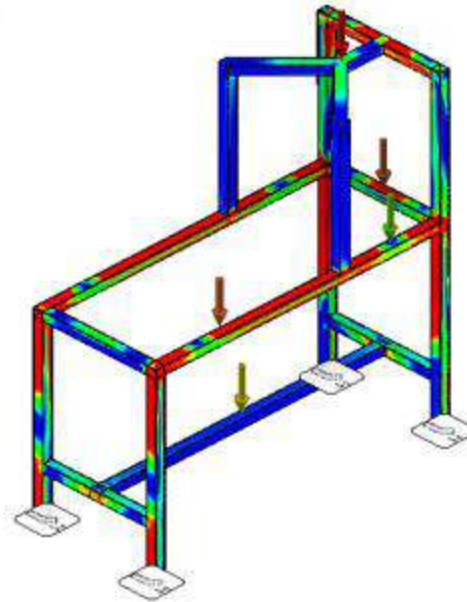
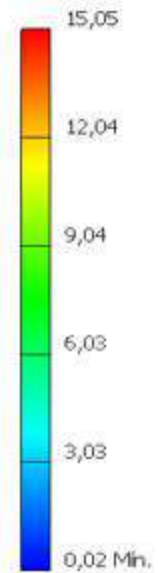


Medidas de la Celda Robotizada

Tipo	P	Valor
Altura soporte banda	A	810 mm
Altura soporte robot	B	1440 mm
Longitud	C	1200 mm
Ancho	D	500 mm

Análisis de Esfuerzos

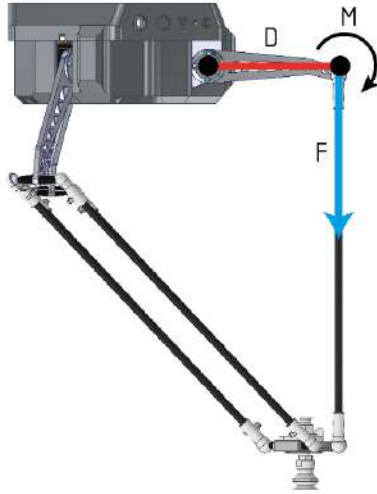
Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa



σ_{vm}	15.05 MPa
S_y Acero.	250 MPa
$\sigma_{vm} < S_y$	
$15.05MPa < 250MPa$	



Selección de motores



$$F = m \cdot g$$

$$F = 0.435 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4.26 \text{ N}$$

$$T = F \cdot d$$

$$T = 4.26 \text{ N} \times 0.120 \text{ m} = 0.511 \text{ N.m}$$

$$T_f = T \cdot n = 0.511 \text{ N.m} \times 2 = 1.022 \text{ N.m}$$

Elementos conectados al eslabón

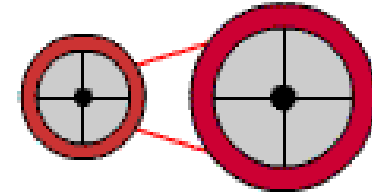
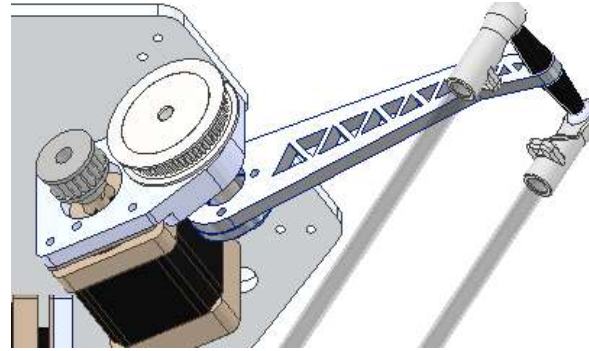
Elemento	Masa [kg]	Cantidad	Masa total [kg]
Tubos de carbón	0.008	2	0.016
Eslabón	0.029	1	0.029
Acople universal	0.005	8	0.040
Base fija	0.030	1	0.030
Soporte ventoso	0.080	1	0.080
Tuercas y tornillos	0.040	1	0.040
Objeto a clasificar	0.200	1	0.200
TOTAL			0.435



Selección de motores

Motor nema 17 drive integrated

Característica	Valor
Tamaño	42.3×48mm, sin incluir el eje
Peso	350 gramos
Diámetro del eje	5 mm "D"
Pasos por vuelta	200 (1,8º/paso)
Corriente	1.2 Amperios por bobinado
Tensión	4 V
Resistencia	3.3 Ohm por bobina
Torque	4 kg/cm 0,4 N.m



$$n_1 \cdot N_1 = n_2 \cdot N_2$$

$$\text{Conductor } N_1 = 20$$

$$\text{Conducido } N_2 = 60$$

$$i = \frac{20}{60} = 1/3$$

El torque tiene una relación inversa con respecto a la relación de correa y polea

$$i_{\text{inv}} = 3$$

$$T_{\text{final}} = 3(0.4) \text{ N.m} = 1.2 \text{ N.m}$$

$$1.2 \text{ N.m} > 1.022 \text{ N.m}$$

$$T_{\text{final}} > T_{\text{calculado}}$$



DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

Selección de Tarjeta Control

Conclusión de la Matriz de Priorización

Tarjeta ARMX



Conclusión	Peso	Resistencia	Costo	Σ	Prioridad
MKS DLC	0.16x0.5	0.33x0.25	0.16x0.25	0.2025	3
ARMX	0.5x0.5	0.33x0.25	0.33x0.25	0.415	1
SZGH	0.33x0.5	0.33x0.25	0.5x0.25	0.372	2

ARMX	Costo medio Número de ejes 4 CPU stm32 Archivo formato código G Comunicación SERIAL Control Herramientas, laser, ventosa, extrusor
------	---



DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

Selección del Motor de la Banda Transportadora

Potencia calculada

Superficie tensada $F_1 = 17.99N$

Superficie floja $F_2 = 2.17 N$

Potencia de la banda

$$P = \frac{F_1 + F_2}{1000} \times v + P_s = 24.8 W$$

Potencia en base a la eficiencia mecánica

$$P_T = \frac{P}{n.e} = \frac{24.8 W}{0.85 \times 0.95} = 30.71 W$$

Motor Bosh CEP



Características

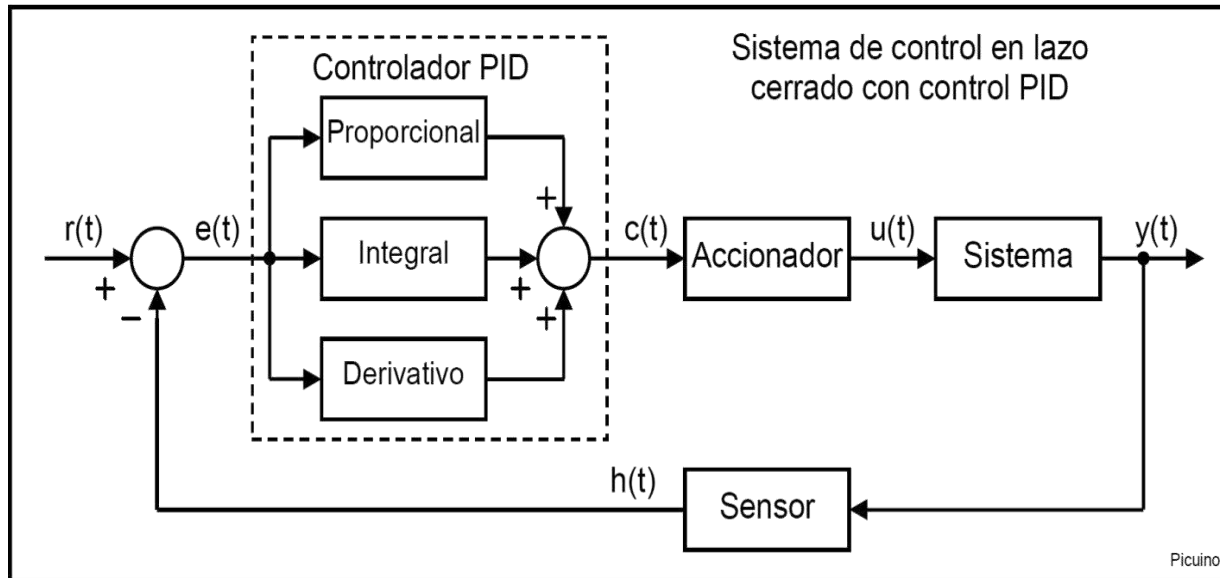
Característica	Valor
Voltaje	12Vdc
Potencia	30-50W
RPM salida	26 - 35
Torque	6 N.m
Corriente	7 amp
Reductora	65:1



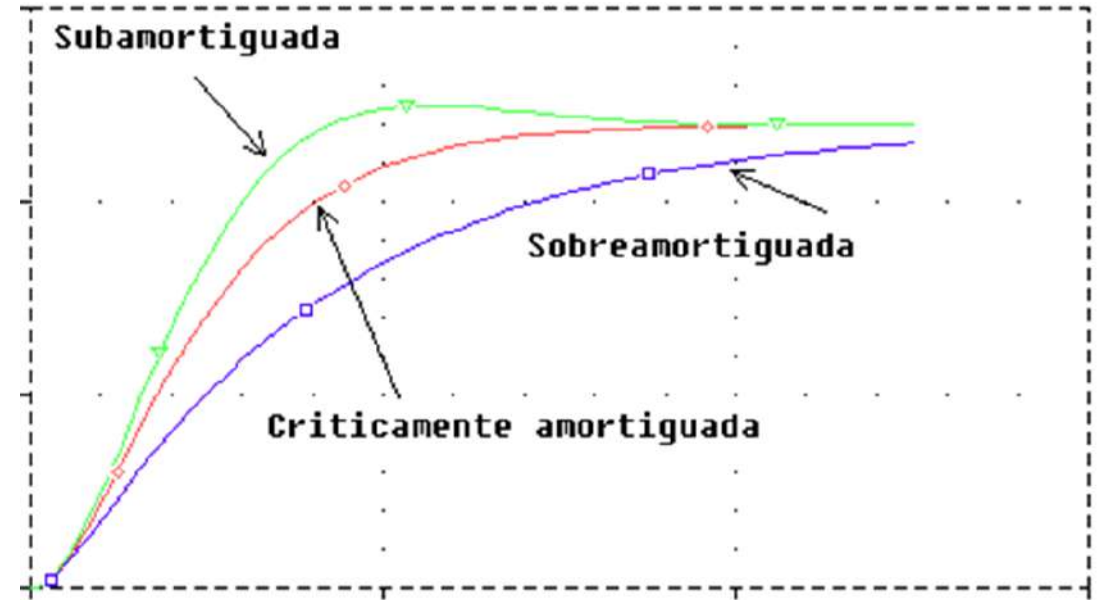
DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

Control de Velocidad del Motor de la Banda Transportadora

Lazo de control



Críticamente amortiguado



Elementos del control

Microcontrolador ATMEGA 328p



Característica	Valor
Arquitectura	8 bits
Pin's programables	23
Voltaje	1.8-5.5 vdc
Oscilador	20 Mhz
Encapsulado	Pdip28
Canales PWM	6

Encoder Rotativo



Característica	Valor
Voltaje	5-24Vdc
Rendimiento	600 pulsos/rev
Velocidad máxima	5000 rev/min
Frecuencia de respuesta	20kHz
Salida	Rectangular 2 fases
Tamaño	39 x 35 mm

Driver Motor DC



Característica	Valor
Voltaje	6-27 vdc
Corriente	43 amp
Nivel de entrada	3,3-5 vdc
Modelo control	PWM
Ciclo trabajo	0-100%
Pin	8



Diagrama de potencia

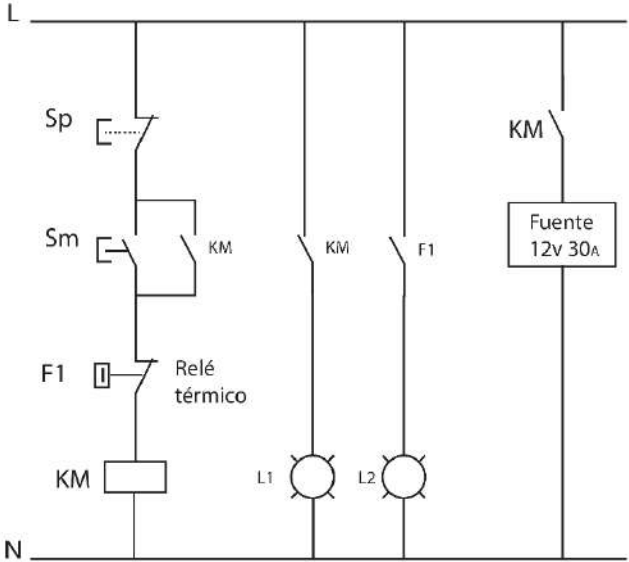


Diagrama electrónico

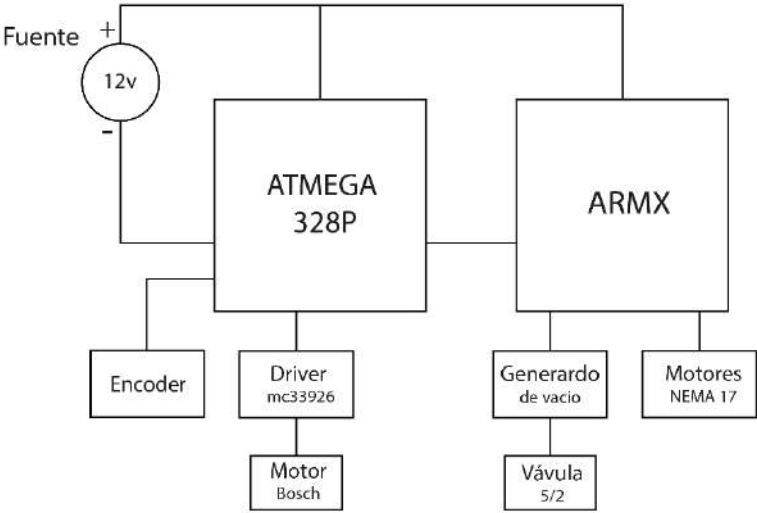
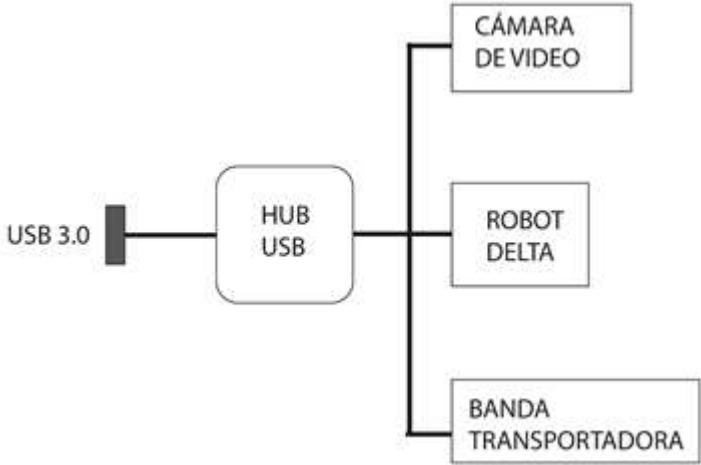
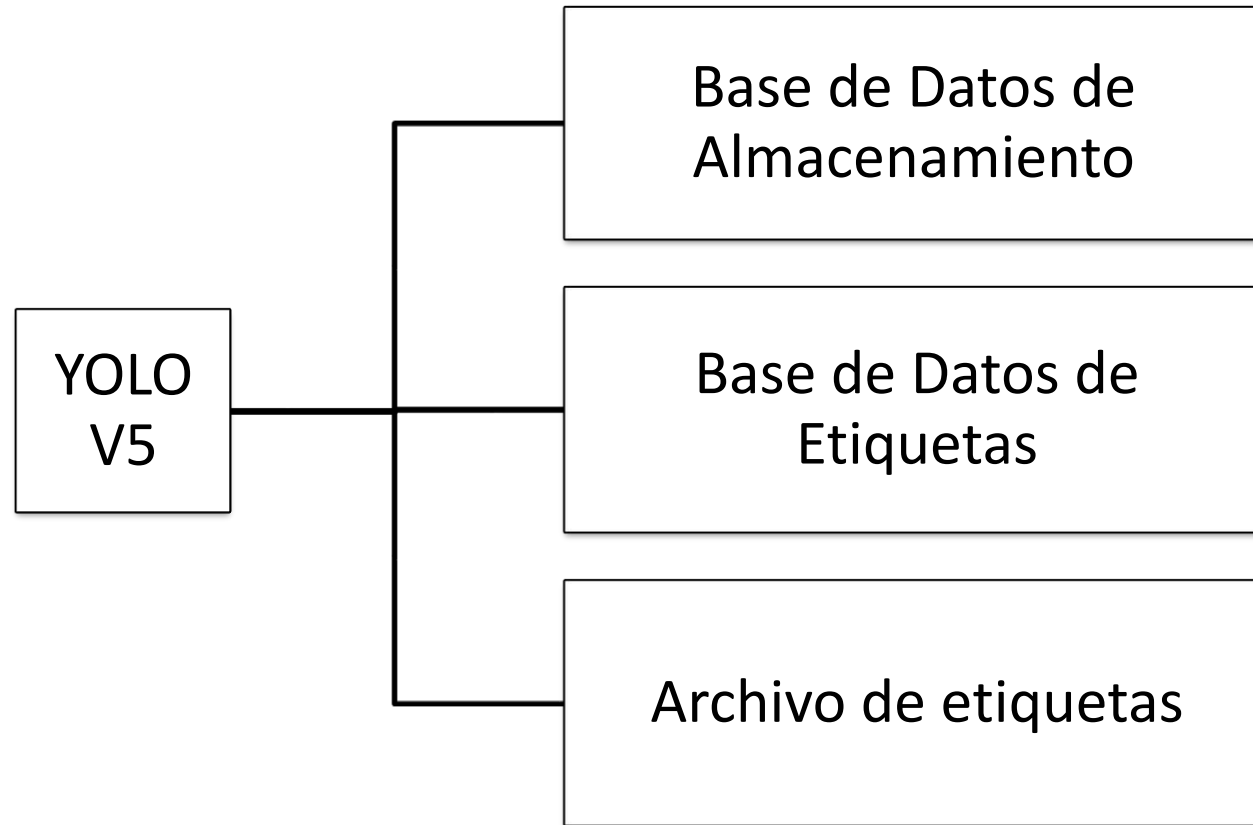


Diagrama de comunicación



ENTRENAMIENTO RED NEURONAL



- images
- labels



Nombre

- data1_0.txt
- data1_1.txt
- data1_2.txt
- data1_3.txt



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Software Celda Robotizada v2020.16.18

CELDA ROBOTIZADA DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS

Control Entrenamiento

Segmentación

Entrada Cámara: 0 ▶ play ⏸ stop

Cargar objeto ▶ Avanzar ⏸ Detener

H min: 95

H max: 120

S min: 100

S max: 255

V min: 110

V max: 210

Visualización

C A M

Captura

Número de clases: 0

Nombre CLASE 1: Generar Datos 1 ✓

Nombre CLASE 2: Generar Datos 2 ✓

Nombre CLASE 3: Generar Datos 3 ✓

Nombre CLASE 4: Generar Datos 4 ✓

Progreso: 0% Finalizar Editar

Entrenamiento

Épocas | epochs | 2

Nombre de la RED: Iniciar Cancelar

Cargando

Cargando

0% | [0/0 [00:00-00:00, 00.0s/it]

Aprendizaje promedio mAP: 0.00

Entrenando: 0%

Resultados

Más información



Entrenamiento

Segmentación

Entrada Camara 0

H min 95

H max 120

S min 100

S max 255

V min 110

V max 210

Visualización



Entrenamiento

a)

Captura

Número de clases

Nombre CLASE 1 ✓

Nombre CLASE 2 ✓

Nombre CLASE 3 ✓

Nombre CLASE 4 ✓

Progreso

b)

Captura

Número de clases

Nombre CLASE 1 ✓ Generado 43 imagenes

Nombre CLASE 2 ✓

Nombre CLASE 3 ✓

Nombre CLASE 4 ✓

Progreso



Entrenamiento

a)

Entrenamiento

Épocas | epochs | 2

Nombre de la RED
prueba1

Cargando
Cargando

0% | 0/0 [00:00<00:00, 00.0s/it]

Aprendizaje promedio mAP: 0.00

Entrenando 0%

b)

Entrenamiento

Épocas | epochs | 2

Nombre de la RED
prueba1

Época: 2

60% | 3/5 [00:11<00:07, 3.75s/it]
80% | 4/5 [00:15<00:03, 3.70s/it]
0% | 0/5 [00:00<?, ?/s]
20% | 1/5 [00:05<00:23, 5.76s/it]

Aprendizaje promedio mAP: 0.043

Entrenando 50%

c)

Entrenamiento

Épocas | epochs | 2

Nombre de la RED
prueba1

Época: 2

20% | 1/5 [00:05<00:23, 5.76s/it]
40% | 2/5 [00:10<00:15, 5.76s/it]
60% | 3/5 [00:15<00:10, 3.70s/it]
80% | 4/5 [00:19<00:03, 3.70s/it]

Aprendizaje promedio mAP: 0.029

Entrenando 100%

Resultados

Clases	Precisión	Desempeño	mAP
todas	0.054	0.323	0.0429
todas	0.0542	0.0968	0.0293

Archivo guardado en: C:/Users/.../pesos/prueba1.pt

2 épocas completadas en 0.014 horas.

Más información

Información
Entrenamiento terminado
OK



Software Celda Robotizada v2020.16.18

CELDA ROBOTIZADA DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS

Control Entrenamiento

Conexión

COM Port ROBOT: USB-SERIAL CH340 (C) Desconectar CONEXIÓN OK Refresh

COM Port BANDA: USB Serial Port (COM:...) Desconectar CONEXIÓN OK

Movimientos

Cursor
X: 32
Y: 118

Robot
X: 0
Y: 0
Z: 0

Control Automático

Cámara 0 play stop



Control

Elegir archivo de la Red Neuronal Archivo

hProjects/CeldaSoftware/dist/main/pesos/last_bebidas.pt

Iniciar Detener

Historial

Compensación

Eje Z mm 0

Eje X mm 0

Probar

Control Manual

Robot

Velocidad 400 mm/s (0-700)

Aceleración 12000 mm/s² (0-13000)

Banda

Velocidad 040 mm/s (0-100)

Paro de Emergencia

Y+ Z+ X- X+ Y- Z- Resolución 1 mm

Paro de Emergencia



a)

Conexión

COM Port ROBOT	USB-SERIAL CH340 (COM16) ▾	Conectar	SIN CONEXIÓN	Refresh
COM Port BANDA	USB Serial Port (COM15) ▾	Conectar	SIN CONEXIÓN	

b)

Conexión

COM Port ROBOT	USB-SERIAL CH340 (COM16) ▾	Desconectar	CONEXIÓN OK	Refresh
COM Port BANDA	USB Serial Port (COM15) ▾	Desconectar	CONEXIÓN OK	

c)

Conexión

COM Port ROBOT	USB Serial Port (COM15) ▾	Desconectar	INCORRECTO	Refresh
COM Port BANDA	USB-SERIAL CH340 (COM16) ▾	Desconectar	INCORRECTO	



a)

Movimientos

Cursor
X: -11
Y: 84

Robot
X: 0
Y: 0
Z: 0

Ventosa

b)

Control Manual

Y+ ↑ X- < X+ > Y- ↓ Z+ ↑ Z- ↓

Resolución 1 mm

Robot
Velocidad 400 mm/s (0-700)
Aceleración 12000 mm/s² (0-13000)

Banda
Velocidad 040 mm/s (0-100)

OK STOP

c)

Información

Valor fuera de rango

Rango del eje Z debe ser
z = -37 ó menor

OK

Información

Valor fuera de rango

Rango dentro del círculo de trabajo
máximo extremos [-150, 150]

OK

Información

Valor fuera de rango

Rango [25-60]

OK

Información

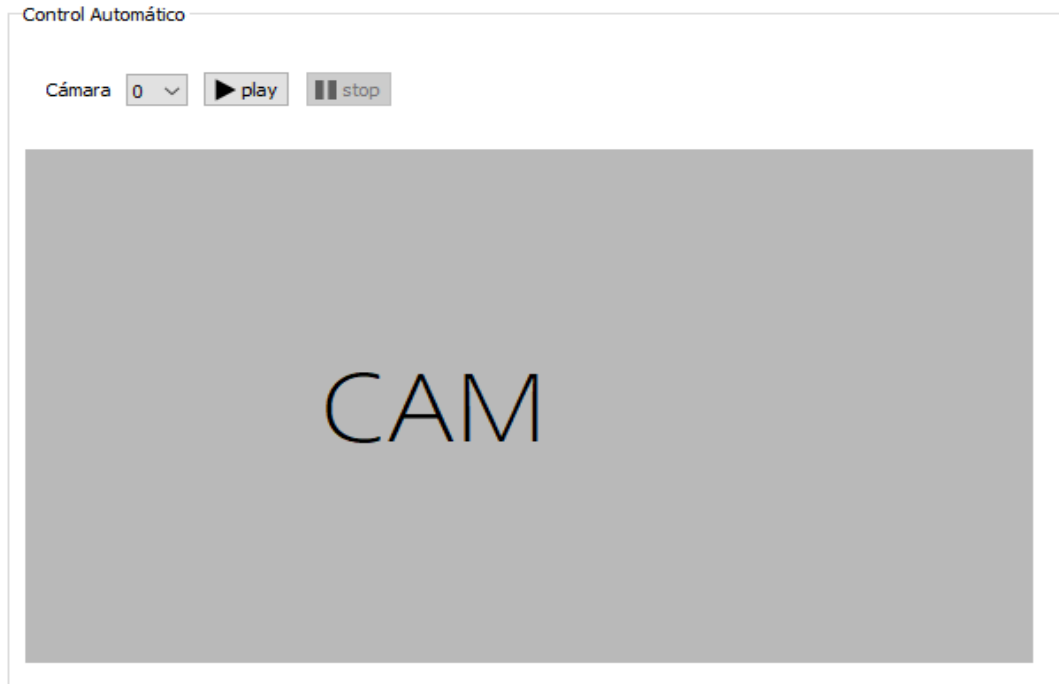
Valor fuera de rango

Rango v = [200-600], a = [5000-13000]

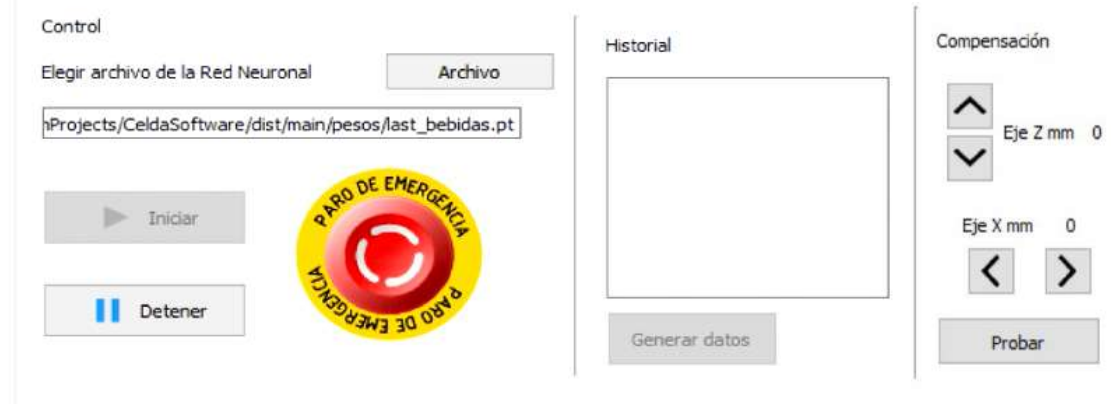
OK



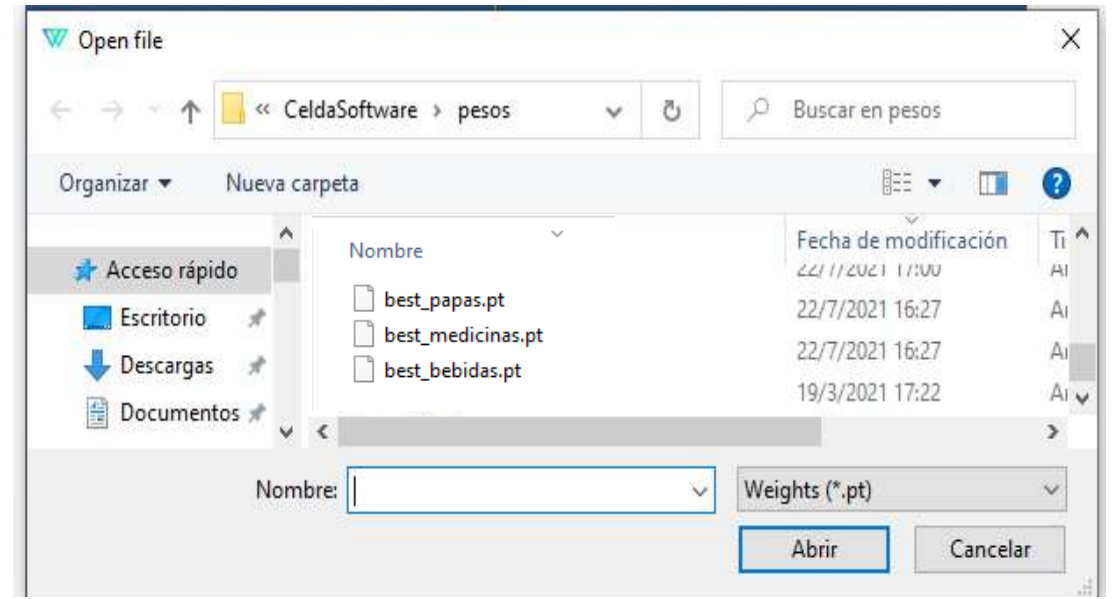
a)



b)



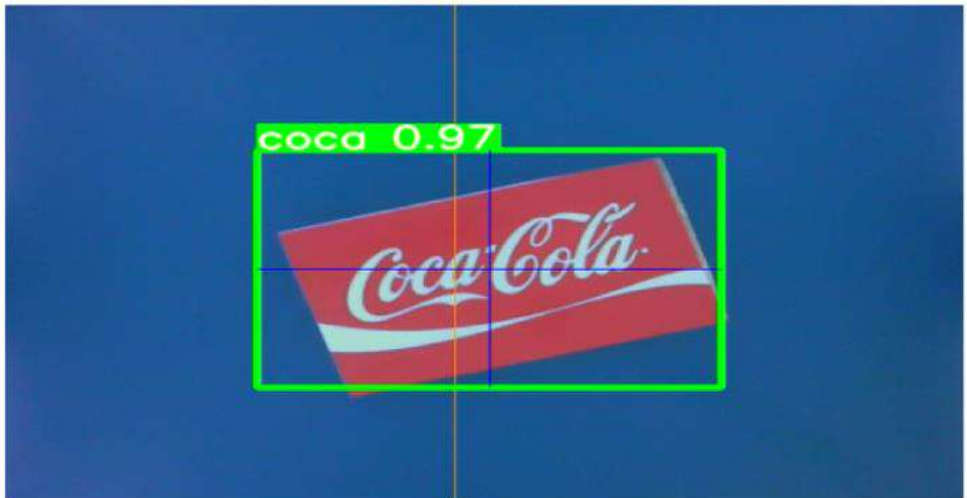
c)



a)

Control Automático

Cámara 0 play stop




Control

Elegir archivo de la Red Neuronal Archivo

hProjects/CeldaSoftware/dist/main/pesos/last_bebidas.pt

Iniciar Detener



Historial

Generar datos

Compensación

Eje Z mm 0

Eje X mm 0

Probar


b)

ALERTA

Paro de emergencia, presione OK para restablecer la celda

OK

Iniciar

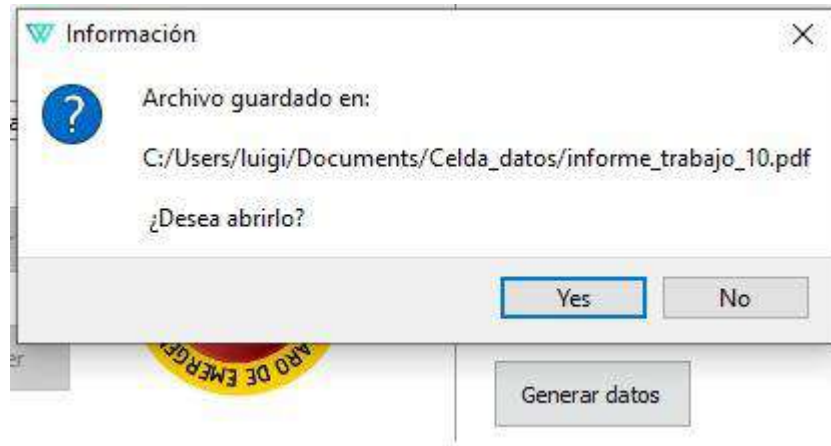


Detener

Generar datos



a)



b)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE LATACUNGA

INFORME DE CICLO DE TRABAJO

HORA INICIO: 16:36:00 03/08/2021

HORA FIN: 16:38:36 03/08/2021

CLASES: 4

OBJETOS: 19

Información

#	Clase	ID
1	tensi	0
2	carve	1
3	poviral	2
4	lemonflu	3

DATOS

Objeto 0 Clase: ID 0

Objeto 1 Clase: ID 0

Objeto 2 Clase: ID 3



Validación de la Hipótesis

La hipótesis planteada del presente proyecto es: **¿El diseño y construcción de una celda robotizada de clasificación permitirá clasificar objetos en movimiento mediante visión artificial y redes neuronales?** Se emplea un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Para lo cual se plantea la hipótesis nula y la alternativa.

H_0 = El diseño y construcción de una celda robotizada si clasifica objetos en movimiento mediante visión artificial y redes neuronales

H_1 = El diseño y construcción de una celda robotizada no clasifica objetos en movimiento mediante visión artificial y redes neuronales.



Validación de la Hipótesis

Validación de la Hipótesis			
	Objetos Clasificados	Objetos no clasificados	Total
Clase 1	55	1	56
Clase 2	50	0	50
Clase 3	47	2	49
Clase 4	44	1	45
Total	196	4	200



Frecuencias esperadas

Para que la hipótesis nula sea afirmativa se debe calcular las nuevas frecuencias esperadas, para lo cual se aplica regla de tres

Frecuencias esperadas de la hipótesis			
	Objetos Clasificados	Objetos no clasificados	Total
Clase 1	54.88	1.12	56
Clase 2	49	1	50
Clase 3	48.02	0.98	49
Clase 4	44.1	0.9	45
Total	196	4	200

$$f_{(2,2)} = \frac{f_{(6,2)} * f_{(2,4)}}{f_{(6,4)}}$$

$$f_{(2,2)} = \frac{196 * 56}{200}$$

$$f_{(2,2)} = 54.88$$



Método Chi-Cuadrado

$$x^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Variable	Descripción
x^2	Chi-cuadrado
o_i	Frecuencia observada o muestreada
e_i	Frecuencia esperada

Chi-Cuadrado Calculado

$$x^2 = 2.1281$$

Chi-Cuadrado Tabla

$$x^2 = 7.8147$$

Por lo tanto:

$$x^2 < x_a^2$$

$$2.1281 < 7.8147$$



Validación de la Hipótesis

Se acepta la hipótesis nula, por lo cual el diseño y construcción de una celda robotizada **SI** clasifica objetos en movimiento mediante visión artificial y redes neuronales.



CONCLUSIONES

- *El proyecto se concluyó con el diseño y construcción de la celda robotizada mediante los diseños generados aplicando medidas estándar, para la estructura mecánica y piezas móviles; se rigió a un factor de seguridad estándar, los componentes electrónicos fueron seleccionados bajo el criterio de la matriz de Pugh para la toma de decisiones, mediante el análisis de resultados se concluyó que la celda robotizada si clasifica objetos en movimiento mediante visión artificial y redes neuronales.*
- *Para el diseño y construcción de la celda robotizada se partió de la investigación del concepto principal de una celda robotizada, así como las diferentes estructuras que puede tener esta, determinando así los elementos pasivos y activos. Se concluye que la celda robotizada tendrá como elementos principales un robot paralelo tipo delta, una banda transportadora, un sistema controlado de iluminación, un panel de control y una aplicación HMI.*



CONCLUSIONES

- *En el diseño de la estructura mecánica se realizó un análisis estático en un software CAD, regido a especificaciones estándar con un factor de seguridad $N=2$, por lo cual se determinó que la estructura mecánica tiene las dimensiones de 1500x510x1450mm, el material seleccionado es un ASTM A36, siendo el perfil cuadrado HSS 40x40 cédula 30 el seleccionado para la construcción de la estructura de la celda robotizada. La construcción de la estructura mecánica se realizó respetando el diseño, materiales y dimensiones previamente diseñadas, además se protegió al material de la corrosión mediante la aplicación de una capa de fondo marino “primer” y capa de pintura color gris claro.*



CONCLUSIONES

- *En el diseño de la banda transportadora, la parte mecánica se modeló en un software CAD, regido a medidas estándar y con un factor de seguridad $N=2$, la parte electrónica se diseñó bajo el criterio de la matriz de Pugh. Se determinó que el material para la parte mecánica de la banda transportadora es un ASTM 36, el perfil seleccionado es un canal en C 80x40 con un espesor de 2 mm, el material seleccionado para el eje de los rodillos es un ASTM A36, con unas dimensiones de 12mm de diámetro y 220mm de longitud, se determinó que el material seleccionado para los rodillos fue nylon con unas dimensiones de 50mm de diámetro exterior, 12 mm de diámetro interior y 180mm de longitud, además se seleccionó dos chumaceras de 12mm de diámetro con dos perforaciones M10 separadas a una longitud de 74mm.*



CONCLUSIONES

- *El motor seleccionado es un motor BOSCH de 35 W, con un torque 12Nm, el material seleccionado para la cubierta superior de la banda es de PVC de color verde con un acabado liso, para la cubierta inferior se utilizó fibras sintéticas, vulcanizada sin fin con un espesor de 3mm*
- *Para el diseño del robot paralelo tipo delta, la parte mecánica se seleccionó una base fija en forma hexagonal, el material seleccionado fue aluminio con un espesor de 5mm, para el eslabón corto el material seleccionado es aluminio, con una longitud de 120 mm entre ejes y un espesor de 5mm, para el eslabón largo se seleccionó dos tubos de fibra de carbón de 5mm de diámetro interno y 7mm de diámetro externo, con una longitud de 320mm, los elementos electrónicos se seleccionaron bajo el criterio de la matriz de Pugh, por lo cual la tarjeta de control seleccionada fue una ARMX , para los motores se seleccionó tres motores Nema 17 con modulo PID, para proteger la parte electrónica se diseñó una carcasa separada en dos partes una superior y una inferior, la construcción se realizó con un material plástico PLA.*



CONCLUSIONES

- *Para la celda robotizada se utilizó la red neuronal YOLOv5, esta es una red convolucional, la misma que permite detectar objetos; el número de épocas idóneo para el entrenamiento de la red neuronal es 200, la red neuronal es capaz de detectar de 1 a 4 diferentes tipos de clases. La detección de objetos se realizó a través de la captura de una imagen de entrada del objeto en movimiento con una cámara de video con ayuda de herramientas de OpenCV, para una mejor obtención de la imagen de entrada se utilizó un domo piramidal de iluminación omnidireccional creando un ambiente controlado.*



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONCLUSIONES

- *Se generó una aplicación HMI basado en código de programación libre Python, la cual permite realizar la comunicación, el control manual y automático, la ejecución de la celda robotizada. Además, la aplicación permite generar el entrenamiento de una nueva red neuronal con una base de datos personalizada, para lo cual se requiere de un hardware computacional de alto nivel, que satisfaga las prestaciones de la red neuronal, ya que la misma es una de las más actuales hasta la fecha de presentación de este proyecto.*
- *Con la aplicación de la red neuronal y técnicas de visión artificial se logró la detección de objetos en movimiento, estos son desplazados por la banda transportadora a una velocidad idónea de 50mm/s, que posteriormente son clasificados por el robot paralelo tipo delta con una velocidad idónea de 500mm/s, hacia 4 diferentes pallets de almacenamiento.*



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONCLUSIONES

- *Se realizaron varias pruebas de funcionamiento, concluyendo que la celda robotizada tiene la capacidad de clasificar hasta 4 diferentes clases de objetos, con un porcentaje de acierto mayor al 98%, estimando que, por cada 200 objetos detectados, se tiene un error de 4 objetos no clasificados.*
- *Bajo el método estadístico de chi-cuadrado, tomando en cuenta el resultado del criterio, se concluyó que la hipótesis planteada es afirmativa.*



RECOMENDACIONES

- *Una vez finalizado el presente proyecto, al trabajar con redes neuronales, se recomienda, que en primer lugar se debería asegurar que el recurso computacional disponible sea compatible con el potencial y la flexibilidad de la red neuronal a ser implementada, ya que un algoritmo de alto desempeño necesita de mayores recursos computacionales.*
- *Se sugiere tomar en cuenta en el diseño preliminar, los elementos que se pretende usar, verificando la disponibilidad en la localidad, ya que esto facilitará la obtención de los mismos y no retrasará la construcción.*
- *Se recomienda respetar las medidas de los objetos a clasificar, tanto en área como en altura, dado que la celda robotizada cuenta al ingreso de la misma con un sistema de detección de objetos sobredimensionados, por lo cual puede causar atascos y daños en la integridad de la banda transportadora, además de al domo de iluminación.*



RECOMENDACIONES

- *Se sugiere previamente a la ejecución de la celda robotizada en modo automático, realizar la calibración tanto del offset en el eje “Z” como en el eje “X”, dado que los objetos a clasificar pueden poseer diferentes dimensiones, y es responsabilidad del usuario preservar la integridad en primer lugar del usuario como de la celda robotizada, evitando colisiones innecesarias entre el robot paralelo tipo delta y su entorno.*
- *Para la ejecución de un ciclo de trabajo de la celda robotizada, se recomienda verificar en primera instancia que se encuentre energizada, revisando el indicador luminoso de color verde, posterior a esto se sugiere, comprobar que la comunicación serial se encuentre establecida tanto para el robot, la banda transportadora y la cámara de visión, para la comunicación serial se recomienda utilizar conexión USB 3.0.*



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VIDEO

