



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“El único límite a nuestros logros de mañana está en nuestras dudas de hoy”

Franklin D. Roosevelt





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA OMNIDIRECCIONAL DE TRANSPORTE PARA LA CLASIFICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD USANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA.”

AUTORES: BARRIONUEVO ERICK, NAVAS BRYAN

DIRECTOR: ING. REA NATHALY



INGENIERÍA MECATRÓNICA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño y construcción de un mecanismo omnidireccional de transporte, clasificación y control de calidad de piezas provenientes de procesos de prototipado rápido (impresión 3D) mediante visión artificial.

El sistema es capaz de clasificar 3 tipos de piezas, ya que ha sido entrenado para ello, la discretización es realizada por el sistema de visión artificial, además permite una mejor interacción humano – máquina debido a que presenta una interfaz gráfica donde se detallan los procesos a realizarse, y la duración que cada proceso tiene.

Un sensor de presencia permite cerciorarse de que existe un objeto al inicio del sistema y así, empezar el proceso de manera automática. El funcionamiento general del sistema logró un porcentaje de confiabilidad del 89%.



JUSTIFICACIÓN

- Optimización de procesos
- Transporte en diferentes direcciones
- Transporte y clasificación
- Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga
- Prácticas con visión artificial y mecanismo omnidireccionales
- Estudiantes podrán observar las características, funciones principales y ventajas de utilizar un sistema omnidireccional.



ANTECEDENTES

- Los procesos industriales han evolucionado por la necesidad producir más en menos tiempo por lo que a través del tiempo se han optimizado procesos para cumplir con esta necesidad
- El transporte de material mediante cintas transportadoras, se remonta en el año 1795 y fueron empleadas principalmente en la industria minera. La producción de cintas transportadoras de acero comenzó en el año de 1901 y su inventor fue Sandvik.
- La mayoría de sistemas de clasificación utilizan actuadores neumáticos, los mismos que requieren de varios componentes como compresores, válvulas, mangueras
- Usar visión artificial ha sido lo más novedoso en los últimos años para varias aplicaciones como inspección, identificación, vigilancia, bioingeniería, etc., esto se realiza por medio de un software de programación y una cámara que permite capturar las imágenes con las que se trabajará.



OBJETIVO GENERAL

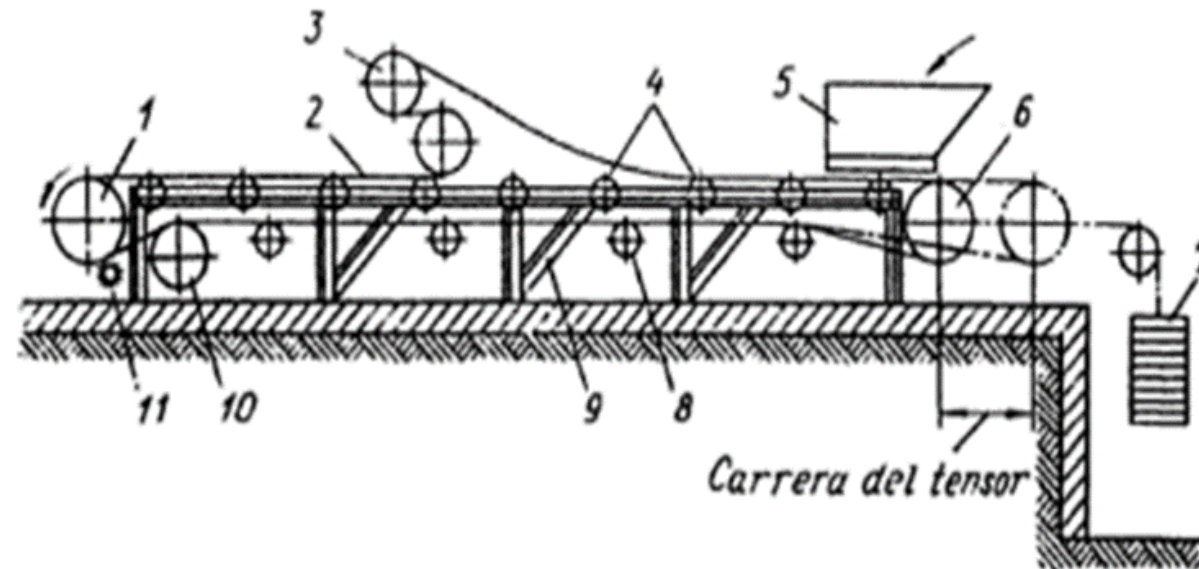
Diseñar e implementar un sistema omnidireccional de transporte para la clasificación y control de calidad usando visión artificial para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.



Sistemas de Transporte en la Industria

Para el transporte de productos en la industria se utilizan cintas o bandas transportadoras las mismas que presentan características amplias dependiendo de su forma y diseño.

Bandas Transportadoras



Sistemas de Transporte en la Industria

Tipos de bandas transportadoras



Sistemas de Transporte en la Industria

Sistemas de transporte omnidireccionales

- Permiten realizar movimientos laterales a medida que se mueven por el transportador
- Cada rueda omnidireccional está construida con varios rodillos de giro libres que están montados alrededor de la periferia de la rueda principal



Sistemas de Transporte en la Industria

Tipos de ruedas para el transporte



Motores DC

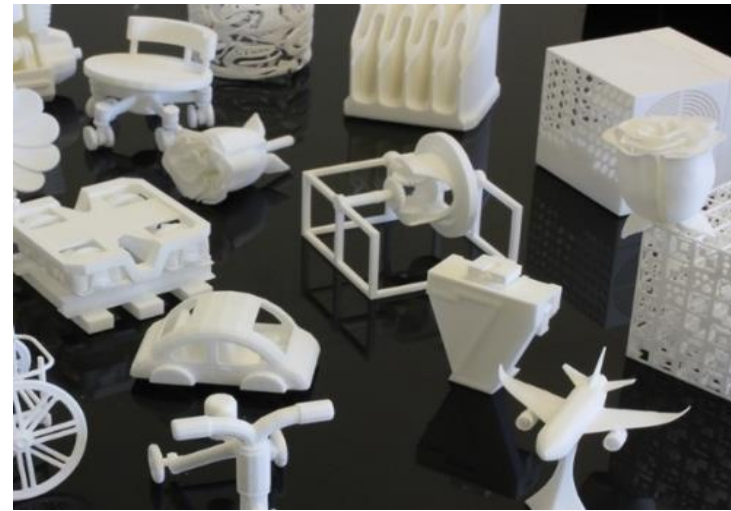
Es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica, generando un movimiento rotatorio, mediante la acción de un campo eléctrico

Motores paso a paso



Piezas de prototipado rápido

- Las piezas de prototipado rápido son modelos físicos provenientes de procesos de impresión 3D
- Los procesos de prototipado rápido se definen como el conjunto de técnicas que permiten obtener de la manera más rápida una réplica tridimensional de un diseño generado mediante una aplicación CAD en 3D.



Criterios de clasificación y control de calidad

Los errores más comunes de una pieza proveniente de procesos de prototipado rápido están los siguientes:

- Problemas de deformación
- Problemas de capa
- Problemas de extrusión
- Problemas de acabado superficial

Dentro de las deformaciones tenemos:

- Desplazamiento de capas
- Deformación en las capas
- Warping
- Pérdida completa de forma en las piezas



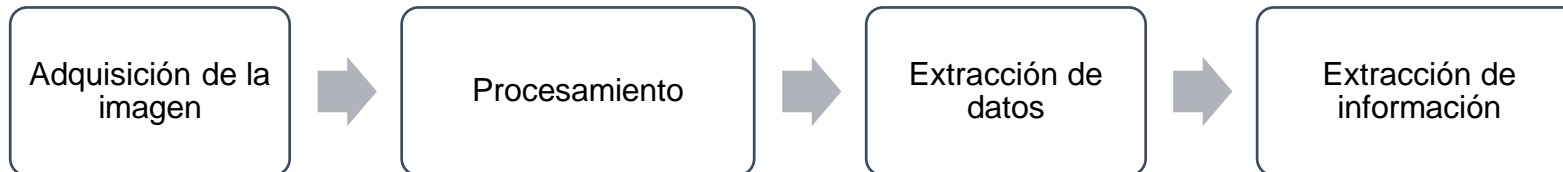
FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

Criterios de clasificación y control de calidad



Procesamiento digital de imágenes

Nivel de visión	Procesos del PDI
Bajo	Captura/Adquisición
	Pre-procesamiento
Medio	Segmentación
	Descripción
	Reconocimiento
Alto	Interpretación



FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

Procesamiento digital de imágenes

Operaciones con imágenes



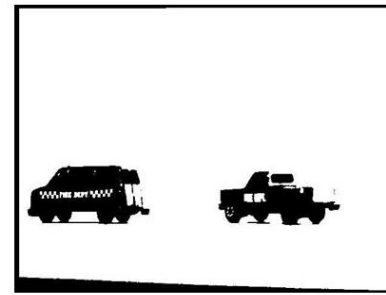
Imagen 1



Transformación



Imagen 1



Transformación



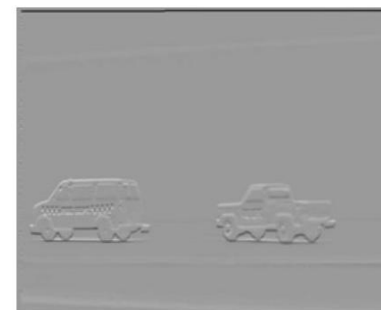
Imagen 1



Transformación



Imagen 1

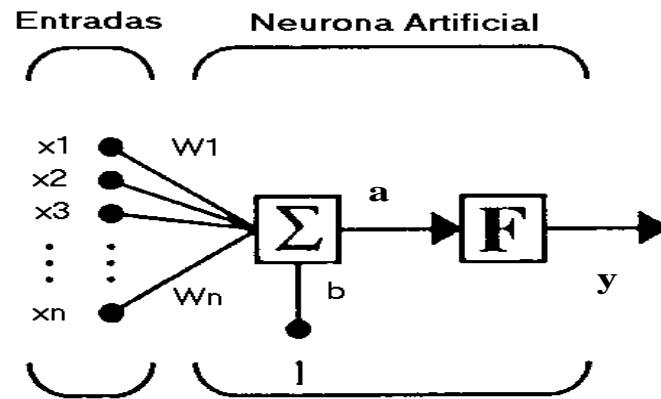


Transformación



Redes neuronales

Neurona artificial

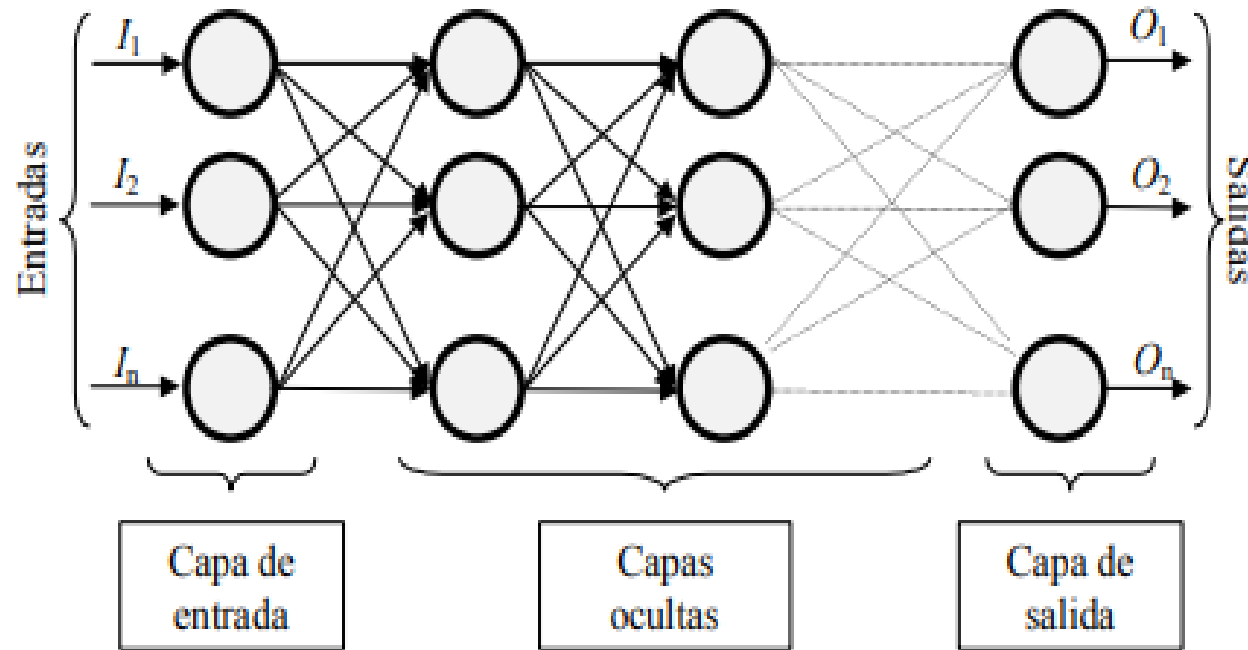


Redes neuronales artificiales (ANN)

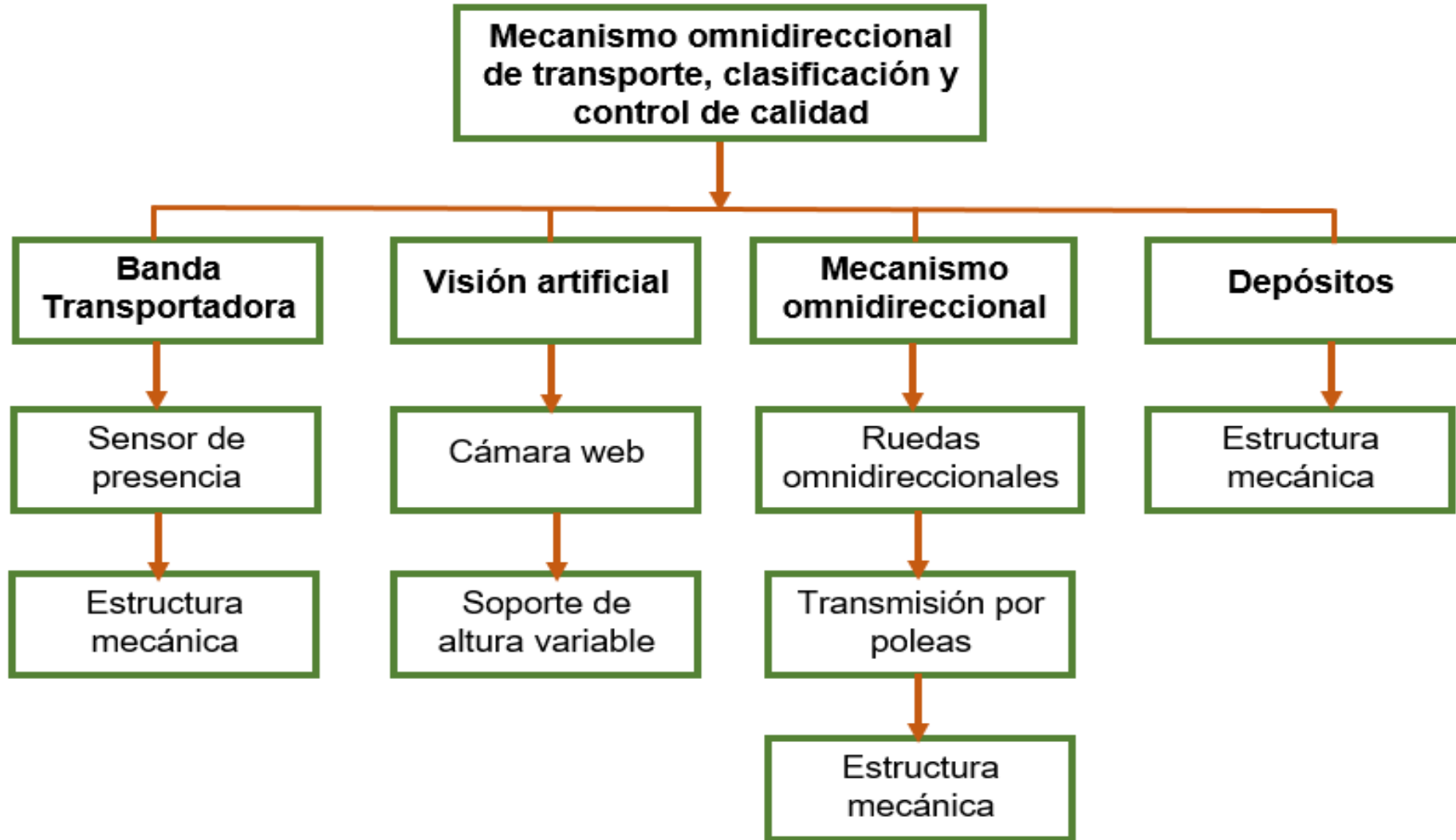
Es un esquema computacional que pretende emular el comportamiento biológico de las neuronas, compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles.

Redes neuronales

Redes neuronales artificiales (ANN)



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Selección del tipo de ruedas a emplearse

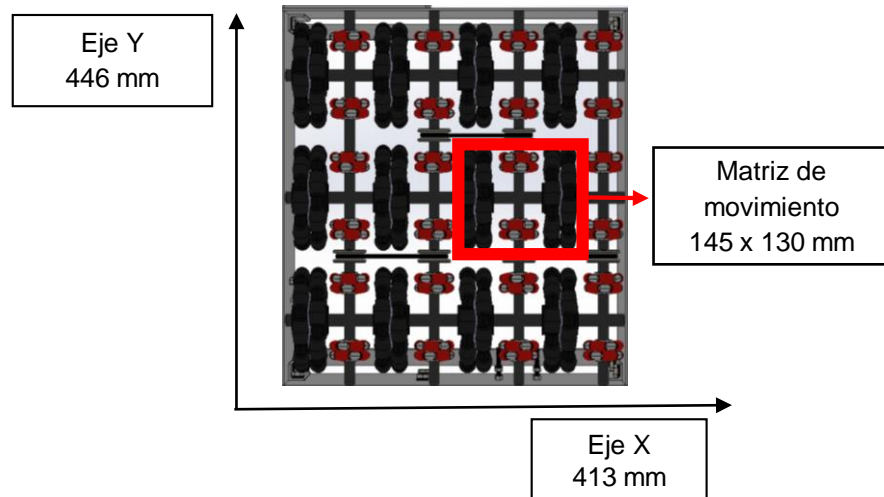
Parámetro	Ruedas Cilíndricas	Ruedas Omnidireccionales	Ruedas Mecanum
Movimiento	Solo pueden rotar sobre su propia periferia. Rotaciones laterales no son posibles.	Pueden rotar en dos direcciones, una a lo largo de la periferia de la base de la llanta y la otra a lo largo de la periferia de los rodillos.	Pueden rotar en dos direcciones, una a lo largo de la periferia de la base de la llanta y la otra a lo largo de la periferia de los rodillos a un ángulo de 45°.
Ensamblaje	Fácil de montar.	Relativamente fácil.	Complejo de montar.
Uso	Movimientos en dos direcciones. Generalmente utilizadas en vehículos.	Movimientos en múltiples direcciones, con alta velocidad de avance. Generalmente utilizadas para el movimiento omnidireccional en robots y para el transporte y clasificación de productos.	Movimientos en múltiples direcciones, garantizando alta fuerza de empuje. Generalmente utilizados para el movimiento omnidireccional de robots con cualquier tipo de armazón.
Fabricación	Su fabricación es sencilla y pueden estar elaboradas de materiales metálicos, no metálicos, plásticos, etc.	Su fabricación es más compleja debido a que el material de la rueda es por lo general de plástico o de aleaciones de metal y los rodillos están hechos con materiales que posean alta tracción (compuestos de caucho) para proporcionar un alto coeficiente de fricción.	Su fabricación es mucho más compleja que las omnidireccionales debido a que los rodillos están montados a un ángulo de 45 grados con respecto al eje de la rueda. Los materiales de fabricación de la rueda y rodillos son por lo general los mismo que las ruedas omnidireccionales
Costo	Costo de fabricación bajo	Alto costo de fabricación	Alto costo de fabricación



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Selección de las ruedas omnidireccionales a utilizarse



$$n = 360 / 90$$

$$n = 4$$

Ruedas omnidireccionales utilizadas

Rueda omnidireccional Rotacaster 48 mm

R2 – 0484 - 9001

Movimiento eje x

Rueda omnidireccional Rotacaster 125 mm

R2 – 1258 – 95/N13

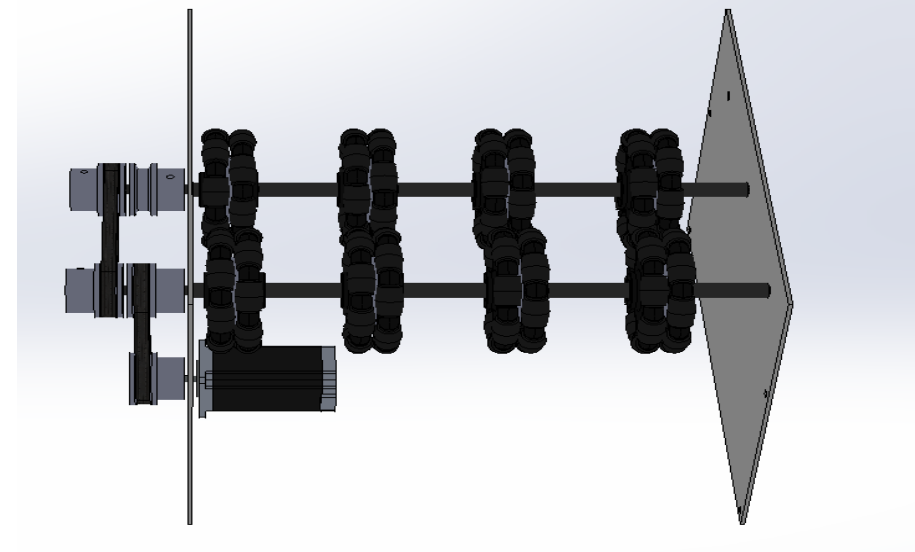
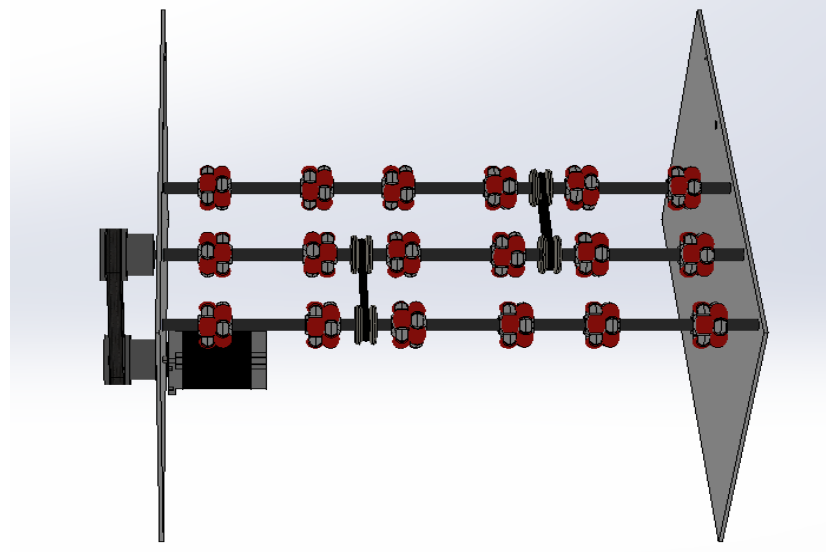
Movimiento eje Y



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

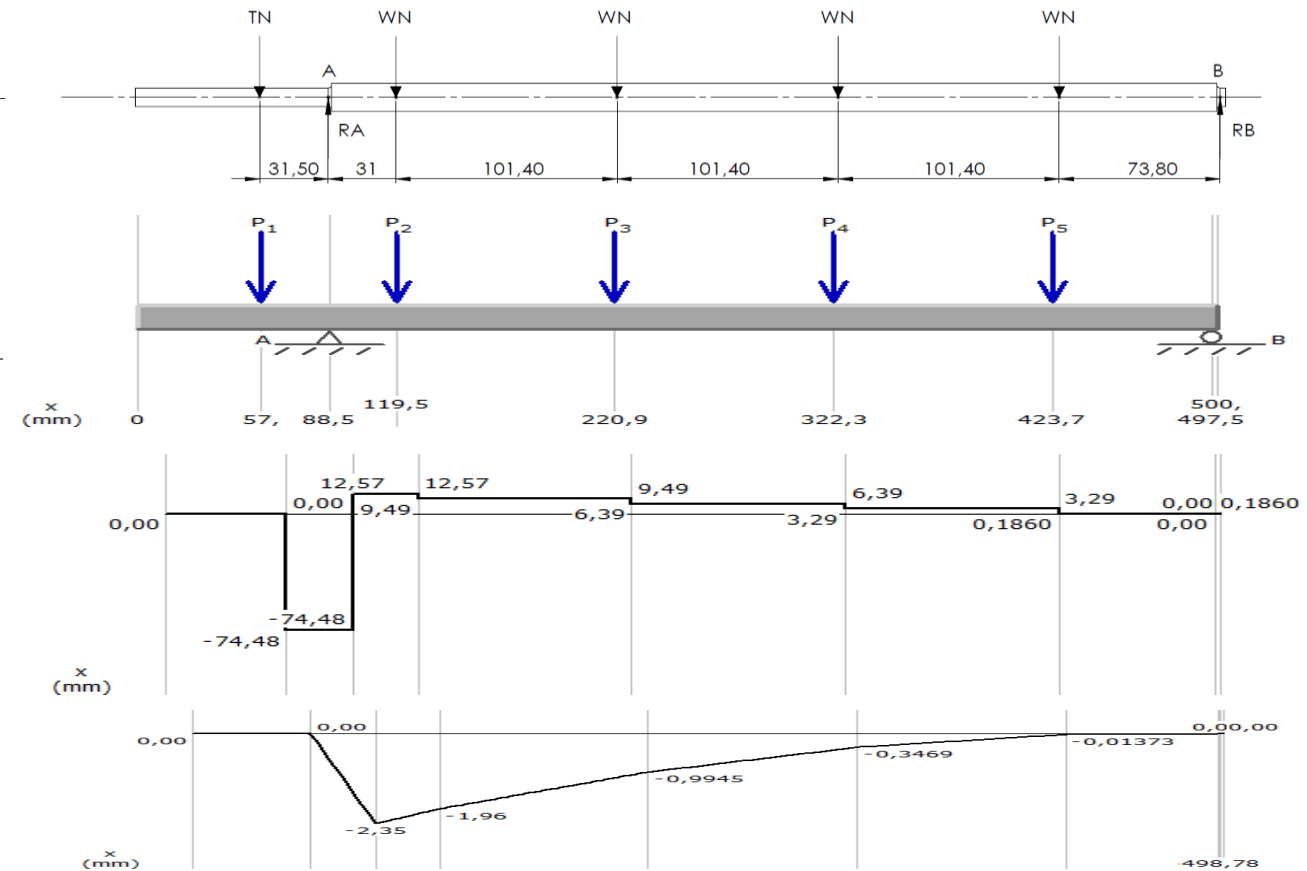
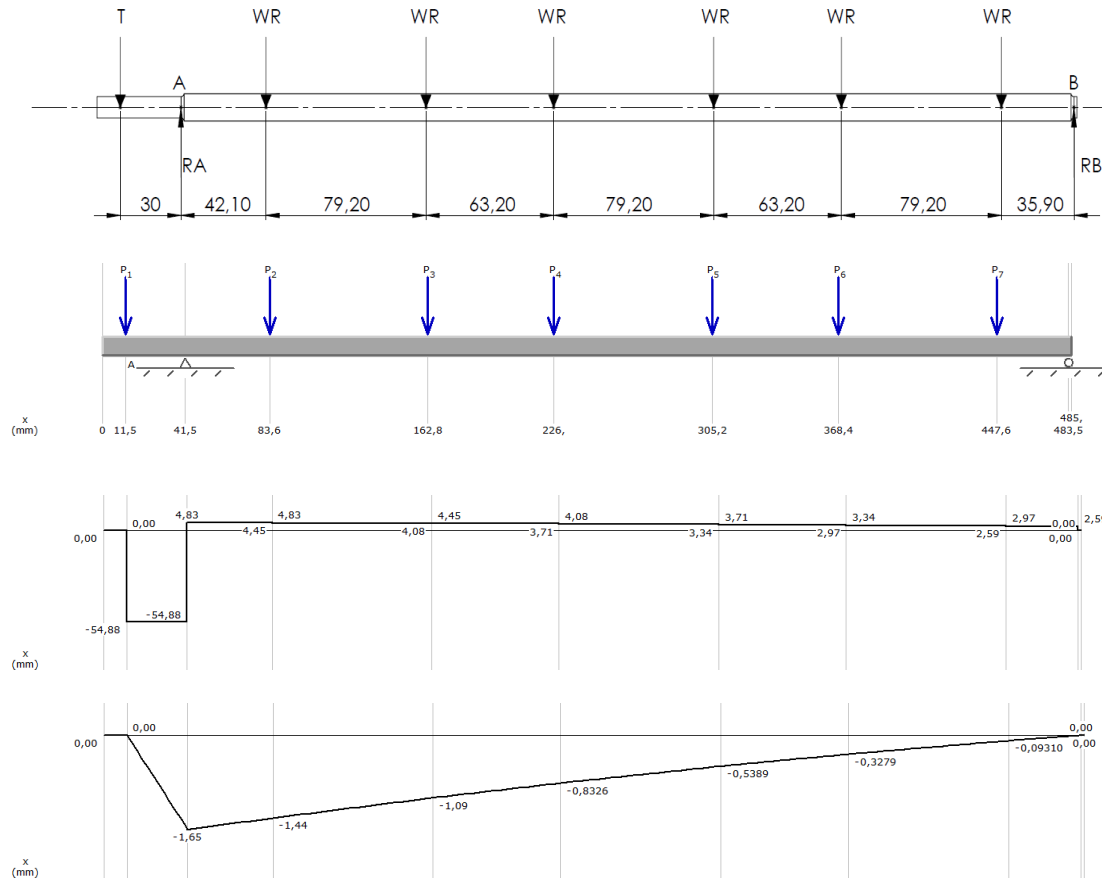
Diseño de los ejes de las ruedas omnidireccionales



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño de los ejes de las ruedas omnidireccionales

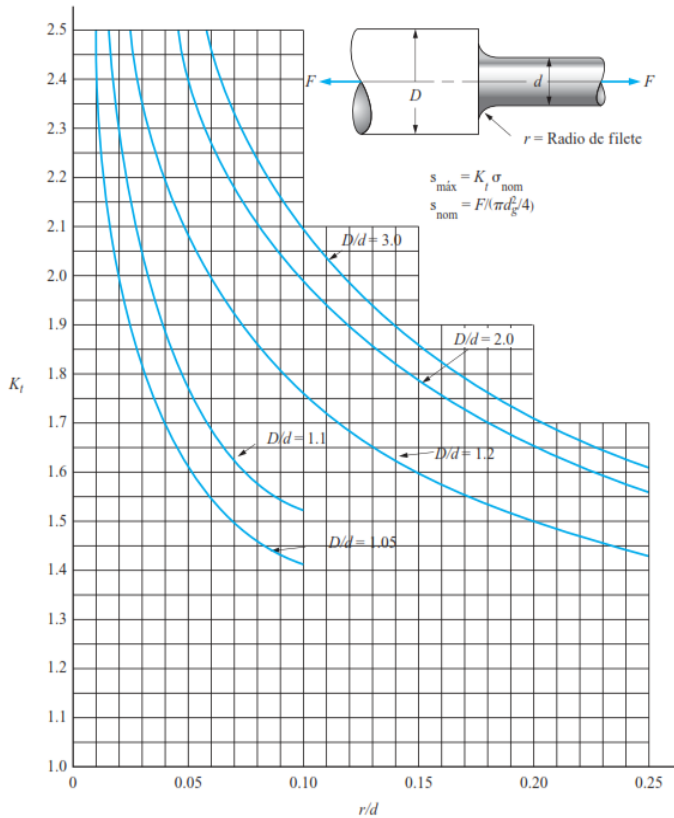


DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño de los ejes de las ruedas omnidireccionales

A-22-2 Barra redonda escalonada axialmente cargada a tensión.



D/d	K_t
1.2	1.6
1.27	K_t
2	1.79

D/d	K_t
1.2	1.6
1.5	K_t
2	1.79

$$K_t = 1.617$$

$$K_t = 1.671$$

$$S = \frac{\pi D^3}{32}$$

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * K_t}{S}$$

$$\sigma = 27.179 \text{ MPa} \quad \sigma = 39.998 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{8}$$

$$S_y = 217.432 \text{ MPa}$$

$$S_y = 319.984 \text{ MPa}$$

Acero de transmisi3n
1018

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

Acero de transmisi3n 1018
recocido

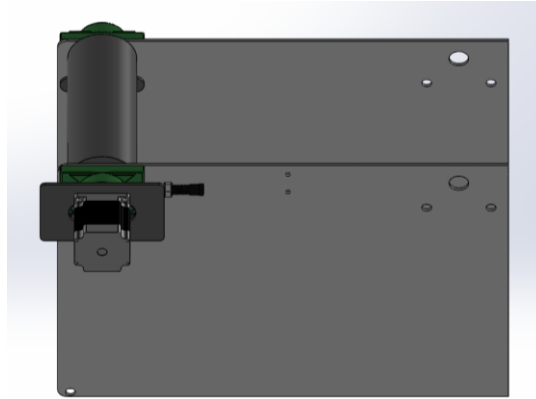
$$S_y = 370 \text{ MPa}$$



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

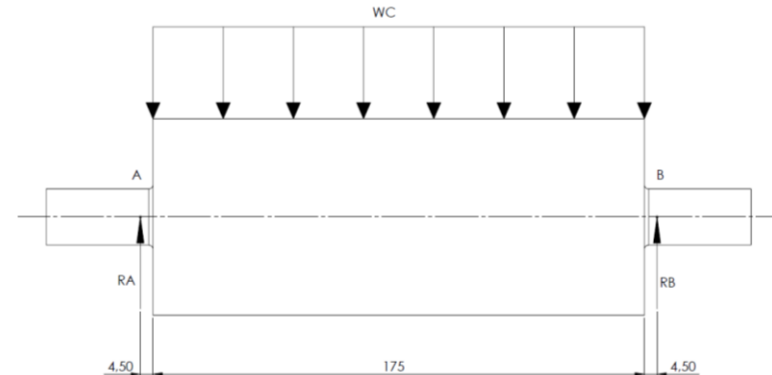
Diseño del eje de la banda transportadora



$$\sigma = 0.702 \text{ MPa}$$

$$S_y = 5.616 \text{ MPa}$$

Acero de transmisión 1018 $S_y = 220 \text{ MPa}$



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Selección de los motores

Pesos Ejes – Mecanismo Omnidireccional		
Nombre	Peso Individual	Peso Total
Ruedas Omnidireccionales (48 mm) y Eje	0.713 kg	2.852 kg
Ruedas Omnidireccionales (125 mm) y Eje	1.704 kg	5.112 kg

$$WER = 2.852 \text{ kg}$$

$$WEN = 5.112 \text{ kg}$$

NEMA 23 de 9 kg.cm

$$TER = \frac{5 \text{ cm}}{2} \times (2.852 \text{ kg}) \times 1.4$$

$$TEN = \frac{5 \text{ cm}}{2} \times (5.112 \text{ kg}) \times 1.4$$

NEMA 23 de 14 kg.cm

$$TER = 9.982 \text{ kg.cm}$$

$$TEN = 17.892 \text{ Kg.cm}$$

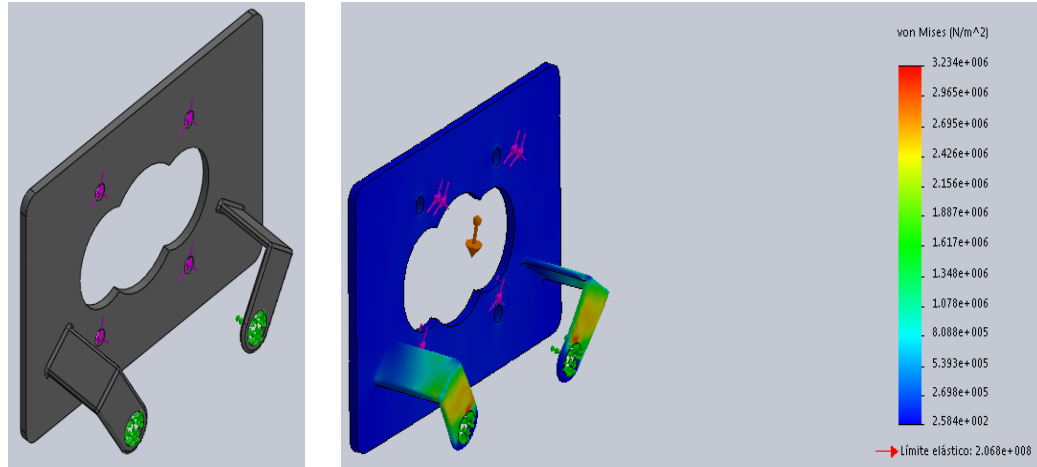
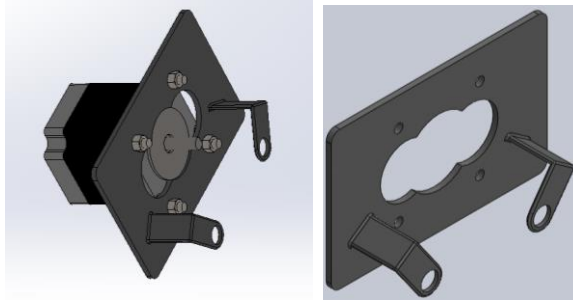
NEMA 23 de 19 kg.cm



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño del soporte motor NEMA 23 de 9 kg.cm



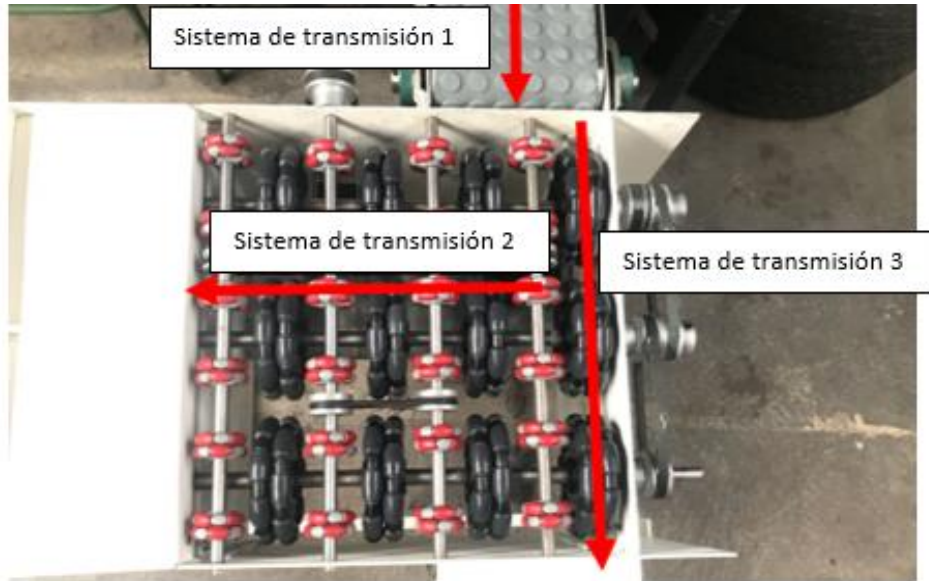
Nombre:	Tipo:	Mín:	Máx:
Deformación Unitaria	Deformación unitaria equivalente	1.484e-009 mm	8.962e-006 mm



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño de los sistemas de transmisión



CLASE DE TRABAJO	EJEMPLOS DE MÁQUINAS ACCIONADAS	TIPOS DE MÁQUINAS MOTRICES					
		Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Normal			Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Elevado		
		Horas de Servicio Diarias			Horas de Servicio Diarias		
		Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16	Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16
Ligero	Agitadores para líquidos. Aspiradores. Bombas y compresores centrifugos. Transportadores de cinta para carga ligera. Ventiladores y bombas hasta 7,5 Kw.	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Mediano	Amasadoras. Cizallas y prensas. Cribas rotativas y vibrantes. Generadores y excitatrices. Máquinas herramientas. Maquinaria para artes gráficas. Maquinaria para lavanderías. Transportadores de cinta para carga pesada. Ventiladores y bombas a partir de 7.5 Kw.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

$$P_{e1} = 96W$$

$$P_{e2} = 72W$$

$$velocidad\ del\ motor = w_m = 150rpm$$

$$Potencia\ del\ motor\ de\ 19\ kg.cm = P_1 = 96W$$

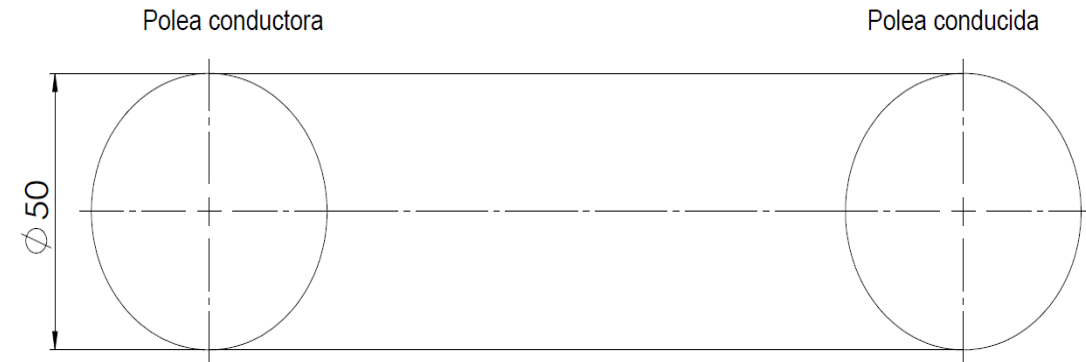
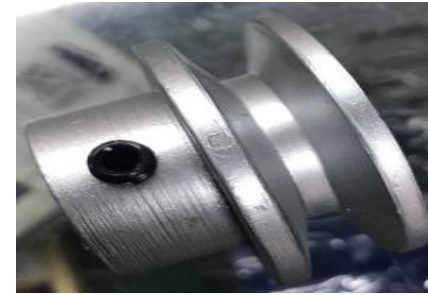
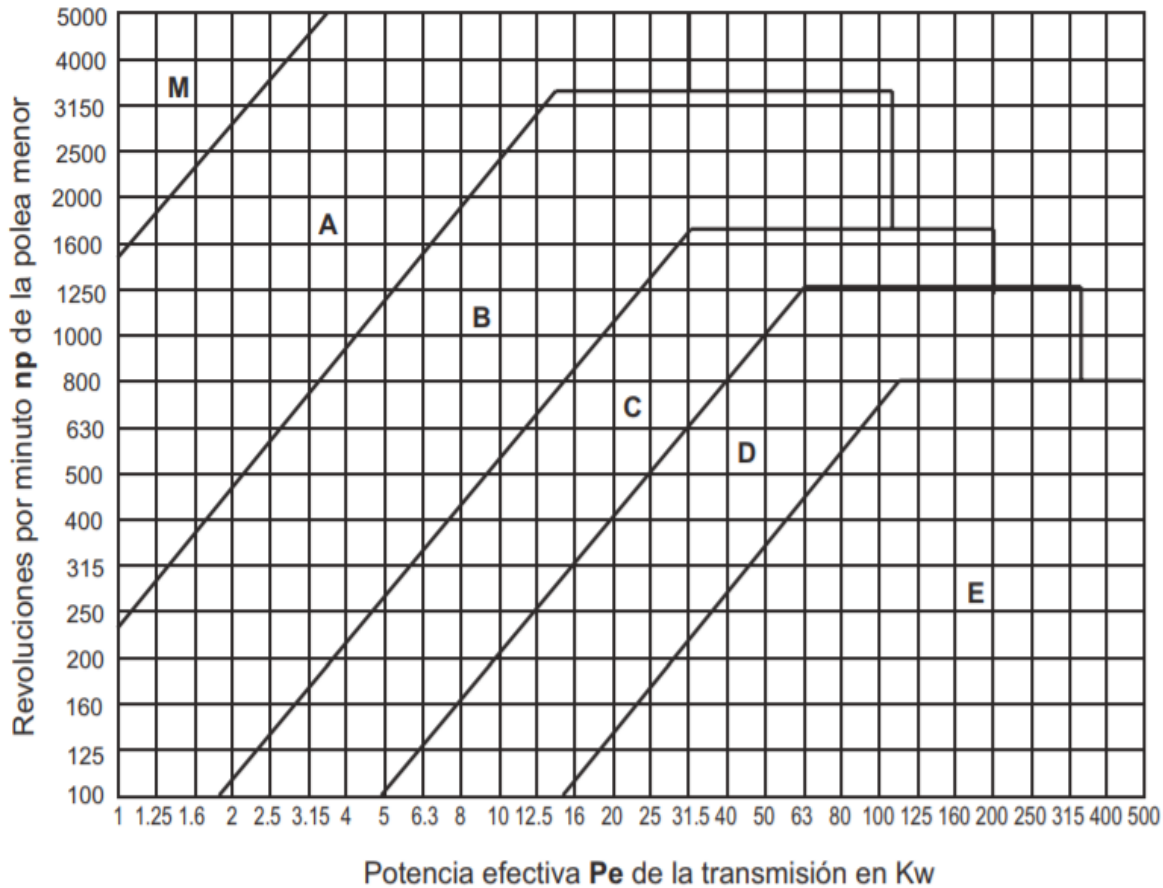
$$Potencia\ del\ motor\ de\ 14\ kg.cm = P_2 = 72W$$



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño de los sistemas de transmisión



$$w_1 \cdot r_1 = w_2 \cdot r_2$$

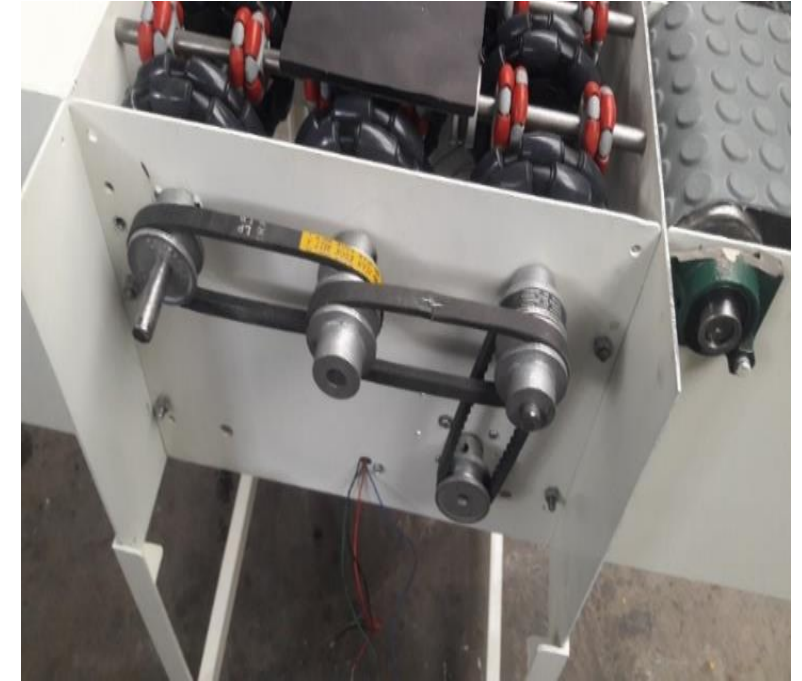
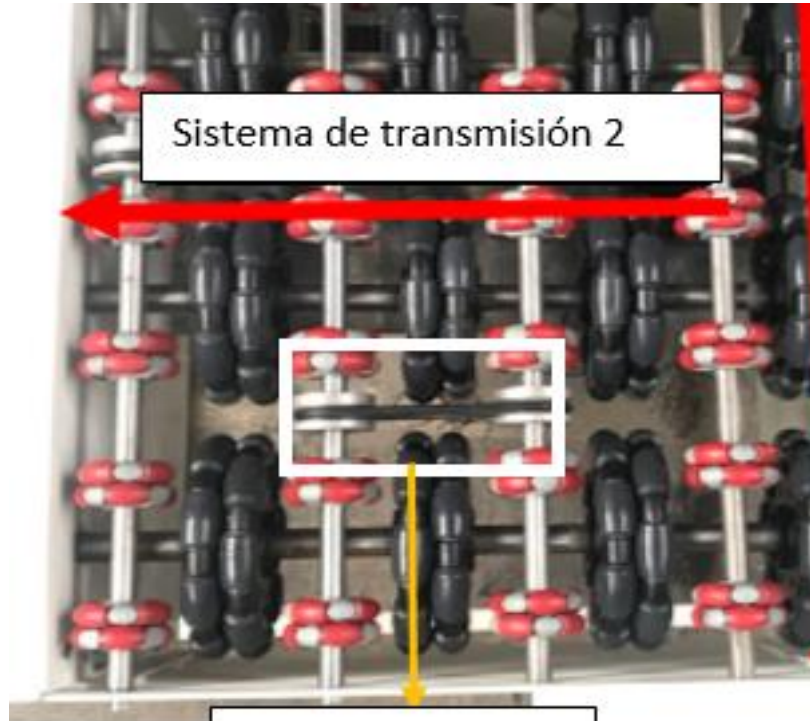
$$r_1 = r_2$$



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

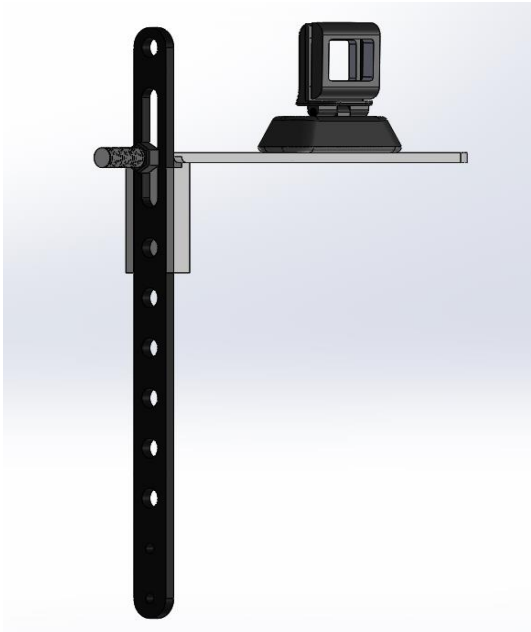
Diseño de los sistemas de transmisión



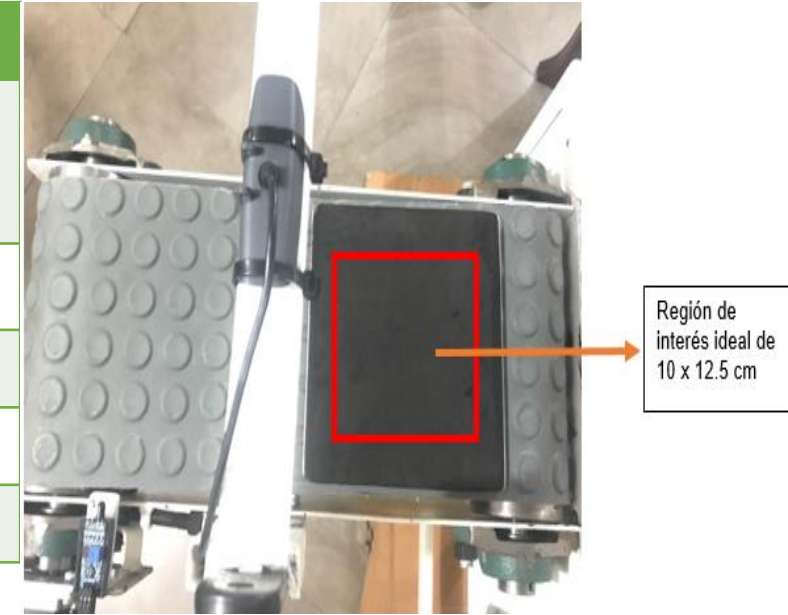
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del mecanismo omnidireccional

Diseño del soporte de la cámara



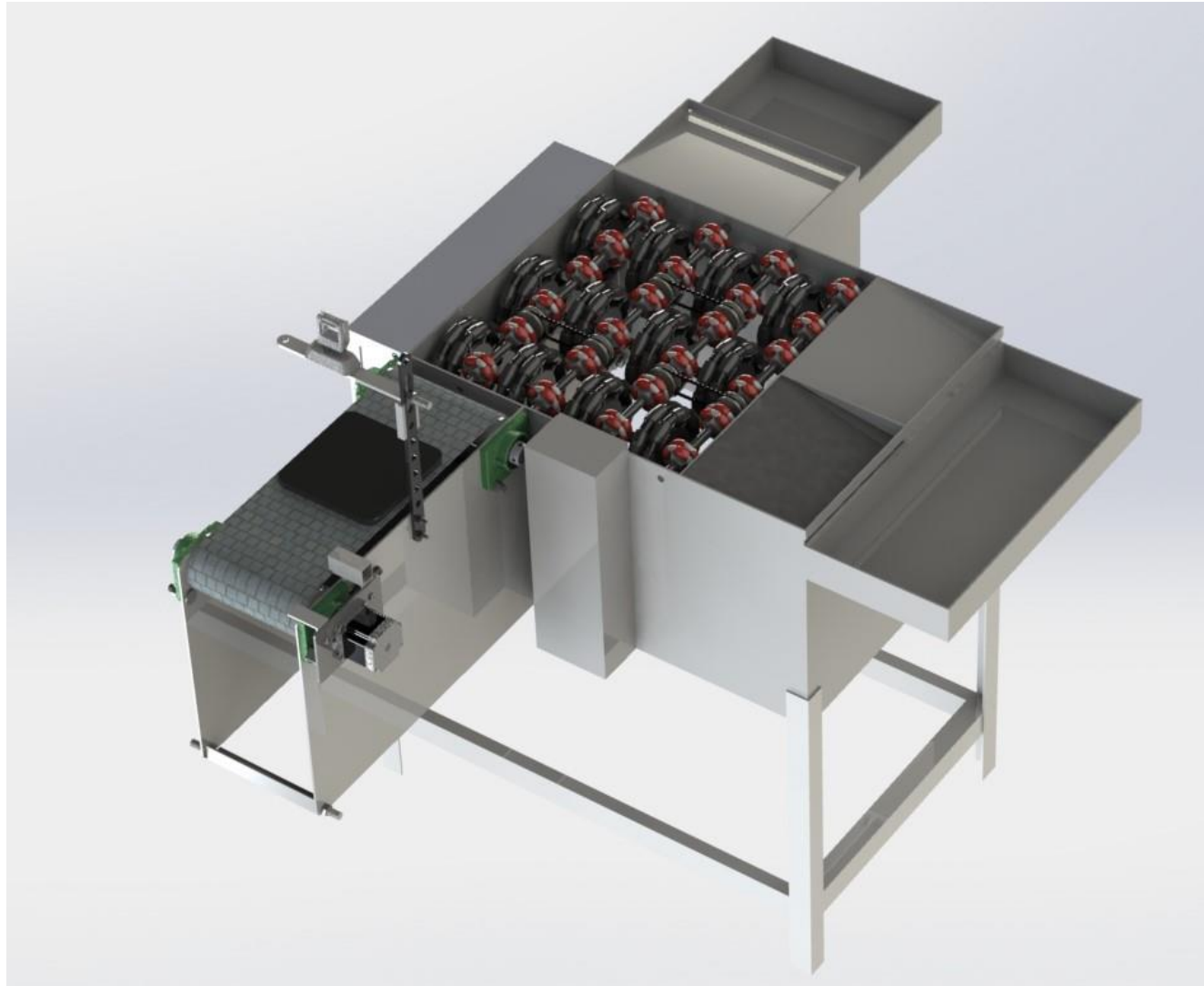
Regiones de interés sobre el pallet		
Altura de la cámara con respecto al pallet	Dimensiones de la región de interés	
	Largo	Ancho
19.5 cm	14.5 cm	18.5 cm
17 cm	10 cm	12.5 cm
15 cm	9 cm	11 cm



Región de
interés ideal de
10 x 12.5 cm

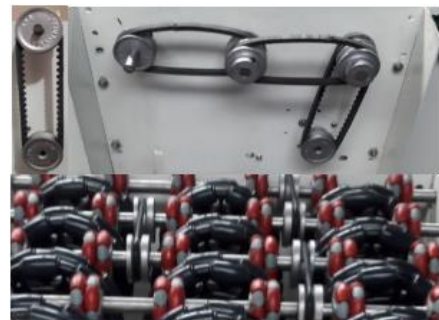
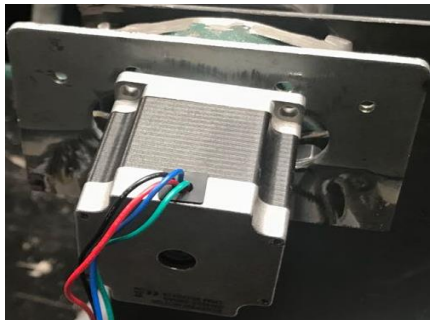
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Construcción del mecanismo omnidireccional



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Construcción del mecanismo omnidireccional



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del circuito electrónico

Selección de los drivers

Motores del mecanismo omnidireccional

Motor	Ubicación
Motor a Pasos NEMA 23 (9 kg.cm)	Banda Transportadora
Motor a Pasos NEMA 23 (14 kg.cm)	Accionamiento llantas Omnidireccionales 48 mm
Motor a pasos NEMA 23 (19 kg.cm)	Accionamiento llantas Omnidireccionales 125 mm

Drivers para los motores a pasos

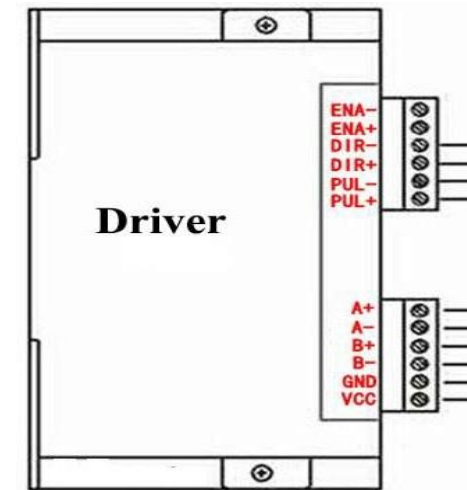
Motor	Driver
Motor a Pasos NEMA 23 (9 kg.cm)	BL - TB6560 - V1.2 – 4.5 A
Motor a Pasos NEMA 23 (14 kg.cm)	BL – TB6560 - V1.2 – 4.5 A
Motor a pasos NEMA 23 (19 kg.cm)	BL - TB6600 - V1.2 - 5 A



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del circuito electrónico

Selección de los drivers



Drivers para los motores a pasos

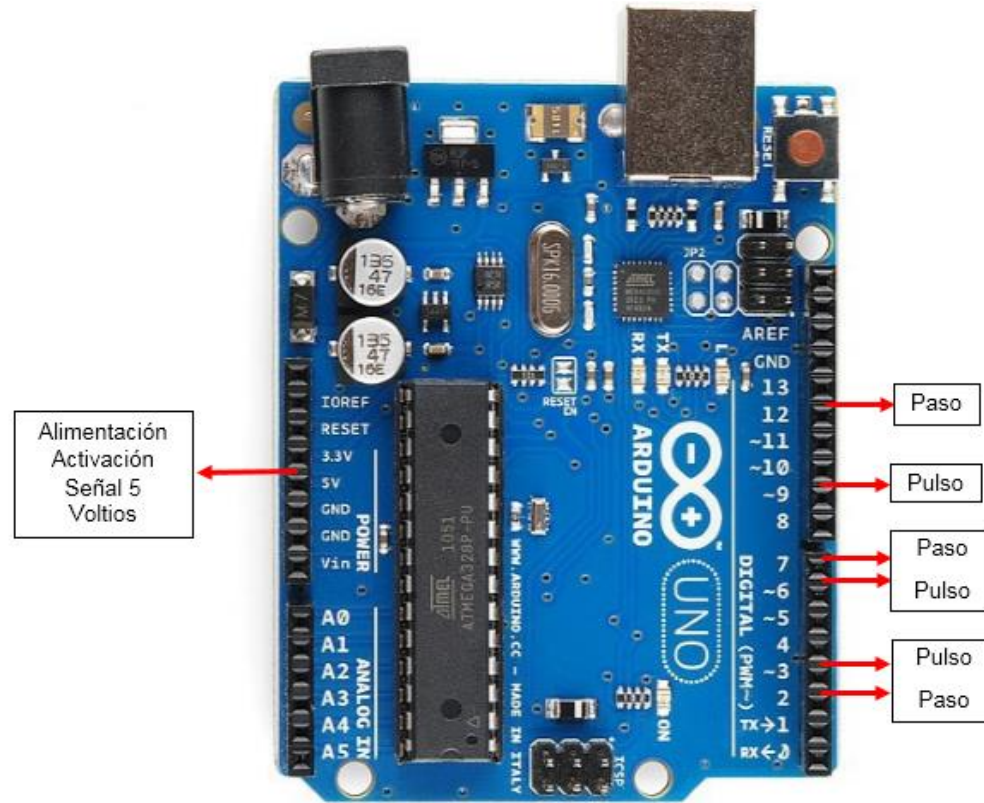
Driver	Voltaje	Amperaje
BL - TB6560 - V1.2 - 4.5 A	8 ~ 42V DC	2.8 A a 4.5 A
BL - TB6600 - V1.2 - 4.5 A	12 ~ 42V DC	0.2 A a 5 A



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del circuito electrónico

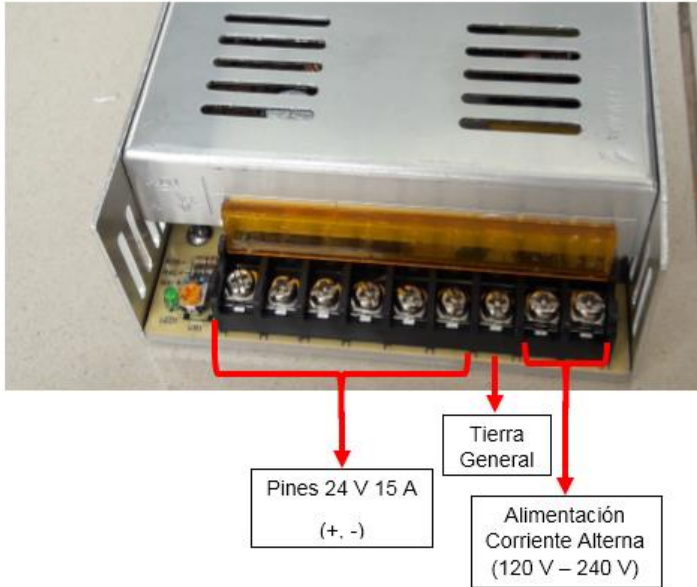
Selección de la tarjeta de control



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Diseño del circuito electrónico

Selección de la fuente de alimentación



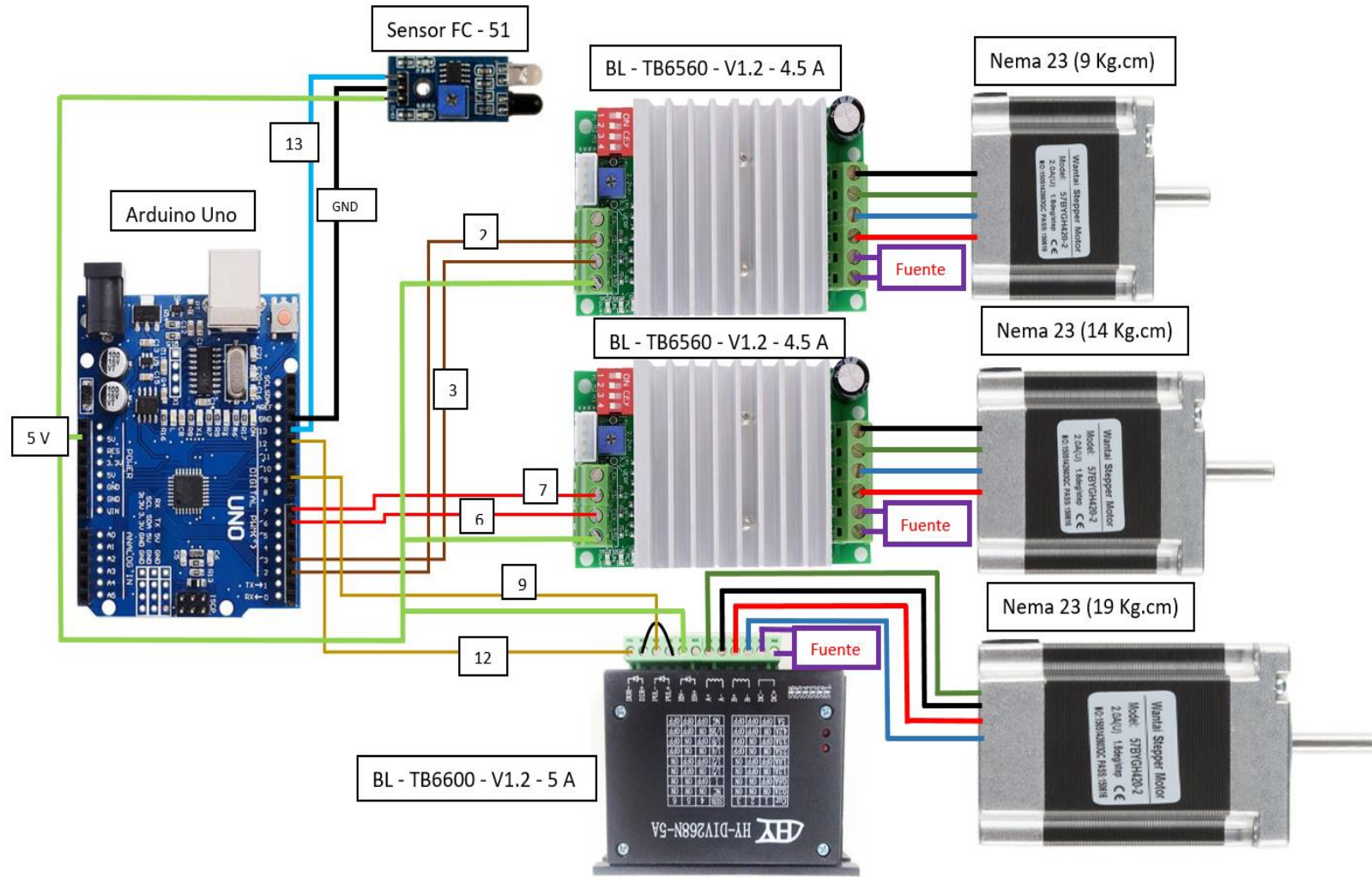
Características técnicas de la fuente de alimentación

Característica	Especificación
Número de serie	3DPS2415
Alimentación	120 – 240 voltios
Potencia	350 W
Número de salidas	3 de 24 voltios – 15 amperios
Grado de protección	IP20



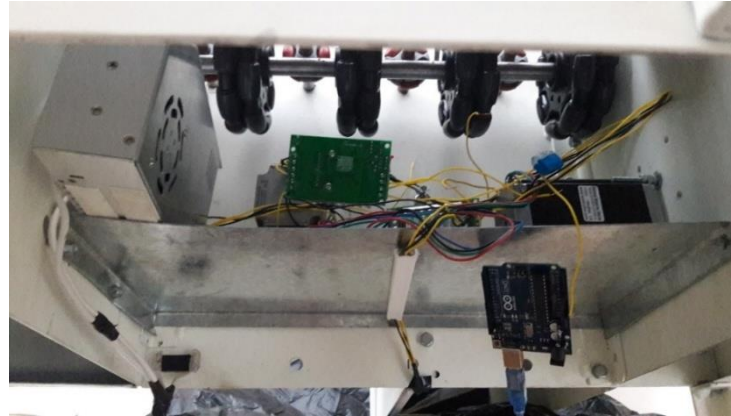
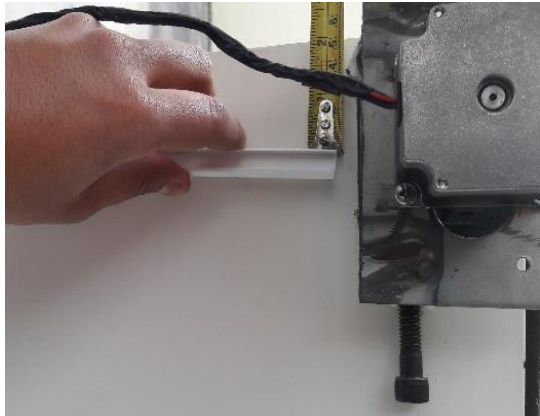
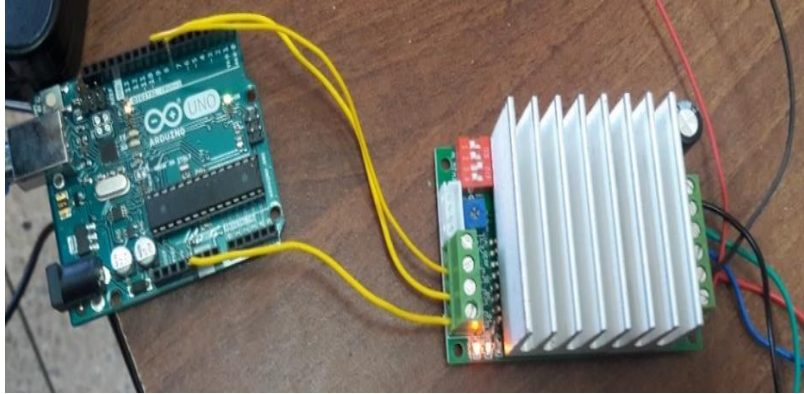
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Construcción del circuito electrónico



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Construcción del circuito electrónico



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Selección e instalación de la cámara



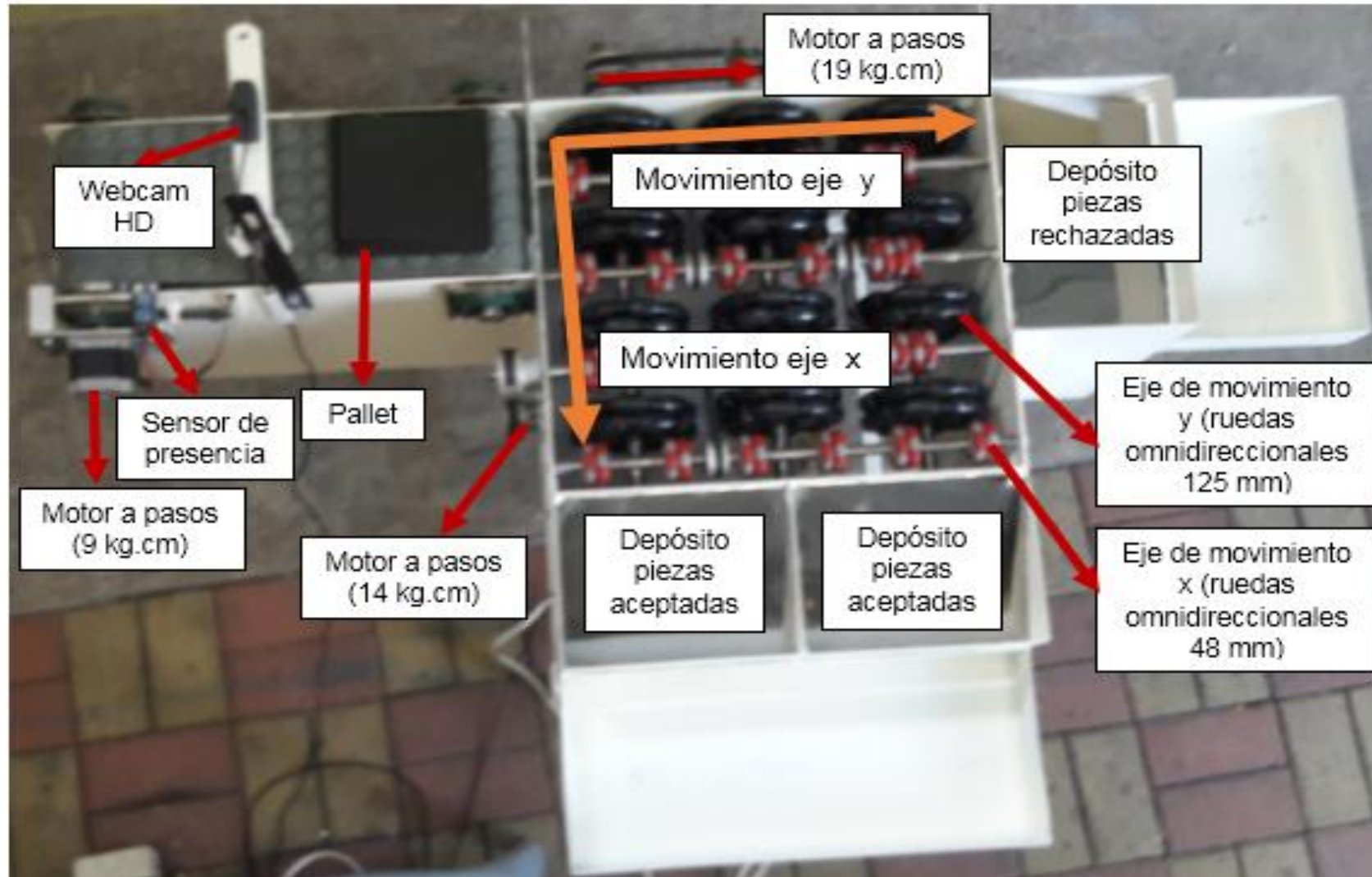
Características técnicas de la cámara web

Característica	Especificación
Requisitos del sistema	Windows XP, VISTA, 7 o superior
	Mac OS 10.4.6 o posterior
	Linux 2.6.21 anterior
	Puerto USB
Sensor de imagen	CMOS de píxeles de alta definición 720p
tipo de lente	objetivo de enfoque manual
Formato de archivo	AVI/WMV
Resolución	1MP, 1280 x 720, 640 x 480 pixels
Dimensiones (A x A x P)	20 x 22 x 60 mm



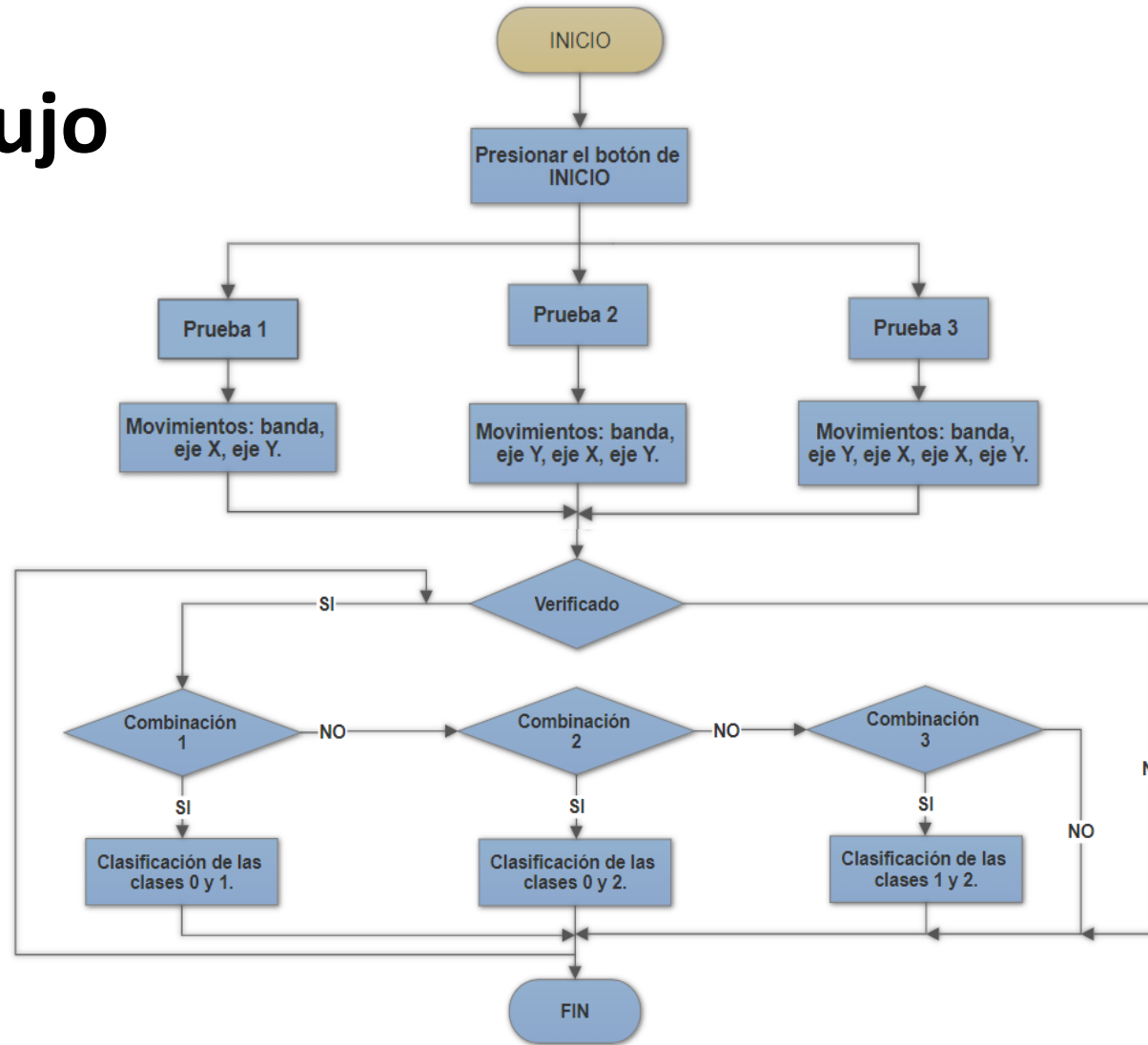
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Partes principales del sistema



SOFTWARE DEL SISTEMA

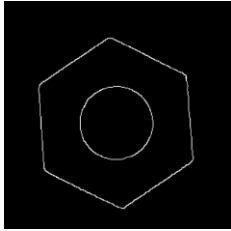
Diagrama de flujo



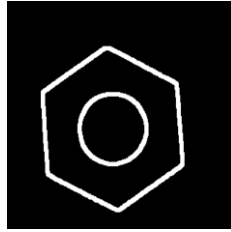
Adquisición de imágenes

Se realiza un filtrado de las imágenes.

-Canny

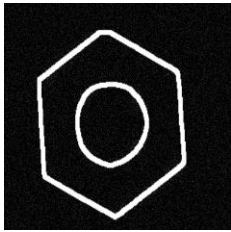


- Morfología de apertura y cierre



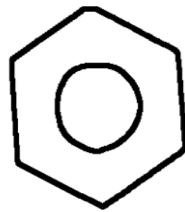
-HoughLines

-Dilate



-Threshold

-Median Blur



Redes neuronales artificiales

Pre-entrenamiento

En esta etapa se necesitan dos carpetas: entrenamiento y pruebas, estas a su vez contienen cinco carpetas.

Carpetas para el entrenamiento de la red	
Nombre de carpeta	Contenido
0	Hexágono con agujero
1	Cuadrado con agujero
2	Letra C
3	Ruido
4	Errónea

SOFTWARE DEL SISTEMA

Redes neuronales artificiales

Pre-entrenamiento

Se crea un primer programa que se encarga de leer las imágenes y convertirlas en datos binarios.

```
int main()
{
    cout<<"Leyendo la carpeta de entrenamiento.....\n";
    readFile("C:\\Users\\Usuario\\Desktop\\ann\\img\\trainingset\\",300,
            "C:\\Users\\Usuario\\Desktop\\ann\\datos_rna\\trainingset.txt");
    cout<<"Leyendo la carpeta de prueba.....\n";
    readFile("C:\\Users\\Usuario\\Desktop\\ann\\img\\trainingset\\",50,
            "C:\\Users\\Usuario\\Desktop\\ann\\datos_rna\\testset.txt");
    cout<<"Operation completa\n";
    return 0;
}
```



SOFTWARE DEL SISTEMA

Redes neuronales artificiales

Aprendizaje

Se crea un segundo programa para diferenciar unas imágenes de otras entonces se definirán los parámetros principales que son:

- 1500 muestras para el entrenamiento.
- 250 muestras de prueba.
- 5 clases.

La arquitectura de la red se define así:

Arquitectura de la red	
Capas	Número de neuronas
Entrada	256
Ocultas	32
Salida	5



SOFTWARE DEL SISTEMA

Redes neuronales artificiales

Aprendizaje

La capa oculta consta de 36 neuronas debido a los errores que se presentan al tener menos neuronas.

Verificación del error de acuerdo al número de neuronas en la capa oculta			
Nº de neuronas	Nº de imágenes	Imágenes reconocidas	Porcentaje de error
8	250	198	20.8%
16	250	215	14%
32	250	250	0%

Se realizaron varias pruebas utilizando diferentes cantidades de imágenes, pero al usar 300 imágenes por figura se logró un resultado de 100% en el reconocimiento.



SOFTWARE DEL SISTEMA

Redes neuronales artificiales

Clasificación

- Se crea un programa capaz de interpretar los datos registrados en el archivo de formato xml.
- Es necesario tener una carpeta que contenga la imagen que se comparará con las otras imágenes que se encuentran en la base de datos



SOFTWARE DEL SISTEMA

Programación en Arduino

-La tarjeta Arduino será usada para realizar el control de los motores a pasos.

-Para realizar el control de cada motor se usaron sentencias switch-case, con las que se pueden enviar señales al motor dependiendo el caso que se requiera.

Casos utilizados en la programación de Arduino			
Caso	Motor	Nº de pulsos	Tiempo de movimiento (segundos)
a	Banda transportadora	700	2
	Ruedas (48 mm)	1500	3
	Ruedas (125 mm)	1500	3
b	Banda transportadora	700	2
	Ruedas (125 mm)	1500	3
	Ruedas (48 mm)	1500	3
	Ruedas (125 mm)	1500	3



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

- La interfaz gráfica se desarrolló en el software Qt Creator.
- Se usa el código fuente del programa de redes neuronales con el que se realiza el reconocimiento de las piezas a clasificar.
- Se debe crear un proyecto nuevo el cual debe ser una aplicación widget.



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

The screenshot displays the Qt Designer interface for creating a graphical user interface. On the left is a widget palette with categories like Layouts, Spacers, Buttons, Item Views, Item Widgets, Containers, and Input Widgets. The central area is a large canvas with a dotted grid, labeled 'Type Here'. On the right, the Object Inspector shows a tree view of the widget hierarchy: MainWindow (QMainWindow) containing centralWidget (QWidget), which contains label (QLabel), menuBar (QMenuBar), mainToolBar (QToolBar), and statusBar (QStatusBar). Below the Object Inspector is the Property Inspector, which shows the properties of the selected widget (QMainWindow), including windowModality, enabled, geometry, sizePolicy, minimumSize, maximumSize, sizeIncrement, baseSize, palette, and font.

Object	Class
MainWindow	QMainWindow
centralWidget	QWidget
label	QLabel
menuBar	QMenuBar
mainToolBar	QToolBar
statusBar	QStatusBar

Property	Value
QObject	
objectName	MainWindow
QWidget	
windowModality	NonModal
enabled	<input checked="" type="checkbox"/>
geometry	[(0, 0), 1044 x 658]
X	0
Y	0
Width	1044
Height	658
sizePolicy	[Preferred, Preferred, 0, 0]
minimumSize	0 x 0
maximumSize	16777215 x 16777215
sizeIncrement	0 x 0
baseSize	0 x 0
palette	Inherited
font	A [MS Shell Dlg 2, 8]



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

Creación de la GUI

-Se debe configurar la conexión entre la GUI y el Arduino para que se pueda comandar los motores desde la interfaz.

```
//Declaracion Serial
if (hSerial !=INVALID_HANDLE_VALUE)
{
    printf("Port opened! \n");
    DCB dcbSerialParams;
    GetCommState(hSerial,&dcbSerialParams);
    dcbSerialParams.BaudRate = CBR_9600;
    dcbSerialParams.ByteSize = 8;
    dcbSerialParams.Parity = NOPARITY;
    dcbSerialParams.StopBits = ONESTOPBIT;
    SetCommState(hSerial, &dcbSerialParams);
}
else
{
    if (GetLastError() == ERROR_FILE_NOT_FOUND)
    {
        printf("Serial port doesn't exist! \n");
    }
    printf("Error while setting up serial port! \n");
}
//Fin Declaracion Serial
```



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

Creación de la GUI

-Para comandar el sistema se requiere de la creación de un menú el cual contiene botones.



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

Funcionamiento general de la GUI

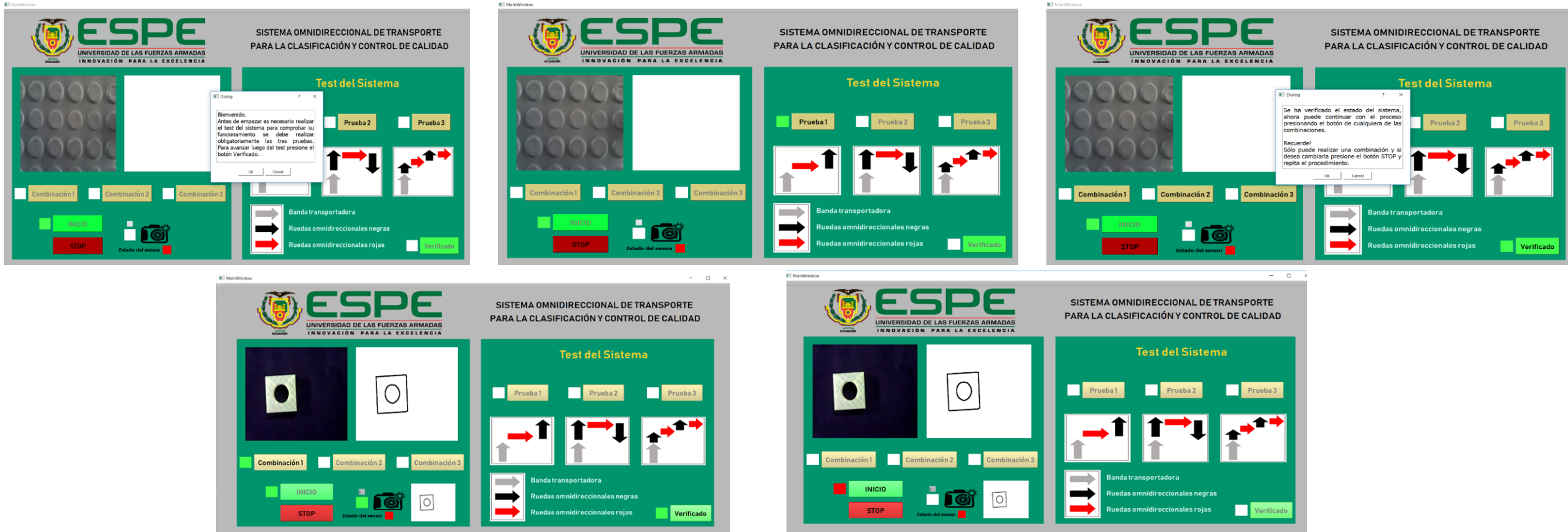
-Al correr el programa se inicializa mostrando las imágenes original y filtrada.



SOFTWARE DEL SISTEMA

Interfaz gráfica

Funcionamiento general de la GUI



PRUEBAS Y RESULTADOS

Entrenamiento de la red neuronal

Resultados del entrenamiento de la red neuronal	
Nº de muestras	Porcentaje de aciertos
500	32%
1000	42%
1500	100%



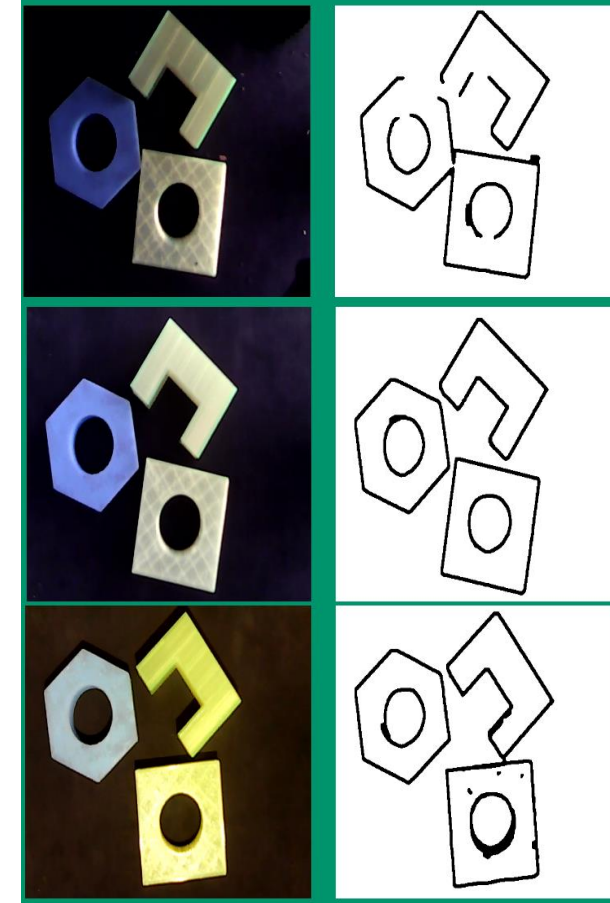
PRUEBAS Y RESULTADOS

Reconocimiento de imágenes

Prueba ambiente 1: Sistema con poca iluminación

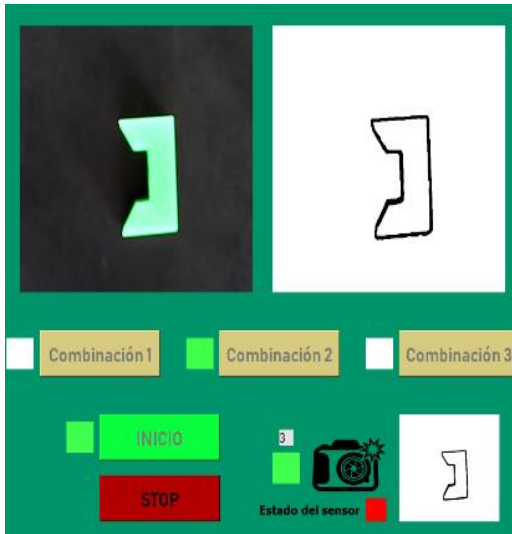
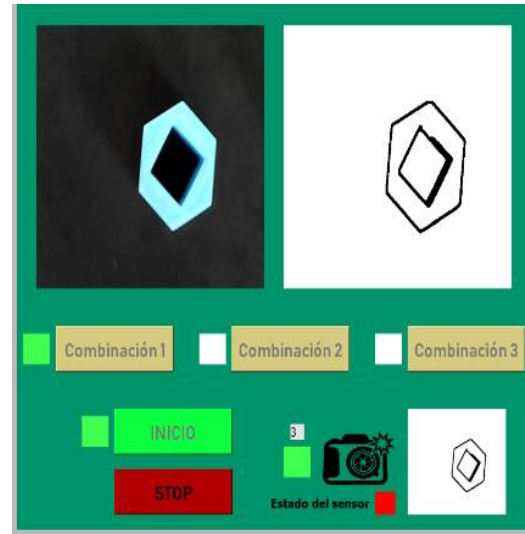
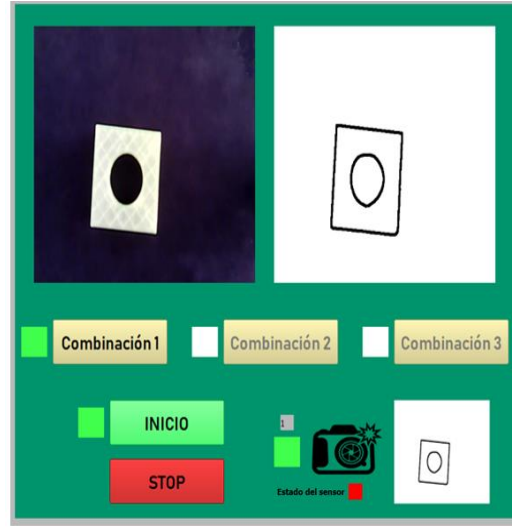
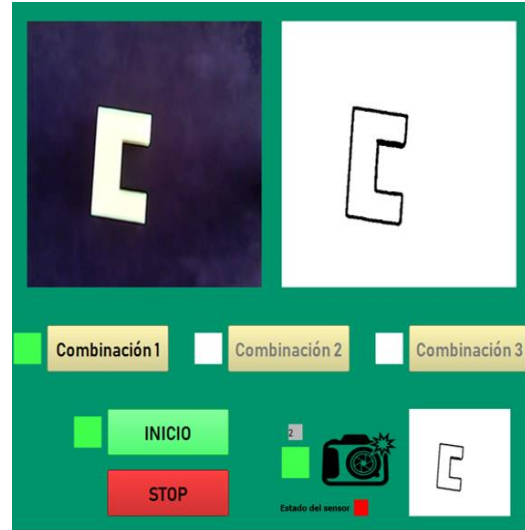
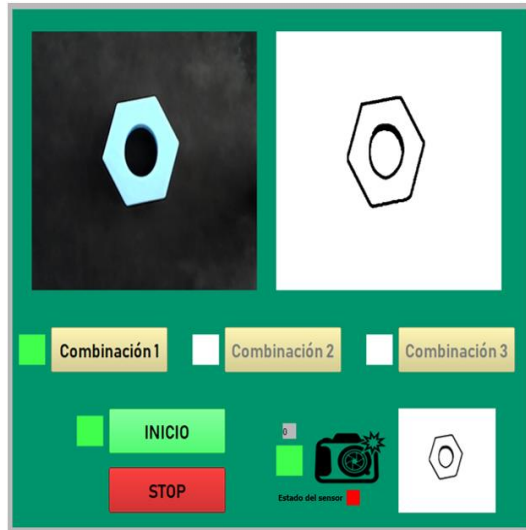
Prueba ambiente 2: Sistema con iluminación natural

Prueba ambiente 3: Sistema completamente iluminado



PRUEBAS Y RESULTADOS

Clasificación de piezas



PRUEBAS Y RESULTADOS

Clasificación de piezas

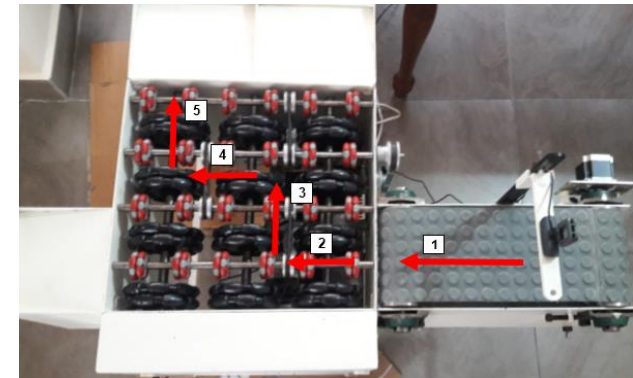
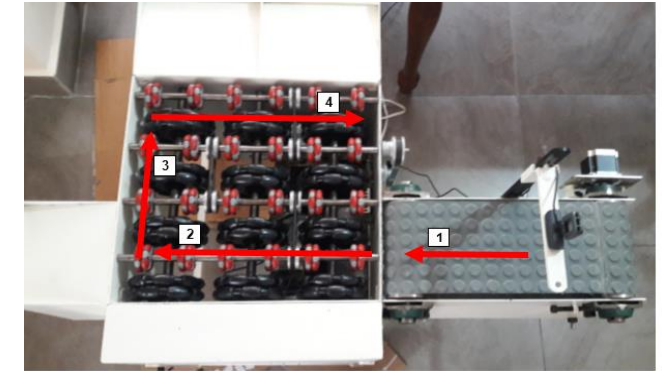
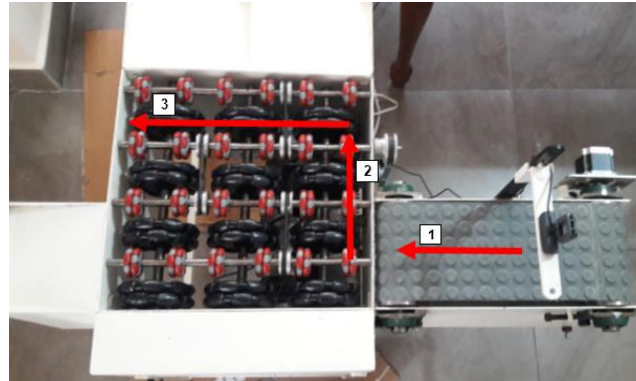
Pruebas con diferentes tamaños de piezas

Figura	Clase	Nº de pruebas	Dimensiones de las piezas a clasificar			Clasificación correcta	Porcentaje de acierto
			Dimensiones (mm)				
			Largo	Ancho	Altura		
Hexágono con agujero	0	50	40	40	10	46	92%
			40	40	15	46	92%
			50	50	20	45	90%
Cuadrado con agujero	1	50	40	40	10	45	90%
			40	40	15	45	90%
			50	50	20	45	90%
Letra C	2	50	38	28	10	43	86%
			38	28	15	43	86%
			50	40	20	42	84%
Errónea letra S	4	50	40	40	15	46	92%
Errónea hexágono	3	50	40	40	15	43	86%
Errónea letra C	3	50	40	40	15	45	90%



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de movimientos de motores



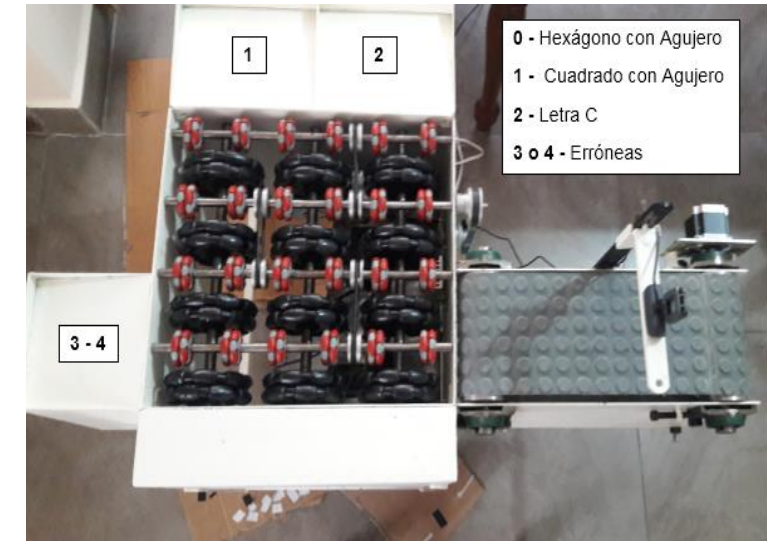
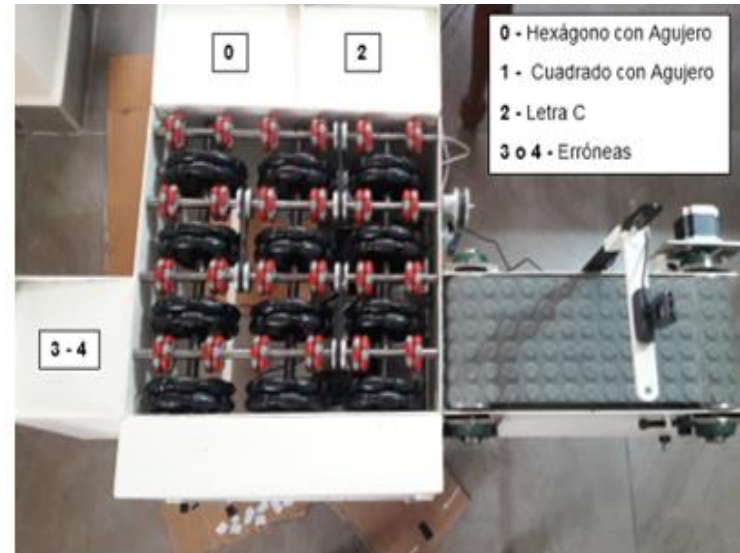
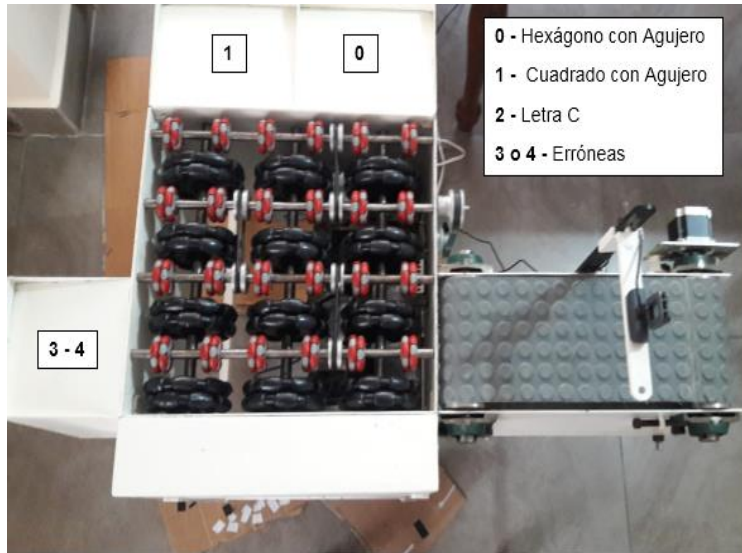
PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas generales de funcionamiento

- Combinación 1

-Combinación 2

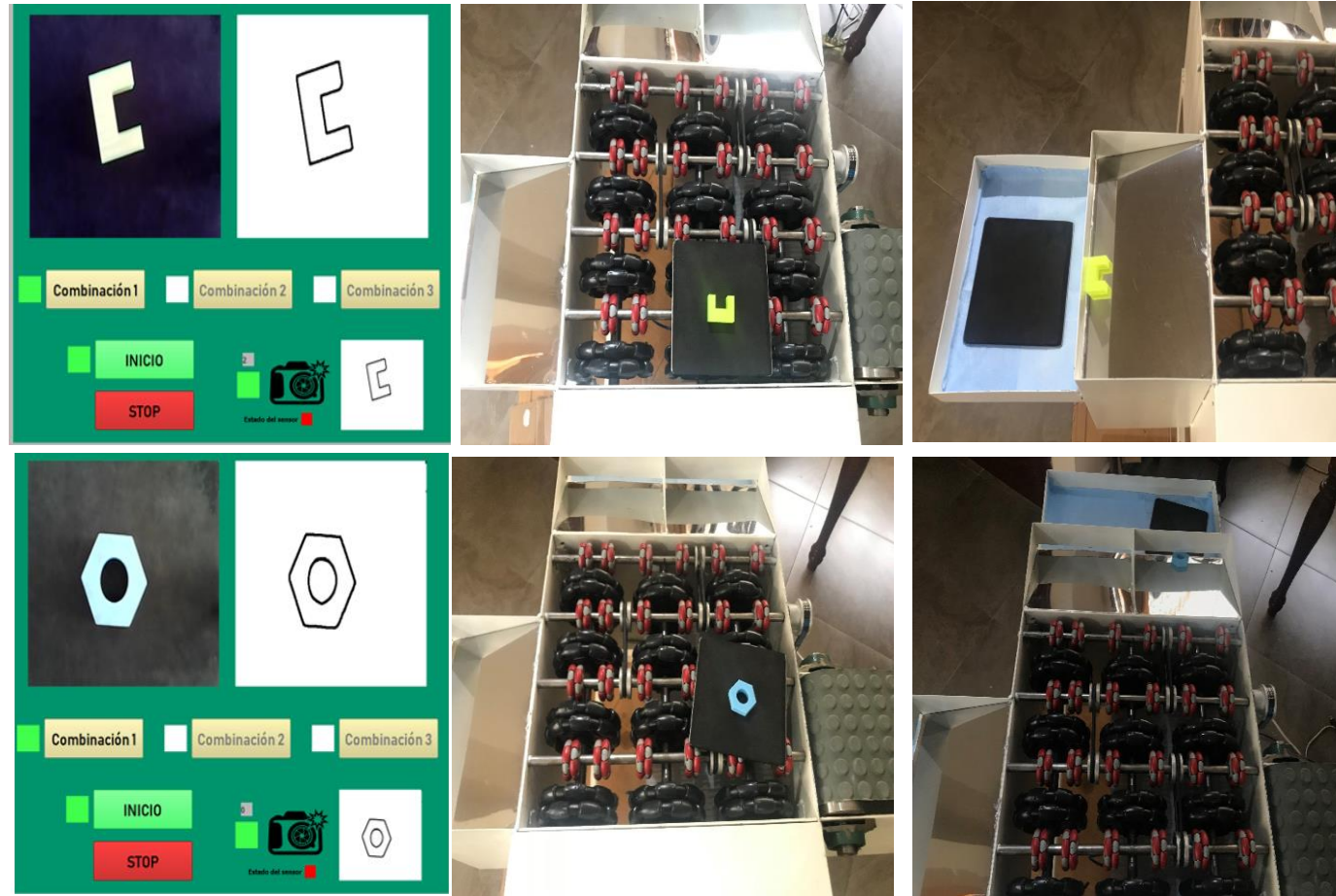
-Combinación 3



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas generales de funcionamiento

Pruebas con la combinación 1



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas generales de funcionamiento

Pruebas con la combinación 2



Pruebas con la combinación 3



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas generales de funcionamiento

Resultados de las pruebas de transporte del sistema				
Nº de combinación	Nº de clase	Nº de pruebas	Transporte correcto	Porcentaje de acierto
1	0	50	50	100%
	1		50	100%
	2		50	100%
	errónea		50	100%
2	0	50	50	100%
	1		50	100%
	2		50	100%
	errónea		50	100%
3	0	50	50	100%
	1		50	100%
	2		50	100%
	errónea		50	100%

Resultados finales de las pruebas del sistema	
Tipo de prueba	Porcentaje de confiabilidad
Clasificación y control de calidad	89%
Transporte	100%



PRUEBAS Y RESULTADOS

Comparación con otros sistemas

Comparación con otros sistemas			
Característica	Sistema omnidireccional con visión artificial y RNA	Sistema con actuadores y visión artificial	Sistema con actuadores y sensores
Detección y clasificación de figuras geométricas simples	Si	Si	No
Detección y clasificación de figuras complejas	Si	No	No
Detección de tipo de material	No	No	Si
Movimiento	Varias direcciones	Una dirección	Una dirección
Problemas ante cambios de luz	Si	Si	No
Control de calidad en base a forma	Si	No	No
Coste computacional	Alto	Medio	Bajo



ANÁLISIS ECONÓMICO

Cantidad	Detalle	Valor Unitario \$	Valor Total \$
Sistema Electrónico y de Control			
1	Motor a pasos (9 kg.cm)	40	40
1	Motor a pasos (14 kg.cm)	50	50
1	Motor a pasos (19 kg.cm)	70	70
2	Driver BL – TB5600 - V1.2 - 4.5 A	12	24
1	Driver BL - TB6600 - V1.2 - 5 A	25	25
1	Tarjeta Arduino Uno	15	15
1	Fuente de alimentación 3DPS2415	35	35
1	Sensor infrarrojo	3	3
1	Cable de timbre (5m)	2	2
1	Bornera	0.25	0.25
1	Interruptor	1	1
1	Cable gemelo	2	2
1	Jack	0.50	0.50
1	Canaleta (2m)	2	2
Subtotal:			269.75



ANÁLISIS ECONÓMICO

Sistema de Visión Artificial			
1	Cámara web HD Genius	50	50
1	Soporte	25	25
1	Pallet	20	20
4	Pieza impresa 3D	5	20
Subtotal:			115
Banda Transportadora y Mecanismo Omnidireccional			
12	Rueda omnidireccional 125 mm R2 – 1258 – 95/N13	29	348
24	Rueda Omnidireccional 48 mm R2 – 0484 – 9001	11.50	276
1	Costo de importación ruedas	250	250
3	Eje ruedas (125 mm)	30	90
4	Eje ruedas (48 mm)	20	80
2	Eje banda transportadora	40	80
4	Cojinete	10	40
1	Soporte motor (9 kg.cm)	5	5



ANÁLISIS ECONÓMICO

1	Estructura banda transportadora	30	30
1	Banda	15	15
2	Poleas motores	5	10
6	Poleas de transmisión grandes	3	18
6	Poleas de transmisión pequeñas	3	18
4	Bandas para poleas de transmisión grandes	3	12
3	Bandas para poleas de transmisión pequeñas	2	6
1	Estructura mecanismo omnidireccional	200	200
1	Base mecanismo omnidireccional	30	30
1	Pintura	10	10
Subtotal:			1518
Herramientas y materiales Varios			50
Diseño e implementación del mecanismo omnidireccional			50
Diseño e implementación del circuito electrónico y de control			50
TOTAL			\$ 2052.75



Conclusiones

- El mecanismo omnidireccional transportó 3 tipos de piezas, entregando cada una en su depósito sin que la pieza sufra daños al ser transportada con un 100% de efectividad.
- El sistema de visión artificial trabaja adecuadamente bajo iluminación natural, la misma que es muy fácil de conseguir y adecuar, así mismo el sistema presenta limitaciones o mal funcionamiento en ambientes en los cuales se cambie las condiciones de iluminación constantemente.
- La clasificación dentro del sistema, está regida por una red neuronal que consta de 256, 32 y 5 neuronas en sus capas de entrada, oculta y salida respectivamente con un 89% de efectividad, debido a que para asegurar la identificación de una pieza en buen estado se necesitan descriptores específicos de forma, que solo mediante el entrenamiento de la red neuronal se puede discretizar e identificar.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El sistema de transmisión del mecanismo omnidireccional, es directo, es decir está acoplado por poleas de la misma dimensión en cada extremo, de esta forma se consigue que la velocidad de cada motor sea la velocidad de cada eje. La velocidad con la que se mueve el pallet por cada uno de los ejes es constante.
- El control del sistema (usuario - máquina) está dado por una interfaz gráfica, la misma que presenta un banco de pruebas de movimientos de los motores, que es obligatorio de realizar antes de utilizar el sistema. Cada acción está ligada a un botón dentro de la interfaz y no se puede presionar otro si existe un proceso en marcha, asegurando que no se presenten mal funcionamientos en el software de control.



Conclusiones

- El software utilizado para la implementación de la red neuronal, así como el diseño de la interfaz gráfica es OpenCV, debido a que tiene librerías que facilitan la implementación de sistemas de visión artificial basados en redes neuronales.
- Los sistemas omnidireccionales presentan mayores prestaciones, ya que clasifica y transporta al mismo tiempo a diferencia de los sistemas convencionales que realizan estos procesos por separado.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Investigar acerca de la instalación de módulos omnidireccionales que constan de tres ruedas configuradas a 60° , ya que también permiten mover objetos en diferentes direcciones.
- Se podría desarrollar un sistema que permita elevar sólo las ruedas que se encuentran en movimiento y bajar las que no se están utilizando para lograr movimientos más fluidos.
- Implementar un motor por eje para que el sistema tenga mayor fuerza de empuje sobre el pallet.
- Investigar métodos de programación para la red neuronal que permita entrenar al sistema automáticamente cuando se requiera clasificar nuevas piezas.
- Mantener bien limpio el pallet ya que cualquier agente externo en la superficie del mismo puede generar ruido al momento de capturar la imagen dentro de la visión artificial.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- El sistema está configurado para clasificar 3 tipos de piezas, pero si el usuario desea clasificar más tiene que entrenar a la red neuronal para más figuras y configurar las combinaciones a la nueva pieza.
- Tener en cuenta el enfoque de la cámara antes de utilizar la máquina, ya que si no se encuentra bien enfocada se pueden producir errores o ruidos en la imagen capturada.
- Para el correcto funcionamiento del sistema es necesario trabajar en ambientes iluminados donde no existan cambios de luz constante, además no utilizar iluminación directa sobre la pieza a clasificar.
- Realizar las pruebas de movimiento de la forma más conciente posible, aunque son obligatorias por el sistema, depende del criterio del operador analizar si el sistema está en buenas condiciones para funcionar.



**GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA