DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CLASIFICADOR DE PIEZAS GEOMÉTRICAS ADAPTADO A UN BRAZO NEUMÁTICO FESTO UBICADO EN EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN INTEGRA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A GEOMETRIC PARTS CLASSIFICATION SYSTEM ADAPTED TO A FESTO PNEUMATIC ARM LOCATED IN THE INTEGRA INVESTIGATION GROUP

Sergio David Espitia Rodríguez[1*] Jaime Yamid Cabrera Beltrán[2]Ing. Jorge Eduardo Porras Boada[3***]**

Resumen*:* Los sistemas robóticos de clasificación se soportan en diferentes sensores que según su tipo pueden determinar varias características del objeto a clasificar. Cada día aumenta la complejidad en la implementación de dichos sistemas robóticos, debido al avance constante de las características técnicas del hardware. En este artículo se expone el diseño de un sistema clasificador de piezas geométricas metálicas utilizando técnicas de visión artificial adaptándolo a un brazo neumático FESTO de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, al cual se le realiza mantenimiento preventivo y correctivo para optimizar su funcionamiento. Los resultados obtenidos demuestran que por medio del procesamiento digital de imágenes se puede desarrollar un algoritmo capaz de determinar la forma de las figuras geométricas y a su vez desplazar, clasificar y rechazar por medio de un brazo neumático y un sistema clasificador las figuras detectadas por visión artificial.

[1]*Tecnólogo en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación Integra (Participante):sdespitiar@correo.udistrital.edu.co

[2]**Tecnólogo en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación Integra (Participante):yamid9908@gmail.com

[3]*** Magister en ingeniería de software Universidad Internacional de La Rioja. Especializacion en automatización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniero Electrónico Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación Íntegra: jeporrasb@hotmail.com

Palabras clave: procesamiento de imágenes, sistemas neumáticos, programación de algoritmos, simulación de sistemas.

Abstract: Robotic classification systems are supported by different sensors that, depending on their type, can determine various characteristics of the object to be classified. Every day the complexity in the implementation of such robotic systems increases, due to the constant advancement of the technical characteristics of the hardware. In this article, the design of a classifying system of metallic geometric pieces using artificial vision techniques is exposed, adapting it to a FESTO pneumatic arm of the Francisco José De Caldas District University, which underwent preventive and corrective maintenance to optimize its operation. The results obtained show that by means of digital image processing, an algorithm capable of determining the shape of the geometric figures and in turn displacing, classifying and rejecting the figures detected by artificial vision could be developed using a pneumatic arm and a classifying system.

Key Words: image processing, pneumatic systems, Algorithm programming, Systems simulation

1 Introducción

La automatización dentro de un proceso productivo es una opción a la que cada día recurren más industrias de todas partes del mundo, debido a la presencia de un entorno caracterizado por ser más competitivo. Concretamente, la apuesta por la calidad automatizada por parte de las organizaciones les permite lograr su diferenciación frente a la competencia, cumpliendo con los estándares y requerimientos ya establecidos en el producto; simultáneamente, adquiriendo ventajas internas de la industria como la generación automática de informes, fácil

vinculación de indicadores de producción y estandarización en el proceso de "no conformes".

La visión artificial es una tecnología que permite solucionar múltiples problemas y 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.

Las técnicas de visión artificial se pueden aplicar a la industria, sistemas robóticos, robots móviles, ambientes controlados entre otros, reduciendo la cantidad de recursos de hardware y obteniendo una solución más eficaz y económica en comparación con sistemas que requieren de recursos humanos y de un equipo de hardware más complejo. Los sistemas de visión artificial proporcionan una inspección continua del producto y permite, al contrario que los sistemas estadísticos clásicos, una inspección total del cien por cien de los productos. Además de presentar unos criterios constantes e invariantes aplicados en tiempo real, estos sistemas permiten detectar defectos de forma, color, textura, ubicación, toda esta versatilidad ha contribuido a que estos sistemas se extiendan en todo tipo de industrias [1].

Un gran número de industrias colombianas realizan el proceso de control de calidad de las características físicas del producto de manera manual, lo que implica una interacción humana con el producto que puede ser higiénicamente perjudicado, pérdida de tiempo productivo y de recurso humano en cada inspección por producto. La otra parte de las industrias utiliza el procesamiento digital de imágenes por ejemplo para la clasificación de frutas, por medio de este se detecta características del producto como forma y color, adicionalmente se realiza un control de calidad

para detectar las frutas que están en buen estado y poder ofrecer al mercado frutas de calidad [2].

En consecuencia, a lo presentado anteriormente, se desarrolla un prototipo de sistema clasificador de piezas cúbicas, cilíndricas y hexagonales identificadas mediante un módulo de reconocimiento de imagen, basado en un ambiente controlado.

2.Mantenimiento y Adaptación

Mundialmente el entorno de la automatización exige mayor flexibilidad, productividad y confiabilidad en sus sistemas de tareas programadas, para ello la neumática se ha encontrado en auge los últimos años gracias a la facilidad de adaptación a cualquier sistema dentro de la industria. Tanto la instalación, mano de obra de operación y el mantenimiento de estos sistemas aportan un valor agregado a las empresas que lo implementan, además su mantenimiento es económico y no requiere supervisión constante.

Antes de comenzar con el desarrollo del proyecto fue necesario realizar el mantenimiento del brazo neumático, que se tiene a disposición en la sede tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, verificando su funcionamiento y los cambios necesarios para la adaptación del proyecto planteado. Se inicia con el desmontaje del sistema neumático para la identificación y búsqueda de las características detalladas de los elementos que lo componen y así, a cada una de ellas, hacer su respectivo mantenimiento. Sus componentes son:

- Cilindro normalizado de la serie DN (actuador de doble efecto, elemento 1 de la figura 1) [3]. Este actuador se encuentra ubicado en la base del brazo que ejecuta un movimiento vertical del sistema. Para su mantenimiento fue necesario el despiece, limpieza y cambio de empaques del émbolo.

- Actuador rotativo DRQ (actuador de doble efecto, elemento 2 de la figura 1) [4]. Con ángulo de giro nominal de 90 grados. La limpieza y lubricación de los engranajes fueron las acciones ejecutadas para su mantenimiento; para quitar las partículas de polvo se utiliza aire comprimido y complementando con pincel o cepillo de limpieza.
- Actuador cilíndrico lineal sin vástago SLM (actuador de doble efecto, elemento 3 de la figura 1) [5]. Para su mantenimiento fue necesario desmontar todas las piezas internas, realizando una conveniente lubricación a las superficies deslizantes y las guarniciones utilizando grasa blanca neutra liviana.
- Dos Cilindros de carrera corta ADV (Actuador de doble efecto, elemento 4 de la figura 1) [6]. Se realiza mantenimiento preventivo externo y se lubrica ejes de desplazamiento de la pinza.
- Dos Amortiguadores hidráulicos [7]. No se realizó ningún mantenimiento.
- Electroválvulas MFH, Tiger Classic [8]. El sistema cuenta con 5 electroválvulas de 5/2 vías con accionamiento eléctrico de bobina magnética. Para su mantenimiento fue necesario desmontar los componentes del montaje distribuidor, realizando limpieza con aire comprimido a las electroválvulas, cambiando los empaques del bloque de conexión PRS y restaurando los contactos de los relés.

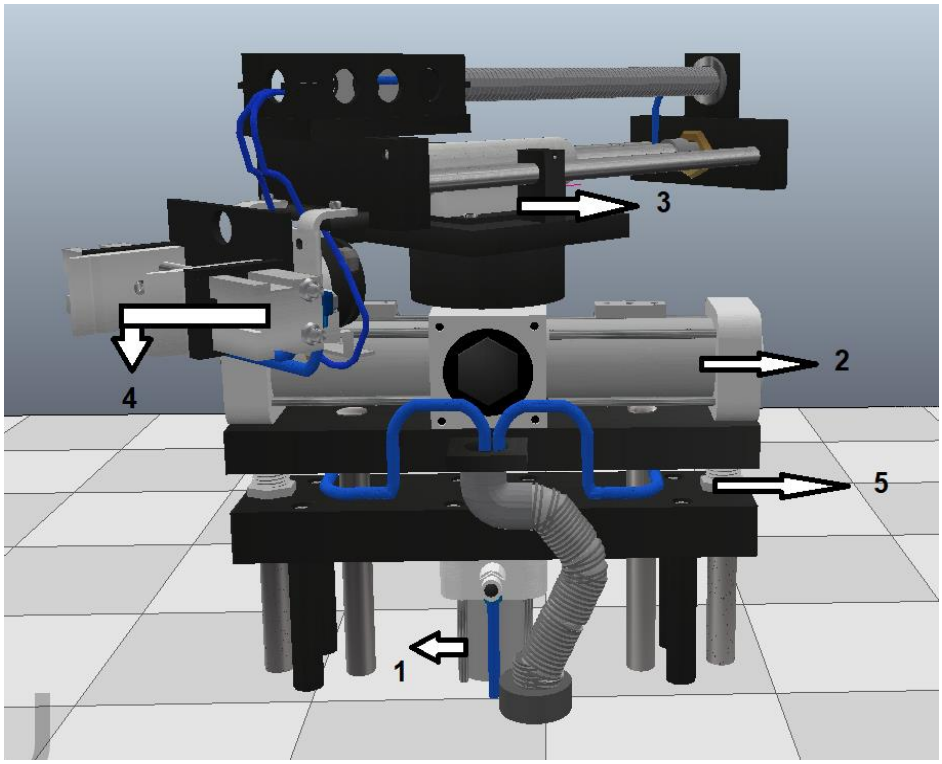

Figura 1. Brazo neumático modelado en software CoppeliaSIm Fuente: propia

Finalizando la etapa de mantenimiento de cada una de sus elementos que conforman el brazo, se aplica pintura anticorrosiva en la superficie de algunas de sus piezas metálicas y cambio en su totalidad de las mangueras neumáticas de 6mm y 4mm de diámetro.

Para la adaptación del brazo neumático al sistema clasificador de figuras geométricas se redimensiona el mecanismo de la pinza, modificando su amplitud máxima de 25.4 mm a 60 mm de apertura y su amplitud mínima de 12.7 mm a 45 mm cuando la pinza se cierra, como se observa en las figuras 2 y 3.

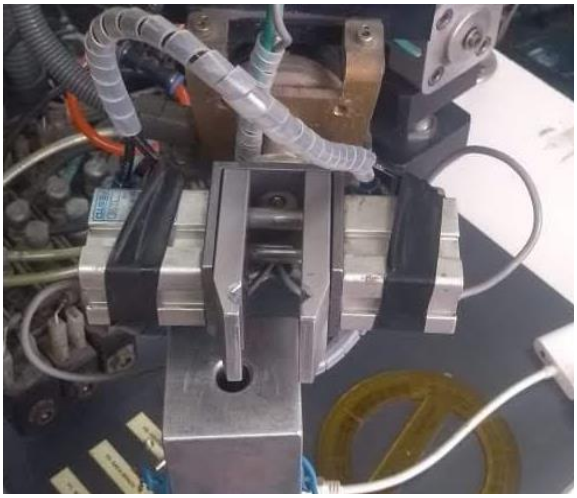

Figura 2. Mecanismo pinza sin redimensionar. Fuente: Propia

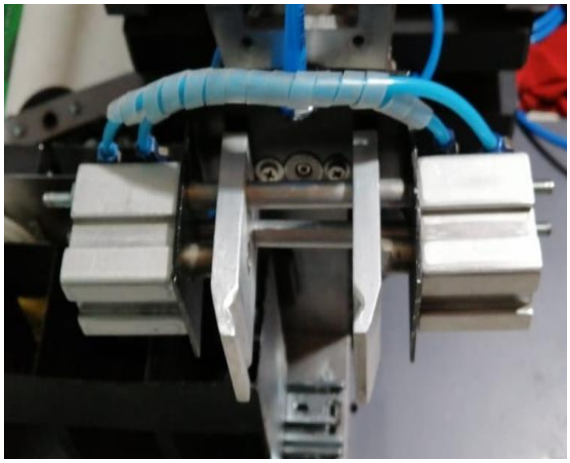

Figura 3. Mecanismo pinza redimensionado. Fuente: Propia

3. Materiales y métodos.

3.1 Diseño y simulación

El diseño y la simulación del proyecto se realizaron por medio de un software simulador de robot CoppeliaSim, que cuenta con un entorno de desarrollo integrado y se basa en una arquitectura de control distribuido: cada objeto / modelo puede controlarse individualmente a través de un script incrustado, un complemento, un nodo ROS o BlueZero, un cliente API remoto o una solución personalizada [9].

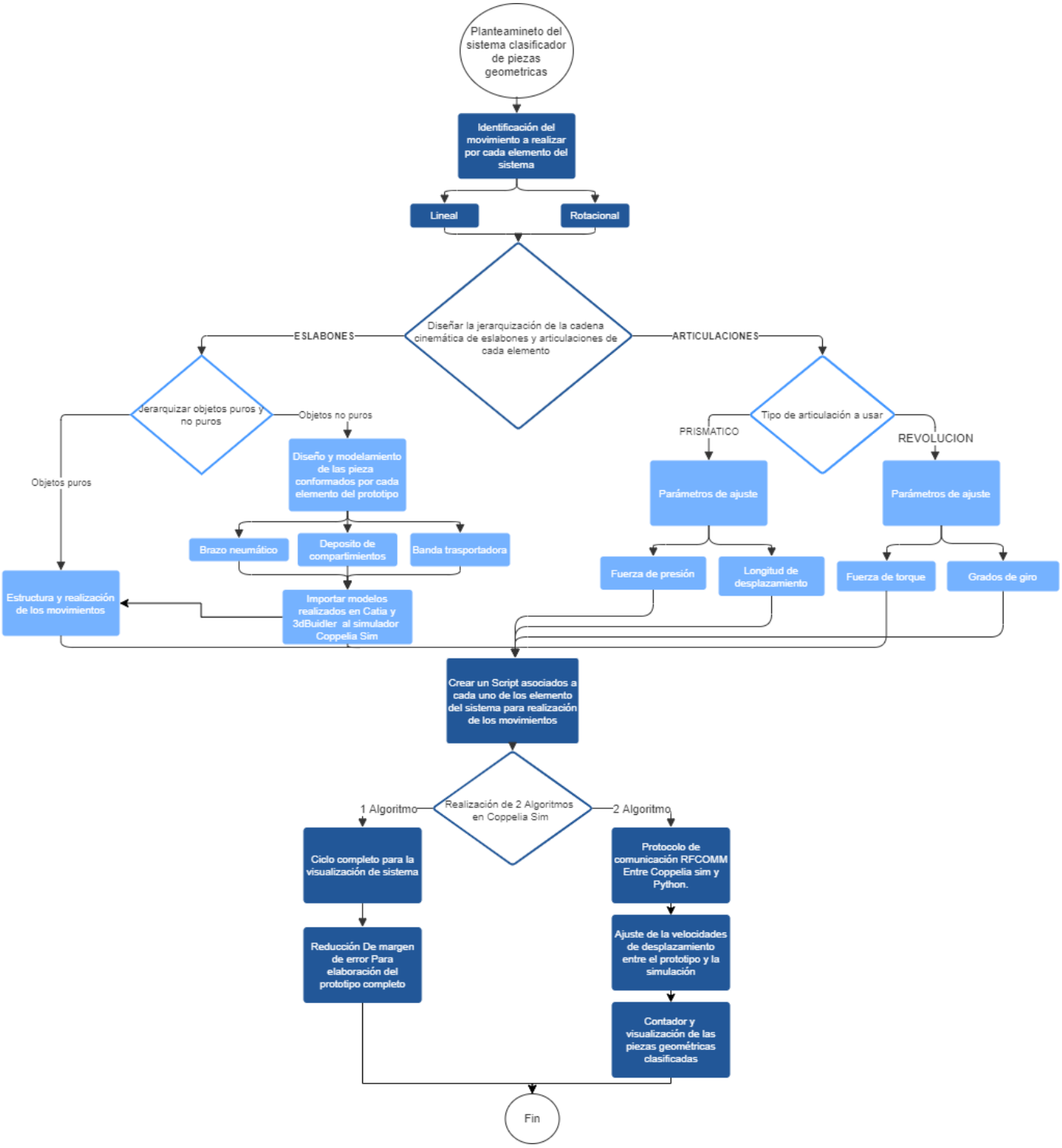

Figura 4. Procedimiento para la realización de la simulación Fuente: propia

Como se muestra en la figura 4 se realiza la simulación con dos finalidades, la primera nos permitió la visualización y proyección de cómo se iba a diseñar el prototipo físico, y el segundo objetivo comunicarla con el prototipo para usarla como

interfaz de visualización brindándonos las acciones que está realizando todo el prototipo, conteo y conocimiento de las figuras que están siendo clasificadas.

El tiempo de desarrollo de esta fueron de 1 mes y 15 días de trabajo desde el planteamiento del sistema, el modelamiento en 3D y la comunicación Rfcomm de Coppelia Sim y Python.

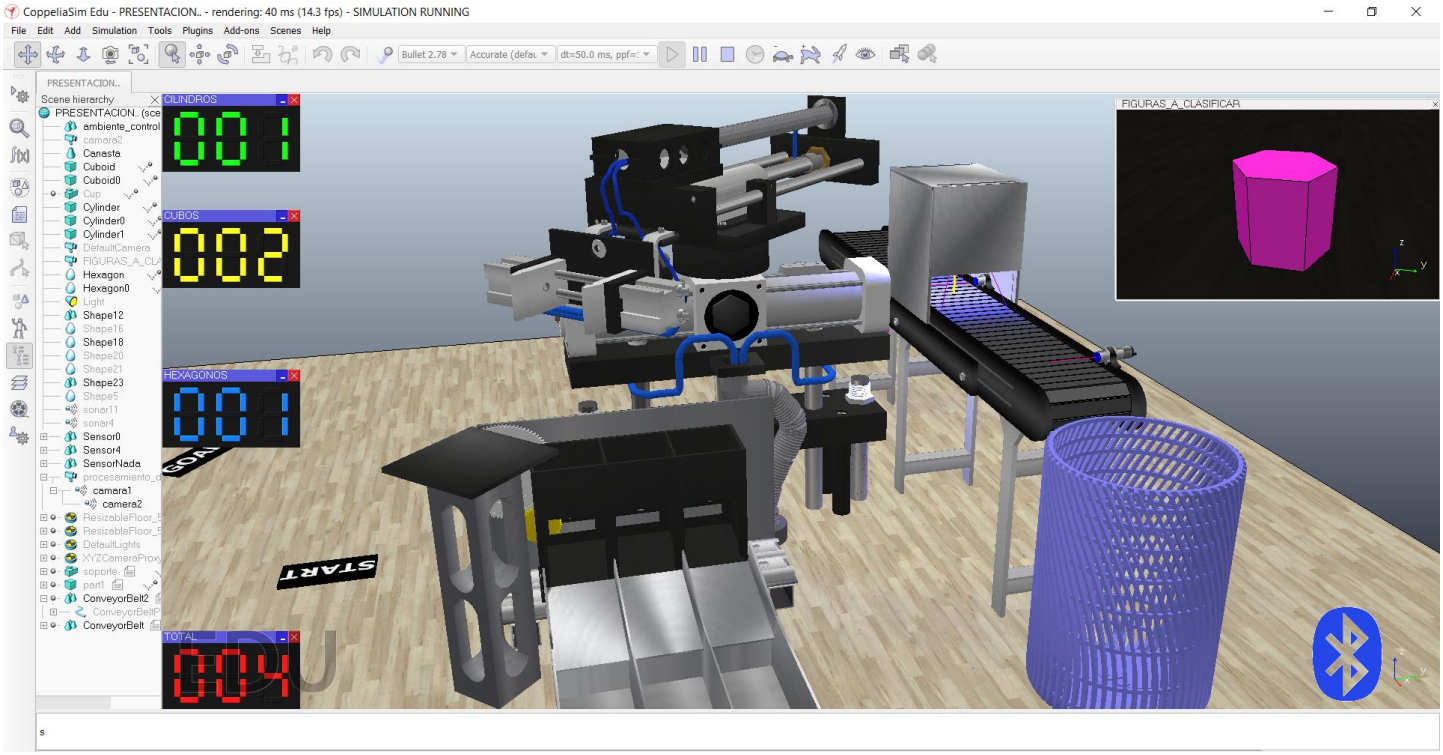

Figura 5. Interfaz y Simulación Realizada en CoppeliaSim Fuente: propia

En las figuras 6 y 7 se muestra una recreación de los movimientos que realiza el brazo neumático y el depósito de compartimientos.

Z+ y Z- son los movimientos lineales ejercidos por el actuador 1 mostrado en la figura 6. X+ y X- son los movimientos rotacionales ejercidos por el actuador 2 este movimiento tiene un grado de libertad de 90°, eventualmente en el mismo eje se mueve el depósito de compartimientos de forma lineal como se evidencia en la figura 6, Y+ y Y- son los movimientos lineales realizados por el actuador 3 en el eje Y, los movimientos de la pinza son los ejes W+ y W- mostrados en la figura 7.

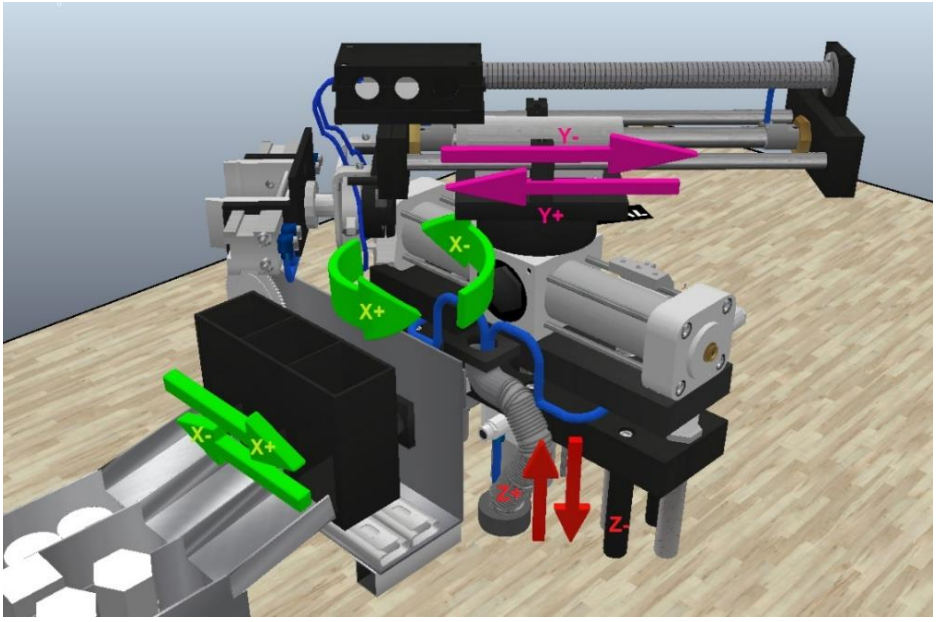

Figura 6. Movimientos en el plano X, Y Z. Fuente: propia

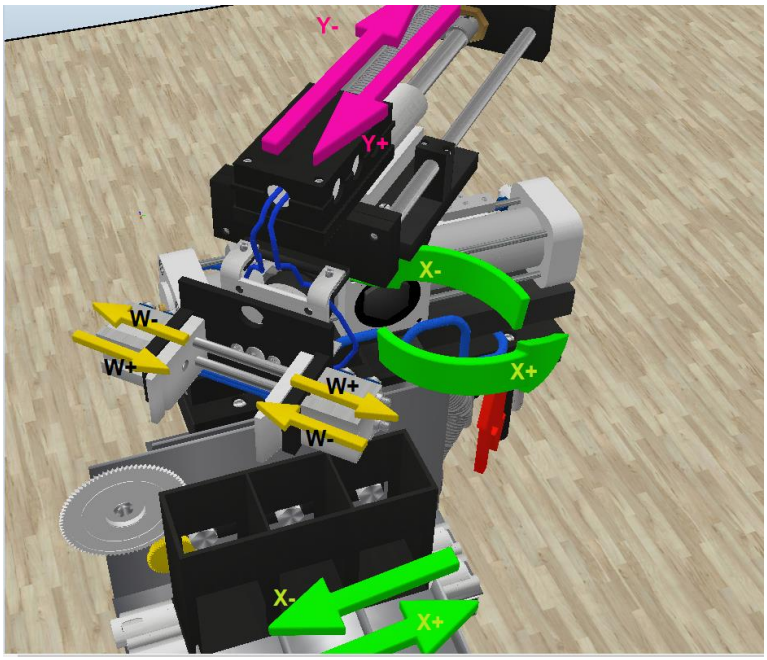

Figura 7. Movimientos en el plano X, Y Z. Fuente: propia

3.2 Sistema clasificador

En esta sección del artículo se presenta la elaboración del sistema clasificador de piezas geométricas metálicas, el cual se adapta al brazo neumático FESTO.

3.2.1 Banda transportadora.

La banda es el mecanismo encargado de transportar las piezas metálicas al módulo de ambiente controlado y a la zona donde el brazo neumático toma las figuras. Su movimiento es lineal obtenido por la fricción de sus rodillos, que es accionado por un motor Dc. La fricción es la resultante de la tensión que se genera entre los rodillos y la banda transportadora, un eje gira por medio del actuador, mientras el otro lo hace libremente. La corriente de consumo de la banda trasportadora es de 1.85 A, con un voltaje de alimentación de 12 V y potencia de 22 W teniendo en cuenta estos valores de consumo y de alimentación se usa módulo L298(puente H) [10]. Adicionalmente se implementan 3 sensores inductivos para obtener la ubicación de cada figura en el trascurso de la banda.

y por último la implementación de un módulo de ambiente controlado para la toma de fotografías a las piezas a analizar.

3.2.1.1 Módulo de ambiente controlado

El módulo de ambiente controlado es el encargado de realizar la captura fotográfica de la cara superior de la figura geométrica, está compuesto por un soporte elaborado en lámina de acero, una cámara para Raspberry pi y un soporte de leds para la iluminación constante y uniforme a las piezas geométricas expuestas a la toma fotográficas.

La cámara cuenta con una resolución de 8 megapíxeles, una resolución de imagen fija 3280 x 2464 y una velocidad máxima de transferencia de imagen1080p: 30fps (codificar y decodificar) [11].

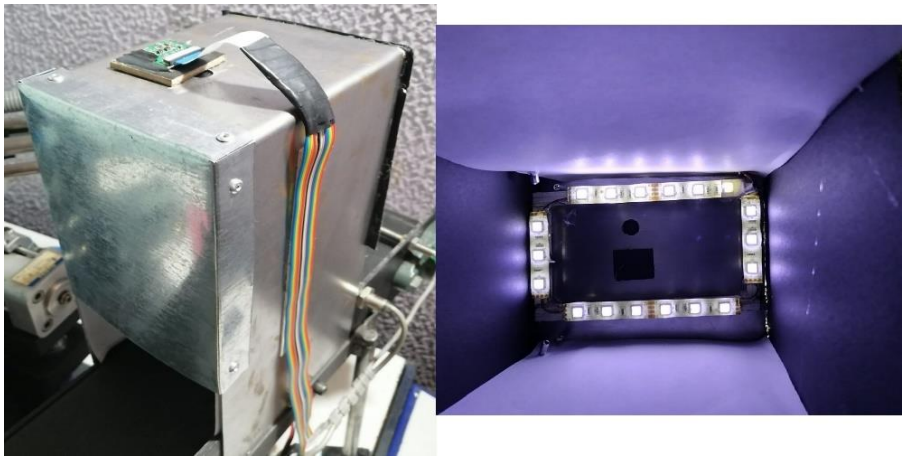

Figura 8. Módulo de ambiente controlado por dentro y por el exterior. Fuente: propia

3.2.1.2 Sensores Inductivos

Los sensores inductivos se utilizan para detectar la proximidad de piezas metálicas en un rango de distancias que va desde 1mm a unos 30mm [12].

A lo largo de la banda se ubicaron tres sensores inductivos uno con conexión dos hilos y dos con conexiones tres hilos con referencia SI12-B2 NC AD3, Y sensores de Festo (M8). La referencia SI12-B2 NC AD3 poseen una tensión de funcionamiento entre 10 y 50 Vdc con una distancia de conmutación de 2mm y una histéresis <10% [13]. La referencia M8 posee una distancia de conmutación de 1,5mm y una histéresis <0,07% [14].

Figura 9. Ubicación de los sensores en la banda transportadora. Fuente: propia

Los sensores implementados cumplen la función de detectar la posición de la figura en la banda transportadora, como se observa en la figura 9.

El primer sensor que se observa de derecha a izquierda es el encargado de enviar una señal para activar la banda trasportadora y todo el sistema, también se encarga de detectar si es una pieza metálica o no.

El sensor intermedio se encarga de enviar una señal que permitirá iniciar el algoritmo de análisis de imagen y a su vez activará la banda transportadora con el fin de posicionar la figura en el lugar ideal para la toma de la fotografía y realizar su análisis de la imagen.

El ultimo sensor se encarga de dar el tiempo necesario para posicionar la figura en lugar indicado para su posterior agarre por el mecanismo neumático.

3.2.2 Mecanismo Clasificador

El mecanismo clasificador es el encargado de recibir las piezas metálicas transportadas por el brazo neumático FESTO, este posee un cajón metálico de 10 cm de alto, 18 cm de largo y 6 cm de ancho en acero, cuenta con 3 divisiones en su interior.

El cajón se mueve linealmente gracias a un sistema piñón-cremallera adaptado a un servomotor de 5 Vdc y 15 Kgf.cm de torque. El sistema permite ubicar la posición del compartimiento correspondiente a cada figura, adicionalmente, las figuras clasificadas serán expulsadas de su compartimiento mediante un sistema de manivela deslizador, que cuenta con un servomotor, una manivela y una barra de unión.

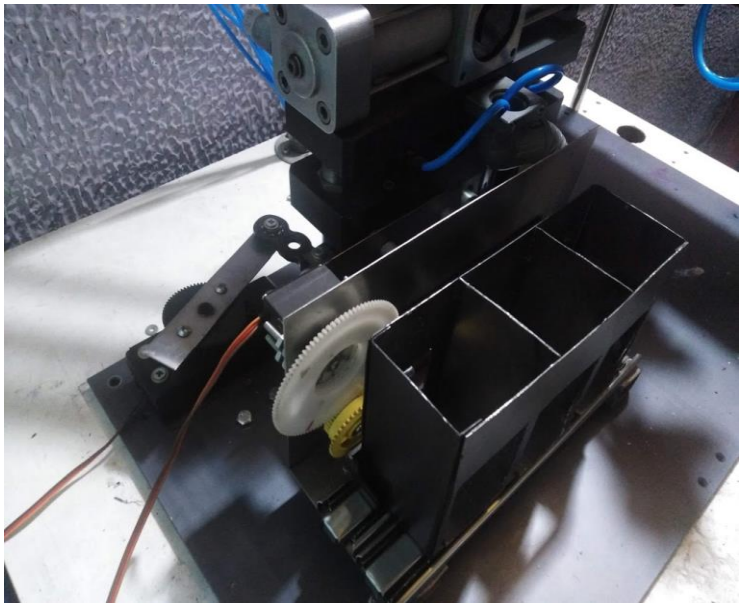

Figura 10. Mecanismo clasificador. Fuente: propia

3.3 Diagrama de conexión y Funcionamiento

Se selecciona como sistema embebido una computadora de tamaño reducido Raspberry pi3. Debido a su facilidad en la implementación de los algoritmos de procesamiento digital de imágenes y la función de las salidas y entradas digitales del puerto GPIO.

Las características de software y hardware de Raspberry pi3 se ajustaron a los requisitos del proyecto, en el puerto GPIO se asignan tres entradas y once salidas digitales, además se utiliza el bus CSI diseñado especialmente para la conexión de cámaras ya que tiene capacidad de albergar muy altas velocidades de datos [15].

En la siguiente figura se muestra la conexión general del proyecto.

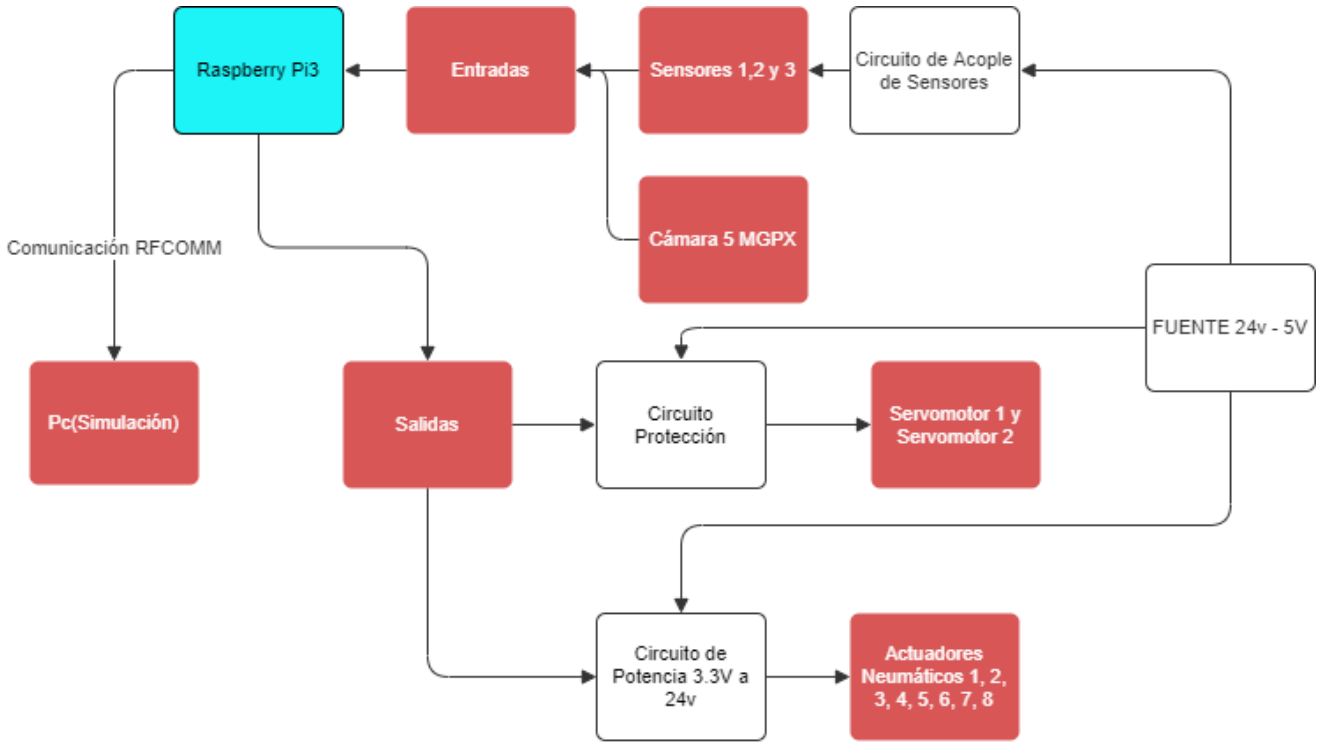

Figura 11. Conexión General del Proyecto Fuente: propia

3.4 Metodología para procesamiento digital de imágenes.

En este apartado del artículo se centra la metodología utilizada para realizar el procesamiento de imágenes, para el desarrollo y ejecución del algoritmo de análisis de imágenes se usa el lenguaje de programación Python y una librería de visión por computadora OpenCV que realiza los cálculos de los algoritmos de preprocesamiento y procesamiento de la imagen [16].

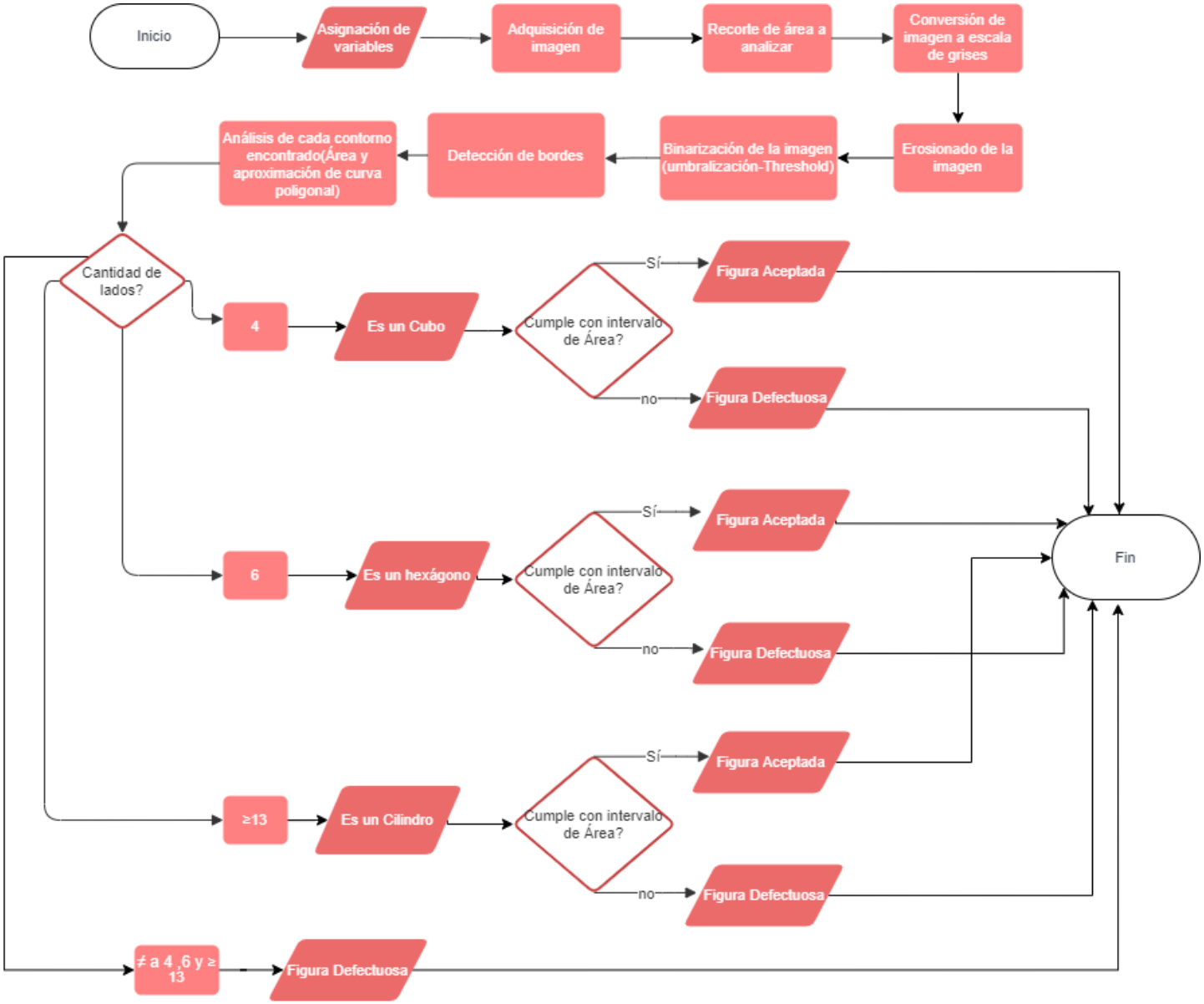

Figura 12. Diagrama de procesamiento de imagen Fuente: propia

En la figura anterior se muestra el diagrama de flujo del desarrollo realizado para detectar las figuras por medio de análisis de imagen.

4. Resultados

En este apartado del artículo se muestran los resultados obtenidos luego de desarrollar el proyecto.

A continuación, se relaciona en la tabla 1 los resultados obtenidos al realizar el mantenimiento del brazo neumático.

Elementos del brazo neumático	Estado Anterior	Estado Actual
Cilindro normalizado de la serie DN	Presentaba una fuga de aire que hacía que los movimientos se realizaran de una manera lenta sin llegar a su posición final.	Sin fugaz de aire, y desplazamiento completo del vástago. Empaque de embolo nuevo. Funcional al 100%
Actuador rotativo DRQ	Al realizar la excitación del actuador generaba sonidos que evidenciaba falta de lubricación	Se encuentra completamente lubricado y realiza el giro con un grado de libertad de 90 grados sin frenarse en el proceso.
Actuador cilíndrico lineal sin vástago SLM	Al ejecutar el movimiento el vástago presentaba obstrucción para llegar a sus posiciones finales	Ejecuta los movimientos de manera correcta sin frenarse
Dos Cilindros de carrera corta ADV	En los ejes de estos cilindros donde se ubica la pinza presentaba falta de lubricación	Desplazamiento de la pinza es correcto y menos forzado
Electroválvulas MFH, Tiger Classic de 5/2 vías	Presentaba fugaz de aire en dos electroválvulas, tenía partículas de polvo en el interior. Desgaste en los empaques de conexión (PRS). Los contactos de los relés estaban sulfatados.	Sin fugaz de aire. Empaques nuevos y bien posicionados. Activación y desactivación correcta de las electroválvulas al excitar los relés.

Tabla 1. Estado Anterior vs Estado Actual de los actuadores fuente: propia

Con respecto a la tabla 1 después de realizar el mantenimiento, se hizo la verificación de que todo el sistema funcionara en óptimas condiciones ya que a la

hora de hacer sus respectivos desplazamientos en cada uno de sus actuadores se hizo la toma de mediciones guiándonos de las especificaciones establecidas por el fabricante.

En las figuras 13 y 14 se evidencia un antes y un después del mantenimiento realizado.

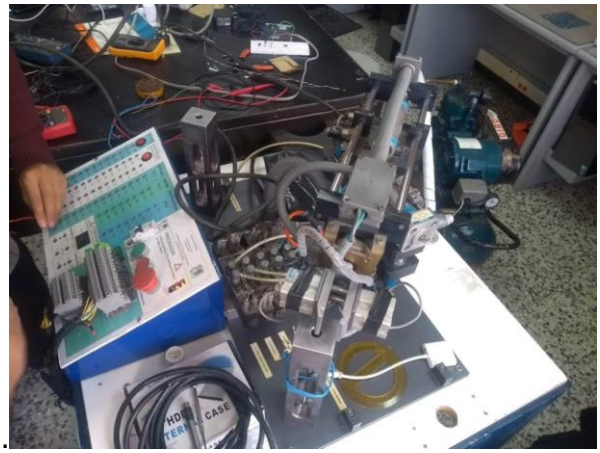

Figura 13. Brazo neumático antes del mantenimiento. Fuente: propia

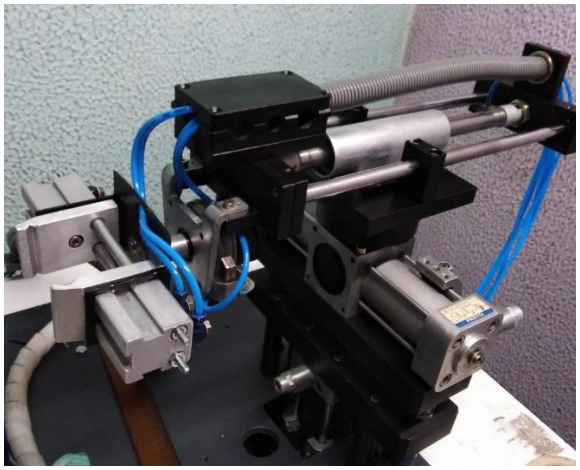

Figura 14. Brazo neumático después del mantenimiento. Fuente: propia

En la tabla 2 se relaciona una prueba de presión de aire.

La prueba consta de variar la presión del compresor que ingresa al brazo neumático y verificar el tiempo que se demora en responder los actuadores. Esta prueba se realizó después del mantenimiento y no antes, debido a que los actuadores y las

electroválvulas no estaban en capacidad de ser operadas. para llevar a cabo la prueba se utiliza el manómetro del compresor, un cronómetro digital y se ejecuta un movimiento del brazo que requiera el uso de todos los actuadores. Teniendo en cuenta la presión máxima de funcionamiento de cada electroválvula 116 psi. Esta prueba nos ayudó a obtener un rango de presión indicado para ejecutar los movimientos del brazo de una manera óptima, dicho rango es de 85 psi a 115 psi, evidenciamos que si el brazo trabaja a una presión mayor a 118 psi las válvulas de 5 /2 vías presentan una ruptura interna de su válvula de seguridad, provocando la expulsión del aire generando fallas en los movimientos, contrario a ello si la presión es menor a 60 psi el brazo no tendrá la fuerza necesaria para ejecutar todos sus movimientos, presentando movimientos indeseados que pueden dañar el mecanismo.

Presión (Psi)	**Tiempo de respuesta del movimiento (s)**
20 a 30	No acciona
30 a 40	8.9
60 a 70	6.52
80 a 90	2.64
85 a 100	1.72
116 a 120	Ruptura y fugaz de aire en la distribuidora de 5/2 vias

Tabla 2. Relación Presión Vs Tiempo prueba realizada fuente: propia

Con el fin de encontrar la distancia ideal para la activación de los sensores inductivos se realizaron mediciones con acero, material en el que se encuentran fabricadas las figuras geométricas.

PRUEBA DE SENSORES			
Sensores	**Punto de activacion (mm)**	**Punto desactivación (mm)**	**Histéresis (mm)**
Sensor 1	1.5	2	0.5
Sensor 2	1.2	1.6	0.4
Sensor 3	1	1.4	0.4

Tabla 3. Prueba realizada a Sensores inductivos fuente: propia

Finalmente se realizaron las pruebas de todo el proyecto los cuales mostrará los resultados obtenidos del sistema clasificador en cada una de las tablas se hacen pruebas para saber la efectividad del prototipo.

La tabla 4 muestra las pruebas que se realizaron a todo el análisis de imagen.

Figura	**Clasificada**	**Errores**	**Porcentaje de error**	**Tiempo (s)**
Cilindro	10/10	0	0%	3.358
Cubo	9/10	1	10%	3.085
Prisma hexagonal	10/10	0	0%	3.057
Forma distinta	10/10	0	0%	2.969
Cilindro alto	10/10	0	0%	3.034
Cubo alto	10/10	0	0%	3.085

Tabla 4. Pruebas de efectividad análisis de imagen fuente: propia

En la tabla 5 se evidencia los posibles errores a fallo de caída en el clasificador lineal manejando un intervalo de presión de 90 a 110 psi.

Figura	**Caída en compartimiento exitosa**	**Fallo en la caída**	**Porcentaje de error**
Cilindro	10/10	0	0%
Cubo	9/10	1	10%

Prisma hexagonal	10/10	0	0%

Tabla 5. Pruebas de efectividad clasificador lineal fuente: propia

Prueba al mecanismo expulsador de figuras cuáles son sus errores frente a la expulsión de las figuras manejando un intervalo de presión de 90 a 110 psi.

Figura	**Expulsión de compartimiento exitoso**	**Fallo en la expulsión**	**Porcentaje de error**
Cilindro	10/10	0	0%
Cubo	9/10	1	10%
Prisma hexagonal	8/10	2	20%

Tabla 6. Pruebas de efectividad expulsador Fuente: propia

En la tabla 7 se mostrará con base a las anteriores pruebas de clasificación de todo el sistema desde que ingresa la figura a la banda hasta ser expulsada del compartimiento de clasificación

Presión de aire 60 a 70 psi				
Figura	**Clasificación exitosa de todo el sistema**	**Fallo**	**Porcentaje de error**	**Tiempo de clasificación**
Cilindro	4/10	6	60%	62,05
Cubo	3/10	7	70%	63,71
Prisma hexagonal	5/10	5	50%	62,75
Presión de aire 90 a 110 psi				
Cilindro	10/10	0	0%	24.51
Cubo	8/10	2	20%	22.85
Prisma hexagonal	9/10	1	10%	23.55

Tabla 7. Pruebas de efectividad de todo el sistema frente a cambios de presión Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado final del proyecto.

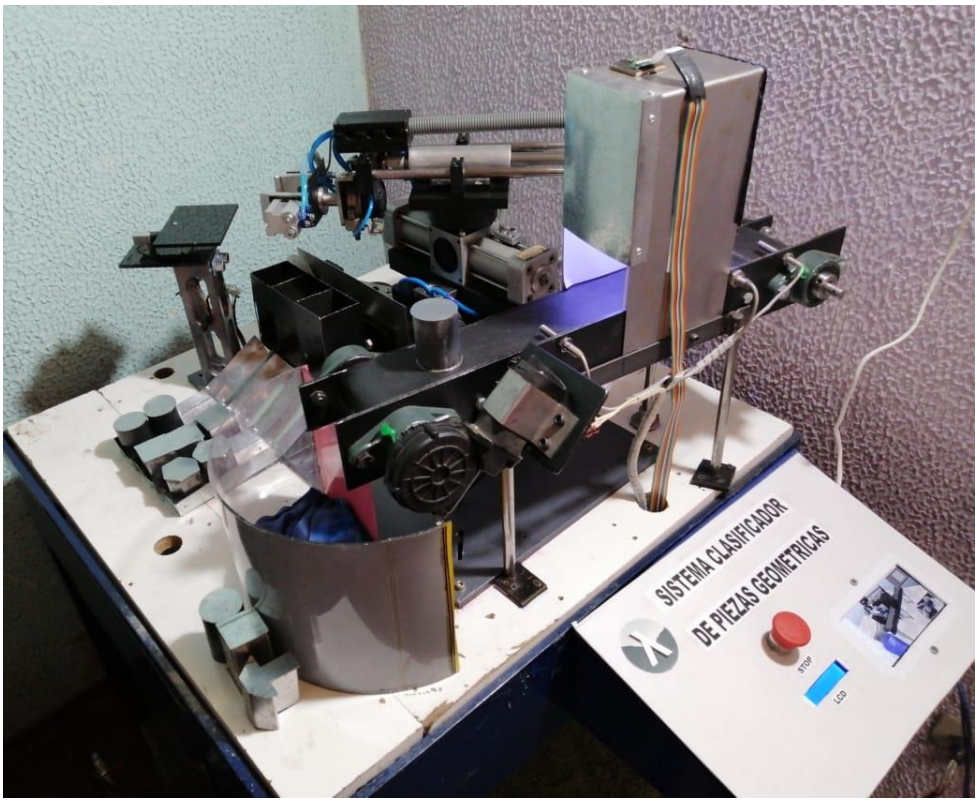

Figura 15. Resultado final del proyecto. Fuente: propia

5.conclusiones

1) El prototipo clasificador de piezas geométricas tiene una buena efectividad en el momento de realizar todo el proceso completo, toma un tiempo promedio de clasificación por cada figura de 23,63 s y tiene un porcentaje de error del 10% en la clasificación del hexágono, el 20% en la del cubo y 0% en la del cilindro.

2.) El mantenimiento preventivo en los sistemas neumáticos es necesario para obtener un funcionamiento adecuado, el tiempo requerido para la realización del mantenimiento del brazo neumático fue de 3 semanas, se evidencio que después de realizar el mantenimiento al brazo neumático, tuvo mejoras en sus movimientos y una reducción del 100% de las fugas. Se recomienda realizar mantenimiento una

vez al año y revisar constantemente si existen fugas y el estado en que se encuentran las mangueras.

3.) Se evidencio que la posición de la banda influye en el momento en que la pinza neumática agarra la figura, por lo que fue necesario encontrar la ubicación ideal de la banda transportadora, puede procesar aproximadamente 5 piezas por minuto debido a que desde la activación de la banda hasta que el brazo recoge la figura toma un tiempo de 13 s.

Además, los sensores inductivos ubicados en la banda tienen una distancia máxima de detección de las figuras geométricas metálicas de 1.5 mm, 0.5 mm menos de lo indicado por el fabricante en sus hojas de datos.

4.) Un mecanismo piñón cremallera permite un mayor aprovechamiento de los movimientos del servomotor, al momento de realizar un mecanismo lineal, teniendo en cuenta el diámetro del piñón y el largo de la cremallera.

En el momento de soltar la figura desde la pinza hasta el clasificador lineal, se logró evidenciar que el éxito en la caída depende de la posición de agarre de la figura, si por alguna razón la pinza neumática agarra la pieza mal esta podrá quedar mal ubicada al momento de caer en el compartimiento, como se evidencia en las pruebas realizadas donde el cubo tiene 10% de error en la caída al clasificador.

5.) El algoritmo desarrollado para el procesamiento digital de imagen utilizado en el proyecto, toma un tiempo promedio de 3,098 s en detectar el tipo de figura a clasificar.

En las pruebas evidenciadas en la tabla 4 se observa que el porcentaje de error es de 0% en las otras figuras distintas al cubo, que tiene un porcentaje de error del 10% este porcentaje se puede dar por varias razones una de ellas es el deterioro de la figura en sus esquinas, ya que el algoritmo puede contabilizar un lado más o

un lado menos. También influye la posición de la figura al momento en que la cámara realiza la captura de la imagen.

6.) Debido a un error humano se evidencio que al superar la presión máxima admitida por las electroválvulas (mayor a 116 psi) estas sufren daño en los miples de escape de aire, generando una fuga constante de aire, que se puede reparar cambiando la pieza afectada.

La presión de aire entregada por el compresor afecta directamente el tiempo de respuesta de los movimientos del brazo neumático, para obtener un funcionamiento óptimo se debe encontrar entre 90 psi y 100 psi, si se encuentra entre 60 a 70 psi de presión el brazo neumático al trasportar las piezas al clasificador tendrá un margen de error aproximado al 60% a la hora de ser clasificadas las figuras y el tiempo de las figuras que llegan a clasificarse es de 63,83 s como se evidencio en la tabla 2 sus tiempos de respuesta en esos intervalos de presión es de 6,52 s.

Referencias

[1] Golnabi, H. and A. Asadpour, Design and applicationof industrial machinevision systems. Robotics and Computer-IntegratedManufacturing, 2007. 23(6): p. 630- 637.

[2] ¨El análisis de nuestra cotidianidad y el procesamiento digital de imágenes. [En línea]. obtenido: https://teinco.edu.co/index.php/2018/04/19/el-analisis-de-nuestra-cotidianidad-y-el-procesamiento-digital-de-imagenes/ [Accedido: 10-enero-2020].

[3] ¨Cilindros normalizados DNC-C180, ISO 155522 [En línea]. obtenido: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/DNC-C180_ES.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[4] “Semi-rotary drives DRQ “[En línea]. obtenido:https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/DRQ_EN.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[5] “Actuadores lineales SLM, con guía” [En línea]. obtenido:https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SLM_ES.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[6] “Cilindro de carrera corta ADVC/AEVC” [En línea]. obtenido: https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/ADVC_ES.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[7] DRQ¨Amortiguadores [En línea]. obtenido:https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SHOCK-ABSORBER_ES.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[8] ¨Electroválvulas y válvulas neumáticas, Tiger Classic" [En línea]. obtenido: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/TIGERCLASSIC_ES.PDF [Accedido: 10-enero-2020].

[9] ¨CoppeliaSimUser Manual" [En línea]. obtenido https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html: [Accedido: 10-enero-2020].

[10] ¨Uso de la placa L298N para motores de CC" [EnLínea]. http://robots-argentina.com.ar/didactica/uso-de-la-placa-l298n-para-motores-de-cc/ [Accedido: 10-enero-2020].

[11] ¨Pi NoIR Camera Module" [En línea]. obtenido: https://docs.rs-online.com/0da1/0900766b814db309.pdf [Accedido: 10-enero-2020].

[12] F. Torres and C.Fernández , "Sensores y detectores ," Universidad de Alicante, España 2011.

[13] ¨CARACTERISTICAS TECNICAS De sensor SI12-B2 NC AD3:" [En línea]. https://www.aecosensors.com/versionePDF.cfm?ID_fam=40&idprodotto=6970: [Accedido: 10-enero-2020].

[14] ¨CARACTERISTICAS TECNICAS De sensor Festo M8:" [En línea]. https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/SIEX_ES.PDF: [Accedido: 10-enero-2020].

[15] ¨Raspberry Pi 3Model B+" [EnLínea]. obtenido: tps://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf [Accedido: 10-enero-2020].

[16] A.F.Barrero y M.F.Robayo,"Algoritmo De Navegación A Bordo En Ambientes Controlados A Partir De Procesamiento De Imágenes",Universidad Distrital FransiscoJose De Caldas, Bogotá Colombia, 2015.

[17] J. J. Humberto, "Reconocimiento de objetos casi-planos mediante un sistema de tratamiento digital de imágenes embebido en una plataforma tipo Raspberry Pi", Instituto Politécnico Nacional de México, 2018.

[18] R. Szabó y A. S. Aurel, "RoboticArm Control in Spacewith Color RecognitionUsing a Raspberry PI", presentado en la 39va Conferencia Internacional de Telecomunicaciones y Procesamiento de Señal (TSP), Viena, Austria, 2016.