

Brazo Robótico Didáctico de 6 GDL Automatizado para clasificar Objetos Balísticos mediante Visión Artificial

Automated 6 DOF didactic robotic arm in order to classify ballistic objects using artificial vision

Mélany Jazmín Yarad Jácome ⁽¹⁾, Óscar Wladimir Gómez Morales ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

⁽²⁾ Instituto Técnico Sucre, Ecuador

mjyarad@espe.edu.ec, oscargomez@yaho.com

Resumen

Actualmente, el proceso de empaquetamiento de objetos balísticos se lo realiza de manera manual, en el que el personal encargado está expuesto a alta contaminación de residuos por el ensamblaje de las municiones, principalmente la pólvora, así como también por la estática generada por el cuerpo humano. Esta problemática llevó a realizar la presente investigación, la cual se enfoca en la construcción de un brazo robótico didáctico de 6 grados de libertad (GDL) automatizado para clasificar objetos balísticos mediante visión artificial. Para el control se usan drivers TB6560 y motores a pasos de marca NEMA, los cuales están ubicados en cada articulación; cuenta con un servo motor que está adaptado a un gripper de pinzas que permite el agarre de los objetos balísticos por clasificar. Además, cuenta con una Raspberry Pi modelo B, un sistema operativo Raspbian y una pantalla touch LCD. Adicionalmente, posee un sensor de imagen pixy cam y un Arduino Atmega 2560 empotrada y una tarjeta RAMPS 1.4 para el control de los grados de libertad del brazo robótico. Esto da como resultado final un proceso eficiente en la clasificación balística, con una reducción de mano de obra operaria y aumento de seguridad en la producción.

Palabras clave: Automatización; control; grados de libertad; objetos balísticos; Programación; visión artificial.

Abstract

Nowadays, packing ballistic objects is conducted manually, where the person in charge is exposed to high levels of contamination by residues due to the assembly of the munitions, mainly the gunpowder and the static generated by the human body. This problem led to the current research, which focuses on constructing a didactic robotic arm with six degrees of freedom (GDL), automated to classify ballistic objects through artificial vision. TB6560 drivers and NEMA brand stepper motors are used for control, located in each joint. It has a servomotor adapted to a pincer gripper, which allows the grip of the ballistic objects to be classified. In addition, it has a Raspberry Pi model B, a Raspbian operating system, and an LCD touch screen. Besides that, it has a pixy cam image sensor and an Arduino Atmega 2560 embedded in a RAMPS 1.4 card to control the degrees of freedom of the robotic arm. Everything described previously leads to an efficient process in ballistic classification, with a reduction of operating workforce and increased safety in production.

Keywords: Automation; control; degrees of freedom; ballistic objects; programming; Artificial vision



Fecha de Recepción: 09/06/2021 - Aceptado: 31/07/2021 – Publicado: 15/09/2021
ISSN: 2477-9253 – DOI: <https://dx.doi.org/10.24133/RCSD.VOL06.N01.2021.04>

I. Introducción

Actualmente, los prototipos de brazos robóticos para pequeñas aplicaciones en el campo industrial han ayudado a que los operarios puedan realizar trabajos repetitivos de baja escala en menor tiempo y aumentando la calidad de la producción.

La construcción, automatización y control de un brazo robótico dedicado a la manipulación de objetos, mediante visión artificial, abarca temas relacionados con el ensamblaje de piezas, conexiones electrónicas y programación de controladores, con el fin de automatizar el sistema a través de la aplicación del conocimiento. De esta manera, se contribuye al cambio de la matriz productiva e impulso del desarrollo industrial con sistemas eficientes y confiables operados por personas capacitadas con mano de obra calificada.

El problema de los controles de calidad en la industria armamentística suele darse porque son realizados de forma visual por el operario e involuntariamente se cometen errores. Es así que se han encontrado en la visión artificial y en las plataformas de programación, más accesibles a los usuarios, herramientas tecnológicas de punta que han hecho de este predicamento algo más sencillo de procesar.

En el Ecuador ya existen varias industrias, como la agropecuaria, la agroindustrial, la metalmecánica, entre otras, que tienen en sus procesos un brazo robótico industrial automatizado para mejorar la producción. La educación del día a día se va actualizando de manera rápida, en donde las optimizaciones de una empresa en relación a la tecnología son el avance científico que genera conocimientos y mejoras. La automatización y control de los procesos cada vez llegan a un verdadero aumento de herramientas robóticas ya sea teórico o práctico (El Comercio, 2015).

Las grandes industrias en el Ecuador usan este tipo de tecnología. La habilidad de precisión al momento de trabajar con tareas extremadamente difíciles se dio a conocer en el año de 1961; con el avance del tiempo y la innovación tecnológica se ha ido mejorando. En la actualidad, se tienen brazos robóticos de la marca alemana KUKA¹ que cuentan con una gran precisión, de tal manera que pueden ser programados para realizar trabajos complejos de forma automática; también tienen como finalidad construir plataformas, realizar cortes de metal con perfección, soldar, montar y desmontar un vehículo, y son una parte fundamental de la tecnología 4.0 (Marshall, 2010)

II. Materiales y Métodos

2.1. Fundamentación

El objetivo de esta investigación es construir un brazo robótico didáctico de 6 grados de libertad automatizado para clasificar objetos balísticos mediante visión artificial. De acuerdo con el libro Fundamentos de Robótica y según la Asociación de Robótica Industrial (RIA 1979) “un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas” (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 2007, pág. 17)

Brazo robótico

La Organización Internacional de Normalización (ISO 1998) en su norma ISO 8373 define al Robot

¹ KUKA es un acrónimo de 'Keller y Knappich Augsburg', por sus siglas en alemán.

manipulador industrial como: “Manipulador de 3 o más ejes, con control automático, reprogramable, multiaplicación, móvil o no, destinado a ser utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Incluye al manipulador (sistema mecánico y accionadores) y al sistema de control (software y hardware de control y potencia)”.

Los brazos robóticos industriales hoy por hoy se observan en distintos tamaños y diseños. Su clasificación está dada por la forma en que se encuentra automatizado, lo cual permite gobernar el movimiento de sus elementos y por sus configuraciones cinemáticas.

Configuraciones Cinemáticas

Según la geometría de su estructura mecánica, un brazo robótico posee configuraciones cinemáticas de acuerdo al desplazamiento o giro de sus articulaciones encargadas de posesionar, y puede ser (González, 2015):

- a. Cartesiano: se caracteriza por sus ejes, que coinciden con los tres ejes cartesianos y sus articulaciones son del tipo prismática, normalmente con movimientos localizados en los ejes X, Y, y Z.
- b. Esférico o polar: los ejes forman un sistema polar de coordenadas. Es decir, en un círculo un eje que va de arriba a abajo y otro de derecha a izquierda (como norte-sur este-oeste).
- c. Articulado: tiene como mínimo tres articulaciones que giran sobre sí mismas, lo que le posibilita llevar a cabo tareas más complejas. La mayor rotación permite que pueda realizar una alta maniobrabilidad y accesibilidad a zonas con obstáculos.
- d. Cilíndrico: sus ejes forman un sistema de coordenadas de círculos concéntricos que le permiten efectuar movimientos conocidos como interpolación lineal.
- e. SCARA: posee dos articulaciones rotatorias paralelas, que permiten que pueda hacer trabajos de movimientos de objetos. Es decir, las principales funciones de este tipo de brazo son las de recoger objetos y dejarlos en otros lugares.
- f. Paralelo: tiene articulaciones en forma de prisma. Su uso principal está en la plataforma móvil desde la que se trabajan las simulaciones de vuelo. Su alto nivel de rotación permite una mayor variedad de movimientos para que la simulación sea más compleja (ESNECA,2019).

Funciones

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de potencia y control, y elementos terminales. En la figura 1 se puede observar el funcionamiento más detallado.

El sistema de potencia y control comandado por un micro-controlador controla al robot mediante estímulos recibidos de los sensores, enviando señales a los actuadores de las articulaciones y así rotando varios motores individuales acorde a la posición deseada (algunos brazos robot más grandes utilizan sistemas hidráulicos).

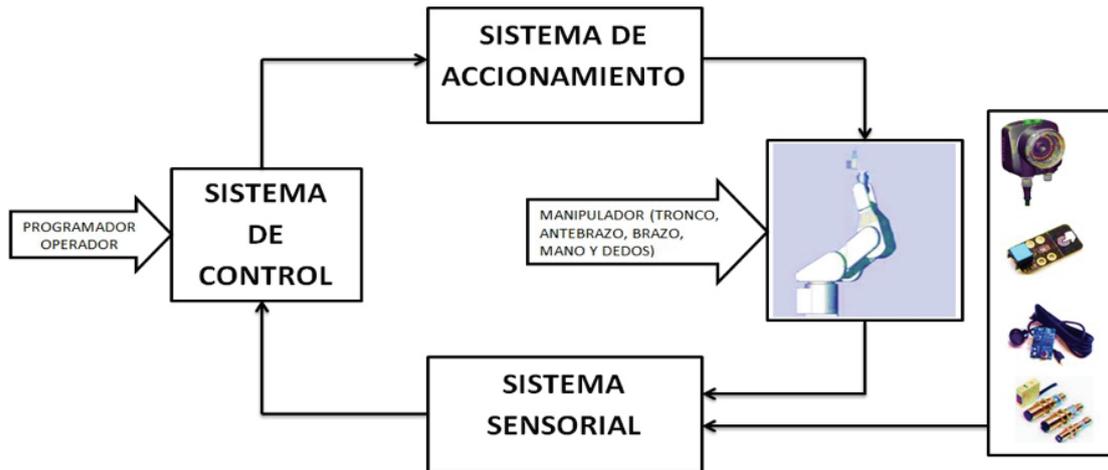


Figura 1: Diagrama de funcionamiento de un brazo robótico

Visión artificial

La visión artificial captura la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales, utilizando procedimientos automáticos, por lo cual un sistema compuesto por diversos dispositivos inteligente es capaz de extraer información del entorno para su interpretación, comparación y procesamiento de imágenes, mediante el uso de computadora o microprocesadores capaces de tomar decisiones y ejecutar acciones mediante componentes de accionamientos (Jiménez, 2015).

Fases de la visión artificial

Existen diversas técnicas en un sistema de visión artificial que siguen una secuencia específica en adquisición, pre-procesamiento, segmentación, representación, detección, reconocimiento e interpretación de imágenes. Cada fase realiza una tarea concreta de acuerdo a la aplicación del sistema cumpliendo con su objetivo tales como:

- a. Adquisición: en esta etapa se capturan las imágenes de las municiones y se busca realzar mediante técnicas fotográficas las características visuales del objeto. Esta es una de las etapas más importantes ya que la buena adquisición de la imagen posibilitará la consecución de la siguiente fase, como se indica en la figura 2.

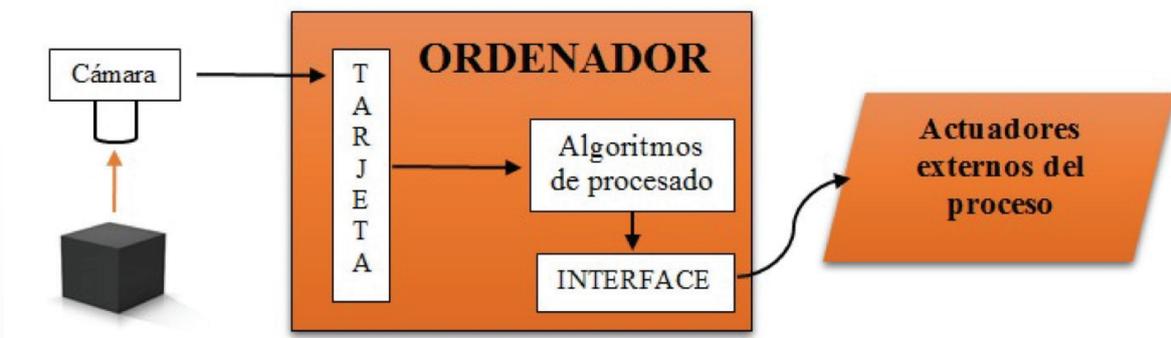


Figura 2: Proceso de un sistema de visión artificial

- b. Pre-procesamiento: en esta fase se busca mejorar la calidad de la imagen de las municiones detectadas por la cámara, en la que se pueden aplicar técnicas de supresión de ruidos (deformación en las vainas), de realce de contraste (brillo por exceso de pólvora) y de optimización de la distribución de la intensidad, así como de extracción de bordes, lo cual permite agilizar la búsqueda de información de la imagen.
- c. Segmentación: es aquí donde se divide la imagen en partes y se realiza la extracción de la información, identificando la textura, color e intensidad y marcando los bordes segmentados, tomando en cuenta la similitud y discontinuidad.
- d. Representación: en esta parte se procesa los parámetros de las partes de imágenes obtenidas en el proceso anterior.
- e. Detección: aquí se busca extraer el perfil completo de las municiones, todas aquellas características que se diferencien de las demás; es decir, se extraen las características invariantes e independientes como: contorno, tamaño y color.
- f. Reconocimientos: es donde se clasifican las imágenes adquiridas a partir de los descriptores de la etapa anterior, para lo cual se usó la técnica de algoritmo de bordes y métodos estadísticos.
- g. Interpretación: como su nombre lo indica, aquí se interpreta todos los objetos detectados y reconocidos en donde se realizan parámetros comparativos para su respectiva clasificación.

Instrumento de adquisición de imagen

Uno de los instrumentos principales de la visión artificial es la cámara. Esta es la encargada de visualizar lo que sucede en su entorno. Hay una diversidad de cámaras en el mercado con diferentes características, unas desde visualización de entorno y otras que realizan hasta la detección de objetos y procesamiento de imagen. Cabe indicar que estos dispositivos cuentan con varios parámetros, así como la estabilización de imagen, disparo, captura, cantidad de pixeles, velocidad de procesamiento, que se deben tomar en cuenta al momento de la elección.

Raspberry Pi

Raspberry Pi es un computador personal y no solamente un micro-controlador. Este computador personal se utilizó para el procesamiento de datos. Como entrada se tiene la adquisición de imagen mediante la cámara pixi2, en el proceso se encuentra el control a las imágenes adquiridas y tratadas con el método de visión artificial. Finalmente, las salidas corresponden a las respuestas de los actuadores.

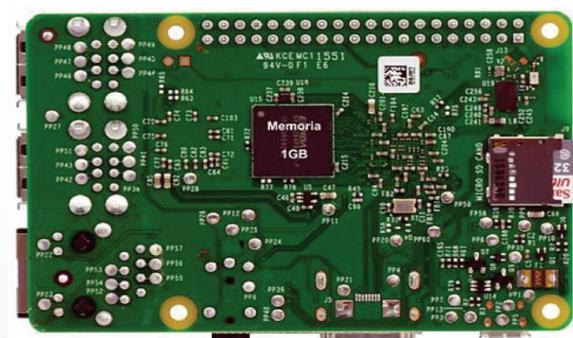


Figura 3: Lado posterior de la Raspberry Pi 3 b+
Fuente: (IONOS, 2018)

Pantalla LCD

Es una pantalla plana (figura 4) que utiliza las propiedades de modulación de la luz que presentan los cristales líquidos. Se la utiliza para visualizar la imagen adquirida por la cámara Pixi2 y para la configuración del sistema operativo del brazo robótico.

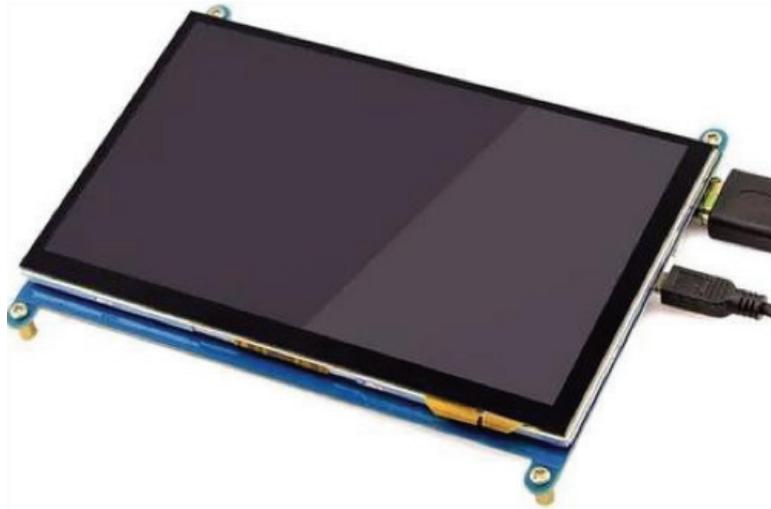


Figura 4: Pantalla LCD

Tarjeta RAMPS

La RAMPS (figura 5) es una tarjeta protectora diseñada para Arduino MEGA, hecha para controlar motores paso a paso, generalmente NEMA, utilizando drivers, como POLOLU A4988, DVR8825 o TB6560. Además, tiene conexiones para conectar y controlar todos los elementos que necesitan las impresoras 3D. Esta tarjeta cuenta con pines que se ajustan al Arduino Atmega 2560 y que se empotra de forma precisa a dicha placa de Arduino.

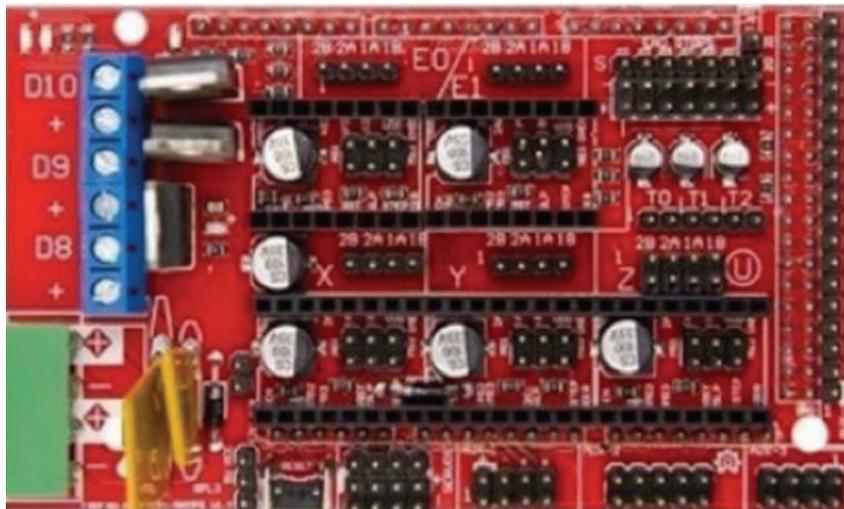


Figura 5: Tarjeta RAMPS
Fuente (Engineerstoys, 2019)

Raspbian

Es un sistema operativo libre basado en la distribución de Linux denominada Debian y optimizado para el hardware de Raspberry Pi.

Para la detección de objetos, se utilizó el software PixyMon, que permitió la conexión con la cámara Pixy2. En esta interfaz se establece una asignatura para la selección del color del objeto que se quiere reconocer y grabar, tal como indica la figura 6.

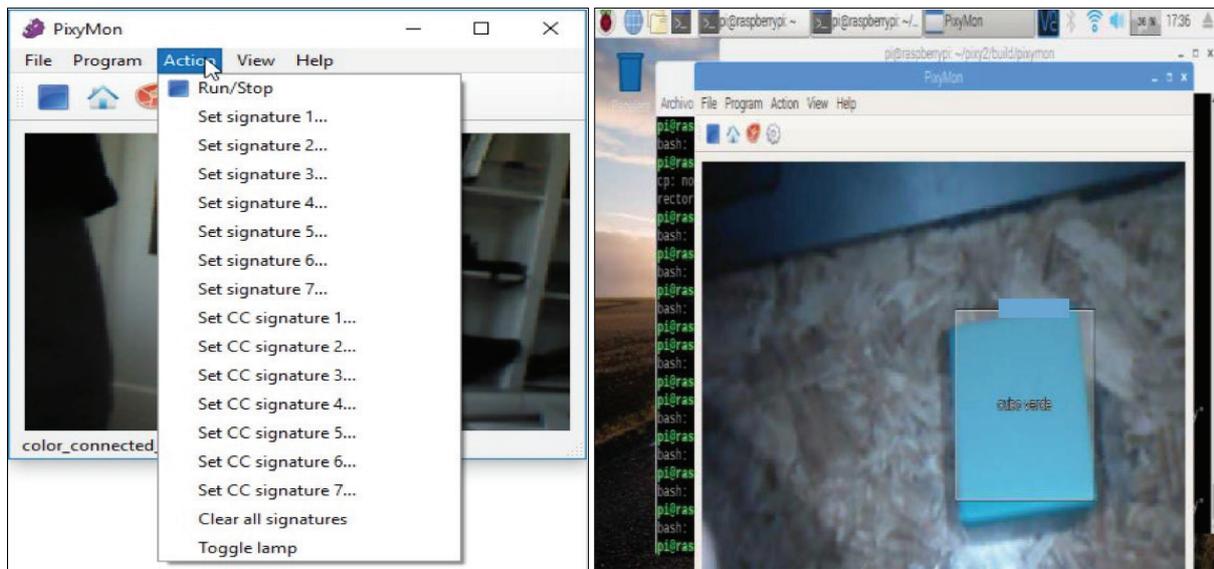


Figura 6: Detección de un objeto con la cámara Pixy2 y PixyM

La determinación del espacio de trabajo y posicionamiento de la cámara Pixy2 en el brazo robótico se indica en la figura 7; de esta manera, se puede manipular el brazo hacia donde se encuentre el objeto en un espacio determinado. Para dar apertura a la detección del objeto, se programa un punto inicial que ayuda a maniobrar el robot hacia el área de detección; para esto se envió las coordenadas mediante el Arduino Atmega 2560 conectado la Ramps 1.4 hacia el driver TB6560.



Figura 7: Ubicación de la cámara Pixy2

El espacio de trabajo permite dar a conocer los puntos máximos y mínimos que se ejecutan al momento de dar el movimiento a cada articulación, como muestra la figura 8. Estos valores se los puede obtener mediante la cámara Pixy2.

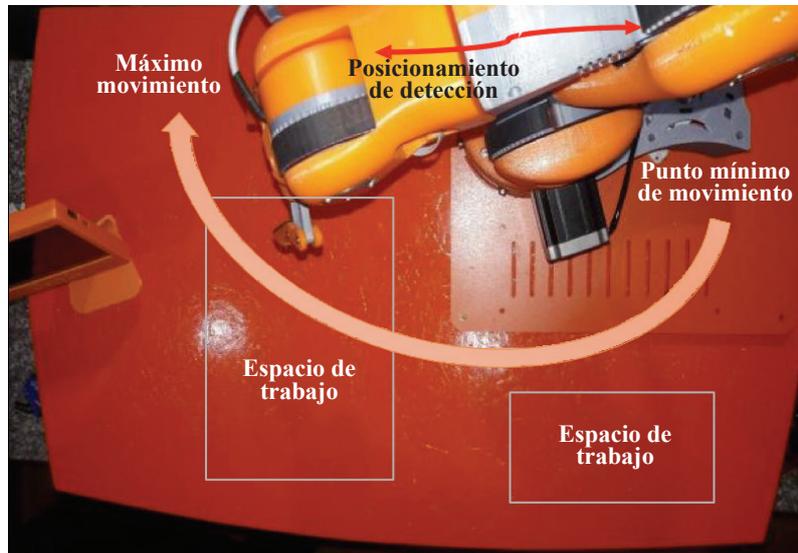


Figura 8: Determinación de puntos máximos, mínimos y espacio de trabajo

El brazo robótico cuenta con 6 GDL. Cada grado de libertad se debe posicionar en un estado inicial para después determinar el movimiento que se realice y regresar a su ubicación de reposo.

La obtención del objeto se refleja en la posición de detección, ya que en este lugar se podrá tener visión de todo el espacio de trabajo, como se observa en la figura 9. Ubicado el brazo robótico en la posición de detección, se procede al reconocimiento de los objetos (para el ejemplo cubos de colores). Una vez detectado se recolecta el objeto y se clasifica en su lugar de destino.

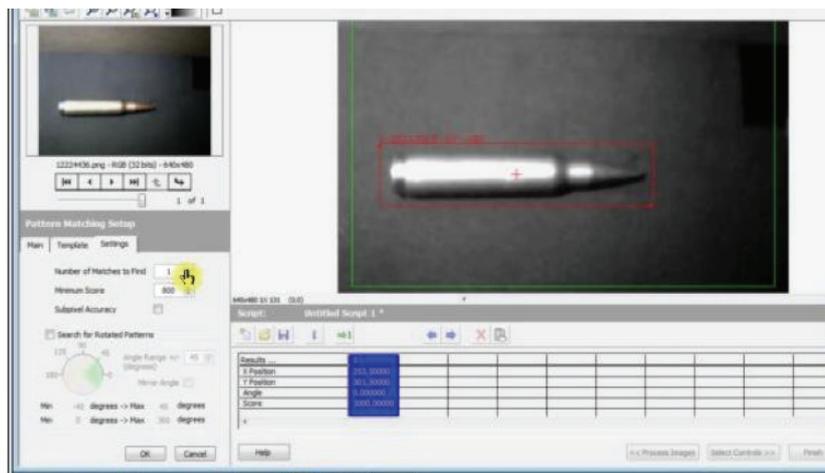


Figura 9: Posición de detección y objetos detectados

Se puede visualizar en el monitor LCD lo que logra detectar la cámara mediante la interfaz de PixyMon, también se verifica la detección de dos objetos: cubo verde y cubo azul. Determinado el objeto se realiza la clasificación en su lugar de destino, como lo muestra en la figura 10.

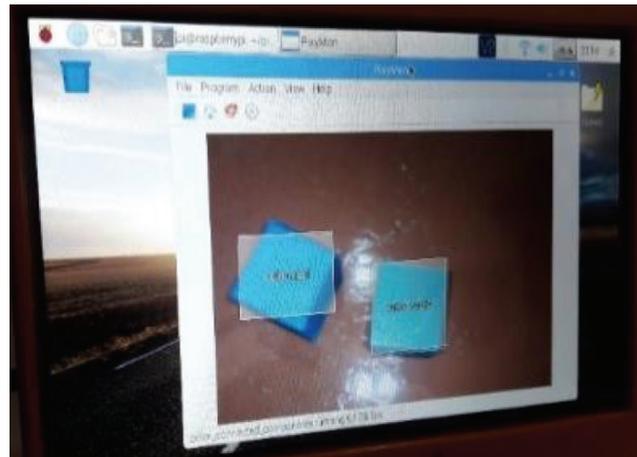


Figura 10: Interfaz PixyMon

Pixy2 puede detectar objetos de varios colores, posición, seguimiento de líneas, entre otros. Cuenta con un procesador NXP de 204 MHz, dual core, lo cual hace que se mantenga fluido al momento de su trabajo. Para exportar la información de la Pixy2, se realizó una conexión SPI hacia el Arduino Mega y se ejecutó la instalación de la aplicación PixyMon.

En la simplificación de conexiones se usó la tarjeta Ramps 1.4. Esta permitió minimizar los cables de conexión tanto del micro-controlador como hacia los drivers. Ramps 1.4 es comúnmente utilizado para impresoras 3D, CNC, cortador láser, brazo robótico, entre otras.

2.2 Movimientos del robot

Para tener certeza de los movimientos que efectúa el brazo robótico, se realiza la “prueba de movimientos” con el micro-controlador Atmega 2560; este permite controlar la placa Ramps 1.4 para así conectarse con los drivers TB6560. Para esto se realizó un pequeño programa en Arduino y así poder calibrar los pasos de los motores en cada driver. La figura 11 evidencia el diagrama de flujo del programa que se realizó para estos movimientos.

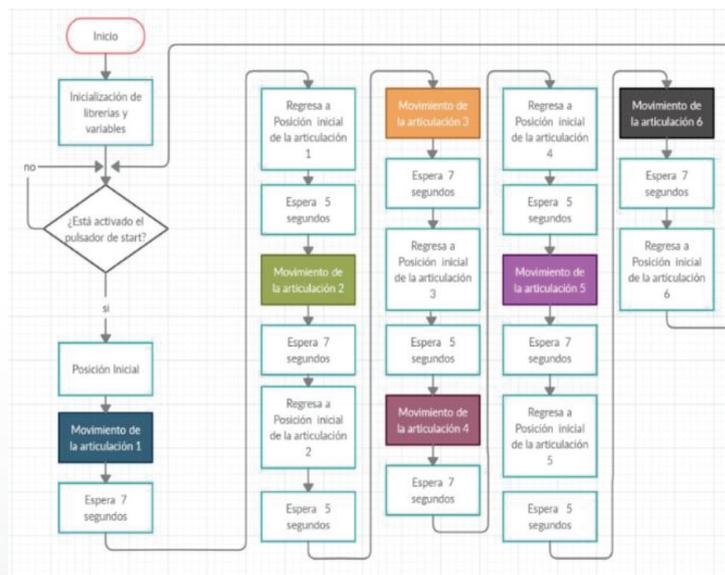


Figura 11: Flujograma de prueba de movimientos

En la figura 12 se indican las conexiones realizadas en el brazo robótico. Cabe recalcar que los motores a pasos cuentan con 4 cables puesto que son bipolares; tienen 2 bobinas y se conectan al driver TB6560 para poder ser controlados. Para simplificar las conexiones se utiliza la tarjeta Ramps 1.4.

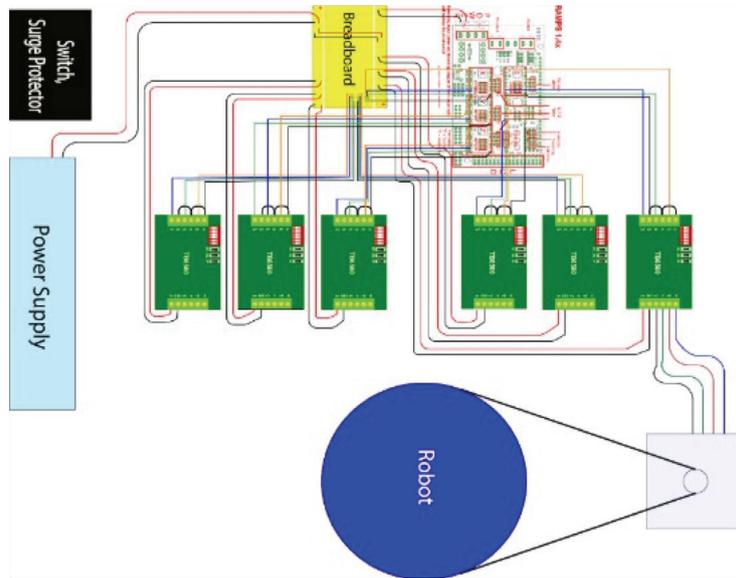


Figura 12: Diagrama de conexiones

En la figura 13 se refleja las partes completas del brazo robótico enumeradas con sus respectivas articulaciones y eslabones, con esto se permite visualizar de mejor manera y lograr entender su funcionalidad.

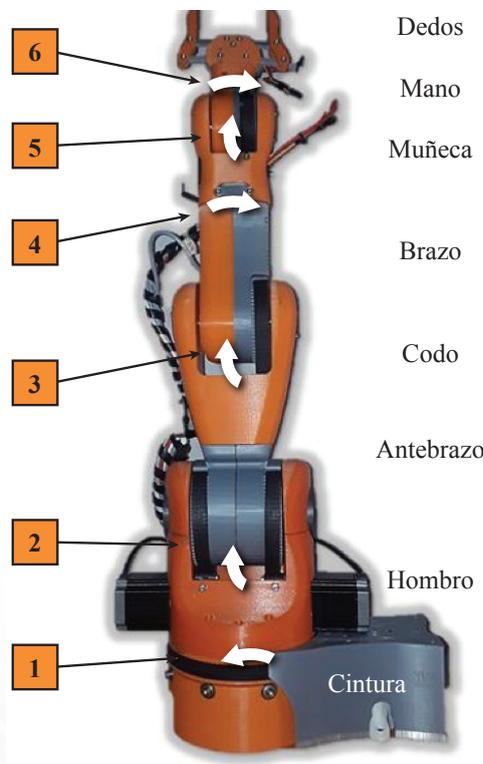


Figura 13: Partes del brazo robótico

El gripper, también conocido como la mano o pinza del robot, es el componente principal del brazo robótico porque permite manipular las municiones para la aplicación realizada, que corresponde a la detección de objetos. Consta de una pinza de dos dedos, en la mano (eje de movimiento) se coloca un servomotor Hitec HS-422; este se conecta por engranes para así dar el agarre y sujetar firme al elemento balístico como se muestra en la figura 14.

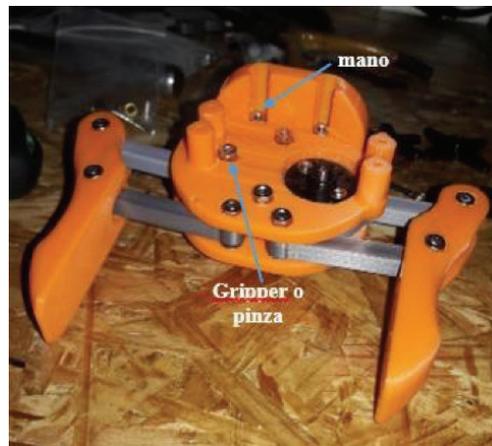


Figura 14: Gripper o pinza

2.3 Metodología de investigación

En las secciones de este escrito se evidenciarán los materiales y el método que se utilizó para la construcción del prototipo industrial clasificador de objetos armamentistas, explicando cada una de las etapas de desarrollo; luego, los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo y, finalmente, se presentará un trabajo futuro como consecuencia de esta investigación.

La construcción del prototipo se desarrolló a través del método bibliográfico y experimental, ya que previo al diseño y construcción se analizaron diferentes fuentes de información relacionados con el tema de investigación planteado, en vista de que no existe teoría puntual del dispositivo en el funcionamiento con la tecnología requerida; dado que de toda la información recopilada se obtuvo del análisis del funcionamiento a base de prueba y error.

La técnica que se utilizó para determinar los parámetros de construcción y funcionamiento fue la entrevista cuyo principal objetivo fue obtener cierta información, mediante preguntas abiertas dirigida a expertos en el área industrial, con el propósito de relacionar y comparar toda la información recolectada y registrar las respuestas. Esto ayudó a conocer los parámetros que se deben tomar en cuenta para la construcción y automatización del brazo robótico, así como para la aplicación de visión artificial.

III. Evaluación de Resultados y Discusión

3.1 Evaluación de Resultados

Con este prototipo se puede evidenciar que el contacto humano con los elementos de producción balística es mínimo, dando como resultado una mejora en tiempo y calidad. Esto se ejecutó bajo una investigación de campo de tipo experimental, de tal manera que se realizaron diferentes pruebas de

funcionamiento del robot manipulador, diseñado para la clasificación de objetos, de forma que se adapte a la utilización de varios procesos y a las realidades actuales de las empresas que lo requieran. Por lo tanto, se procedió a manipular y clasificar objetos simulando el proceso donde el cerebro utiliza los ojos para reconocer objetos. La robótica apuesta por desarrollar programas capaces de imitar ese método. A través del uso de cámaras, sensores, tarjetas de adquisición y módulos de visión, el computador es capaz de adquirir imágenes de su entorno para el respectivo análisis, así se interpreta de manera física el comportamiento de los elementos que interactúan para realizar proceso automatizado.

La investigación realizada ayudó con información relevante, la que permitió aclarar dudas en cuanto se refiere al material de construcción del prototipo, el filamento PLA Y ABS, que se indica es el más adecuado para la impresión de las piezas. Lo mismo sucede con el uso de motores unipolares por cuanto su conexión es más sencilla y usa una fuente conmutada.

Para cada movimiento articulado se diseñó una pieza, esta se acopla a un motor a pasos Nema y se ubica en la posición adecuada, centrando su eje de movimiento. El motor se sujeta mediante pernos con sus respectivas tuercas; el eje del motor se conecta a un acople flexible y también se coloca un eje metálico. Para evitar movimientos inesperados en el acople se coloca un rodamiento, esto se puede evidenciar en la figura 15. El robot al contar con 6 grados de libertad, cuenta con 6 articulaciones para lo cual se procede de la misma manera en cada una de sus uniones.

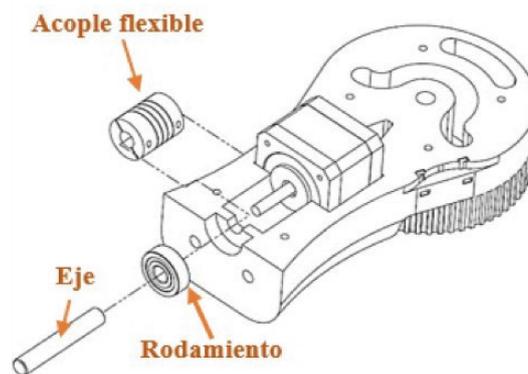


Figura 15: Brazo robótico de código abierto

Para dar movimiento a estos motores, se ejecuta el siguiente código de programación.

```
//Movimientos de cada articulación
Serial.println("Movimiento 7");
positions[0] = -7300;//-6500;// max 32800 micropasos/rev
positions[1] = -3700;//-2600;// max 18000 micropasos/rev
positions[2] = 20600;//20000;// max 72000 micropasos/rev
positions[3] = 00;//2000;//max 2800 micropasos/rev)
positions[4] = -3400;//900;//max 14400 micropasos/rev
positions[5] = 0;//800; // prueba grado de libertad 6
steppers.moveTo(positions);
steppers.runSpeedToPosition(); // Bloqueo hasta que todos estén en posición
delay(100);
gripper.write(100);
delay(300);
```

De esta manera, se tiene la posición exacta que se requiera para clasificar de forma automática los objetos, detectando alguna falla generada en la línea de producción y ayudando en el ámbito de la gestión de calidad y seguridad en los operarios al manipular objetos balísticos.

La obtención del objeto se refleja en la posición de detección ya que en este lugar se podrá tener visión de todo el espacio de trabajo, como se muestra en la figura 16. Ubicado el brazo robótico en la posición de detección, se procede al reconocimiento del objeto, una vez detectado se recolecta y se clasifica en su lugar de destino.

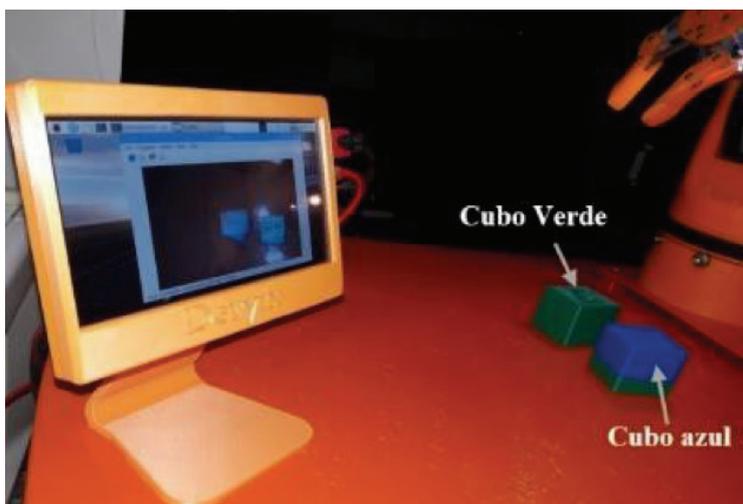


Figura 16: Posición y detección de objetos

IV. Conclusiones y Trabajo Futuro

Al tener un proceso automatizado en la industria armamentística, se puede evidenciar que los errores involuntarios de los operarios desaparecen. Con el uso de la visión artificial se reducen los procesos manuales teniendo como resultado mayor eficiencia en la producción y más seguridad en el campo de ensamble balístico.

Fue posible crear un prototipo de brazo robótico de 6 GDL que trabaje de manera automática, usando visión artificial, con la necesidad de sincronizar la mecánica, la electrónica y el algoritmo de control, cuya única finalidad es la de permitir al personal realizar actividades sin poner su vida en peligro y mucho más si el lugar de trabajo es una industria de municiones. También es importante analizar de manera muy puntual y definir el uso de los componentes mecatrónicos. En la visión artificial, la cámara pixi2 facilita la detección, procesamiento y adquisición de imágenes, este elemento cuenta con intensidad lumínica propia ayudando en el entorno de trabajo, sin tener alteraciones en el ambiente en donde se encuentre el robot; se usó los motores NEMA por su alto torque y precisión.

Como un posible trabajo de investigación a futuro se considera realizar movimientos robustos con mayor velocidad y precisión para lo cual es necesario cambiar la estrategia de control, usando así un control dinámico sobre referencias que suministra el control cinemático.

Referencias Bibliográficas

- AADECA REVISTA. (08 de 06 de 2018). Kuka Deutschland GmbH. AADECA, 8. Obtenido de Kuka Deutschland GmbH: editores-srl.com.ar/revistas/aa/8/kuka
- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA. Aravaca (Madrid).
- Crisoftec. (2012). <http://techdesign.com.ec/>. Obtenido de Brazos Robot Industriales GSK.
- El Comercio. (19 de 09 de 2010). elcomercio.com. Obtenido de 3 jóvenes proveerán brazos robóticos a la industria: <https://www.elcomercio.com/tendencias/tecnologia/jovenes-proveeran-brazos-roboticos-industria.html> Engineerstoys. (2019). engineerstoys.com. Recuperado el 22 de 08 de 2020, de <https://www.engineerstoys.com>
- González, V. (03 de 20015). Fundamentos de Robótica. Recuperado el 08 de 01 de 2020, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/portada.htm
- IONOS. (2018). IONOS. Obtenido de www.ionos.es
- Jiménez, M. (2015). Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de aglomeración de personas en un semáforo. Loja.
- Sánchez, M. (2007). Historia de la robótica. Cataluña.