

**DEVELOPMENT OF A TRAINING MODULE FOR PARALLEL ROBOTIC
AND ARTIFICIAL VISION WITH A UNIVERSAL GRIPPER SYSTEM****DESARROLLO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE ROBÓTICA PARALELA Y
VISIÓN ARTIFICIAL CON UN SISTEMA DE SUJECCIÓN UNIVERSAL**

**Ing. Jaime Gutiérrez Ríos, MSc. Edison Martínez Oviedo
PhD. César A. Peña Cortés**

Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura.
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: +(57) (7) 568 5303, Fax: +(57) (7) 568 5303, Ext. 164.
E-mail: jaimegutierrez@gmail.com, edisonmartinez@unipamplona.edu.co,
cesarapc@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper presents in a descriptive way the develop a training module for the study of parallel robotics and artificial vision algorithms. Was integrated a universal gripper system for handling moving objects. It also shows the procedure for estimating the position of objects, classification and transport.

Keywords: Parallel Robots, Educational Robots, Artificial Vision, Universal Gripper.

Resumen: En este artículo se presenta de forma descriptiva el desarrollo de un módulo didáctico para el estudio de la robótica paralela y algoritmos de visión artificial. Se integro un sistema de sujeción universal para la manipulación de objetos en movimiento. También se presenta el procedimiento para la estimación de la posición de los objetos, clasificación y transporte.

Palabras clave: Robots Paralelos, Robots Educativos, Visión Artificial, Pinza Universal.

1. INTRODUCCIÓN

La robótica ocupa en la actualidad un papel preponderante en el proceso de modernización e innovación de las industrias. La mayoría de los sistemas robotizados operan en fábricas, donde el espacio de trabajo ha sido ideado para adecuarse al robot. Sin embargo los robots han tenido menos impacto en aplicaciones dentro de entornos dinámicos, donde el área de trabajo y la ubicación de los objetos no pueden controlarse exactamente. Esta limitación se debe implícitamente a la falta de capacidad sensorial en los sistemas robóticos comerciales (Ángel, 2005). La integración sensorial es fundamental para incrementar la versatilidad y el dominio de aplicación de los robots.

Durante los últimos años, la investigación y estudio en relacionar los sistemas de visión y los sistemas robotizados de una forma homogénea y completa ha adquirido notable importancia (Marshall, 1993)

Además el desarrollo creciente de las computadoras y de nuevas técnicas de análisis han permitido la aplicación en la industria de los sistemas robóticos paralelos, es así que en la actualidad existen una gran cantidad de robots de estructura paralela que tienen desde dos a seis grados de libertad (Martínez, 2011).

En éste ámbito, se centra el desarrollo del presente Artículo, en el cual, se pretende evaluar el nivel de integración entre un sistema robótico paralelo, un sistema de visión y una pinza universal para el

manejo de objetos de formas diversa. Para ello, se plantea la planeación, construcción e implementación de una plataforma experimental basada en un robot paralelo, que utilice la información suministrada por un sistema de visión, para determinar la posición de objetos y lograr el control de las trayectorias del sistema robótico, en aplicaciones de manipulación de objetos en movimiento, implica también la implementación de un sistema en el efector final que permita tomar y trasportar con seguridad objetos con forma y tamaño diverso.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA PROPUESTA

El robot paralelo tipo delta hace parte de un módulo experimental el cual tiene como finalidad hacer más sencilla la enseñanza de diferentes temas tales como: robots paralelos, control cinemático, visión artificial y un sistema nuevo de sujeción. En la gráfica 1 se puede observar el diagrama de funcionamiento de la plataforma el cual se divide en las siguientes partes fundamentales: El sistema de visión artificial y los algoritmos para estimar la posición de los objetos, el sistema de control cinemático y el circuito neumático del gripper; un robot paralelo su control a bajo nivel y el control para los dispositivos del sistema neumático y la banda transportadora.

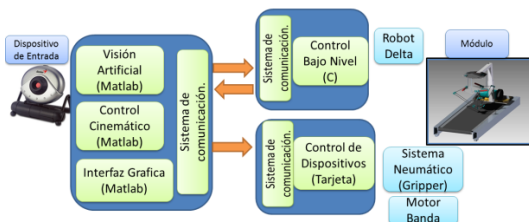


Fig. 1: Diagrama de funcionamiento del módulo.

El sistema de visión artificial está conformado por una cámara web y un algoritmo usando algunas funciones del software de Matlab que se encarga de tomar imágenes de objetos presentes en la banda, tratarlas y con base a esto determinar la ubicación y clasificación de los objetos.

El sistema control a bajo nivel, se encarga de controlar los accionamientos del robot de tal forma que se puedan implementar las referencias dadas por el control cinemático realizado en una interfaz de Matlab. El sistema de comunicación se encarga de transmitir y recibir datos de los accionamientos

del robot con el control a bajo nivel y de este con la interfaz de Matlab. El control a bajo nivel fue implementado en lenguaje C, con el fin de poder realizar un gran número de operaciones con una frecuencia bastante elevada (Contreras, 2011).

Otra parte del módulo está compuesta por el control cinemático, modos de operación y el sistema de visualización en la interfaz gráfica de usuario. El control cinemático es el encargado de transformar la información recibida del sistema de visión artificial en coordenadas de ubicación y realiza la rutina de seguimiento, toma y transporte del objeto. Los modos de operación para este caso son tres: clasificación por color, forma y tamaño.

En el sistema de visualización el usuario puede observar una simulación del robot y así poder corroborar el funcionamiento cinemático del mismo.

3. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Cabe destacar que uno de los propósitos de este proyecto fue aprovechar algunos materiales y dispositivos que están en desuso en la Universidad de Pamplona más específicamente en el laboratorio de Electroneumática, por ende este esquema mecánico partió de la idea de que se contaba con materiales y había que adaptarse a los mismos.

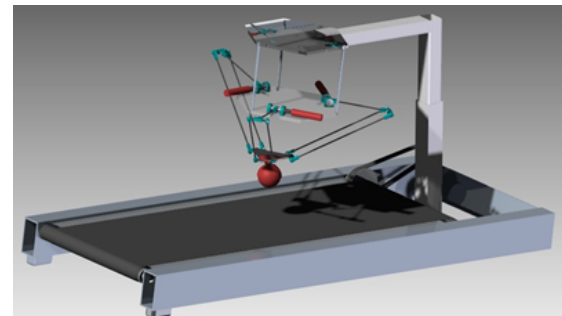


Fig.2: Módulo en CAD.

En la figura 2 se puede ver la estructura mecánica desarrollada en el CAD para la creación y ensamble del módulo; esta disposición se escogió por la información recopilada de módulos automatizadas donde se usaban robots paralelos como manipuladores de objetos en procesos industriales, también se diseñó pensando en aprovechar algunas características de los dispositivos existentes.

3.1 Sistema de visión artificial.

La función principal de este sistema es reconocer y localizar los objetos presentes en la banda mediante el procesamiento de las imágenes. En la figura 3 se muestra el algoritmo para el procesamiento de las imágenes de los objetos en movimiento.

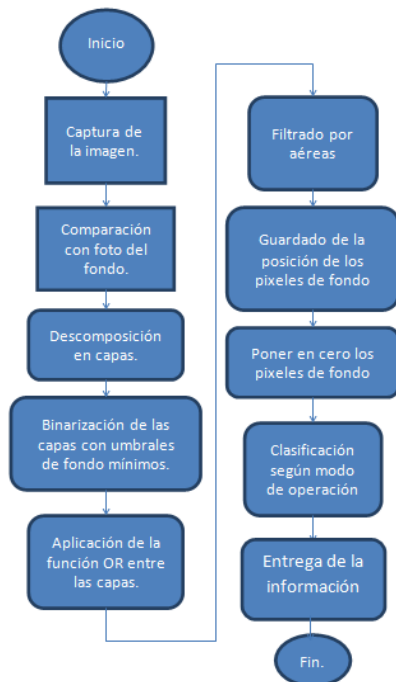


Fig. 3: Diagrama desarrollado para el Tratamiento de imágenes.

Este sistema se diseñó y programó para realizar el reconocimiento y clasificación en tres modos: por forma, color y tamaño.

La información del análisis se entrega en una matriz donde además se realciona la información del centroide del objeto, para que la pinza, lo pueda manipular con mayor facilidad.

3.2 Desarrollo del prototipo del sistema de sujeción

Tomar y colocar objetos son tareas claves para manipuladores robóticos. El desarrollo de la pinza universal, capaz de recoger objetos desconocidos de muy diversas formas y propiedades de la superficie sigue siendo, sin embargo, un reto (Amend, 2012)

Para fabricar el gripper se usó la idea principal de la universidad de Chicago e Irobot, the universal jamming. Se usaron materiales comunes, económicos y de fácil obtención (figura 4), como un embudo que forma la estructura básica del gripper, una globo plástico, café que gracias a sus características para absorber humedad y de

moldearse a cualquier forma ayuda a mantener el perfil de objetos no convencionales; un poco de algodón que funciona como filtro, también se usó un pequeño codo con terminal para manguera neumática haciendo más fácil la conexión el resultado se aprecia en la figura 5.



Fig. 4: Materiales para la construcción del Gripper.



Fig. 5: Prototipo del sistema de sujeción.

Una sola masa de material granular que, cuando se presiona sobre un objeto, fluye alrededor de este y se ajusta a su forma. Tras la aplicación de un vacío de los acomodamientos de material granular y se endurece rápidamente para atrapar y sujetar el objeto sin necesidad de retroalimentación sensorial. Encontramos que los cambios de volumen de menos de 0,5% son suficientes para agarrar objetos de forma fiable y mantenerlas con fuerzas superiores a varios veces su peso [5]. Se demuestra que el principio de funcionamiento es la capacidad de los materiales granulares para la transición entre un estado, deformable y un estado atascado como un sólido con rigidez. Se encontró tres mecanismos diferentes para la sujeción, la fricción, succión, y entrelazados, que contribuyen a la fuerza de agarre. Utilizando un modelo simple que se refieren cada uno de ellos a la resistencia mecánica del estado atascado. Este avance abre nuevas posibilidades para el diseño de los sistemas simples, sin embargo, gran capacidad de adaptación que tiene éxito en rápido agarre de objetos complejos (DIY, 2012) la figura 6 muestra el gripper universal sujetando objetos irregulares que son difíciles de manipular con otros tipos de efectores finales

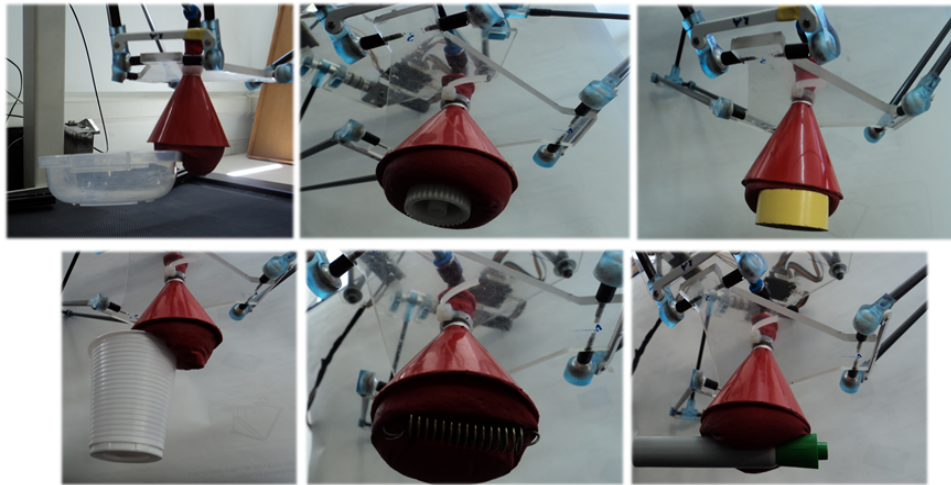


Fig. 6: Ejemplo de objetos que se pueden agarrar con el gripper.

3.3 Sistema neumático

Para la construcción del circuito neumático se partió de algunos dispositivos ya existentes en el laboratorio de electroneumática de la Universidad de Pamplona como lo son, una electroválvula 5/2 servo pilotada, una válvula estranguladora de presión y la disponibilidad de un compresor neumático. Aparte se adquirió una bomba de vacío, que es la que aporta la parte de succión al circuito.

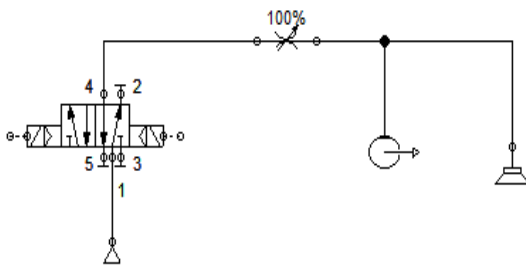


Fig. 7: Esquema del circuito neumático.

En el circuito neumático de la figura 7, se tiene una válvula 5/2 que en este caso se usó como válvula de paso ya que se usan dos de las vías disponibles, el uso de esta consiste en permitir o no, el paso de presión hacia el gripper, esto es usado para soltar los objetos y además hace que la sustancia granular (café) se acomode para poder adquirir una nueva forma, la válvula estranguladora reduce el caudal de aire para evitar que el gripper sufra daños. Cuando la electroválvula este en su segundo estado la bomba de vacío se apaga, o se enciende si se va a manipular un nuevo objeto.

3.4 Circuito de control del sistema neumático y banda transportadora

En el diseño del sistema electrónico para controlar la electroválvula y el motor de la banda transportadora se tuvieron en cuenta factores como la velocidad necesaria de conmutación y retardos en la comunicación. En la figura 8 se puede ver el diseño esquemático para dicho circuito. En el caso del motor de la banda transportadora se hizo necesario que esta tuviera un control de velocidad, así que se optó hacerlo por medio de PWM (modulación por ancho de pulso), la señal de salida del microcontrolador es amplificada y aislada galvánicamente con un Mosfet de referencia IRF540N capaz de resistir 60V y 30A entre drenador y surtidor. En cuanto a los solenoides de la electroválvula se dedujo que su conmutación no necesariamente tenía que ser de mucha velocidad así que para la amplificación de señal y aislamiento se usaron relés de 5V DC en la bobina y capacitores de resistir hasta 30V DC y 2A en sus contactos.

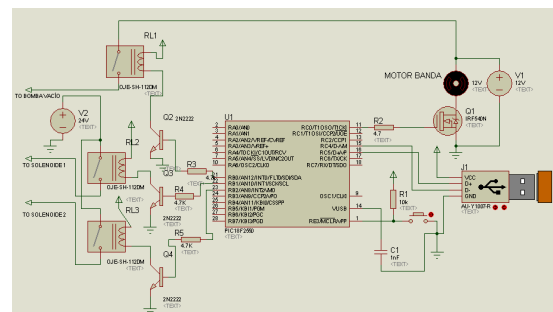


Fig. 8. Diagrama esquemático de la tarjeta para el control del sistema neumático y velocidad de la banda transportadora.

En comunicación se optó porque fuese por medio del puerto USB ya que el computador cuenta con estos y además no se necesita de ninguna clase de convertidor, lo que hace que sea más veloz y que la aplicación sea más económica.

En cuanto al programa del microcontrolador en la tarjeta diseñado en lenguaje C del compilador *CCS Compiler*, consiste básicamente en recibir dos datos del computador; el primero se usa para el ancho de pulso en el control de velocidad en la banda transportadora, el segundo estimado y puesto de forma binaria en el puerto B del microcontrolador, esto se usa para controlar los demás dispositivos los cuales solo necesitan una salida discreta *on-off*.

3.5 Seguimiento, toma y posicionamiento de objetos

Con la información de la matriz anteriormente mencionada se procede a ordenar los objetos, del más cercano al robot, al más lejano; ya que la cámara está situada de tal forma que solo se pueden detectar los objetos mucho antes de que estén al alcance del robot, el eje Y es paralelo a la dirección de velocidad de la banda, el robot se posiciona en la misma ubicación del eje X del primer objeto, en el eje Y se adelanta un poco y en el eje Z se sitúa a cierta altura, cuando el cuerpo este a cierta distancia donde ya esté al alcance del robot se envía la información de la ubicación del objeto al cálculo de la cinemática inversa y es enviada al robot dándole un tiempo de tal forma que este se dirija y se ubique sobre el cuerpo en movimiento, luego se envía la orden para que el efector final baje y aplique cierta presión sobre el objeto para que la sustancia granular del gripper adquiera la forma inversa de este.

Para que el sistema neumático tenga tiempo de hacer vacío en el efector final y hacer un buen agarre el robot debe seguir el cuerpo un tiempo. Este seguimiento se hace enviando una sucesión de puntos de tal forma que la trayectoria sea paralela al eje Y, dando unas pequeñas pausas entre estos para que el robot tenga tiempo de ubicarse (figura 9), estas se calculan en función a la velocidad de la banda que para este caso es constante. En la siguiente imagen se puede apreciar mejor la trayectoria que el robot hace para tomar un objeto que se acerca con velocidad constante V.

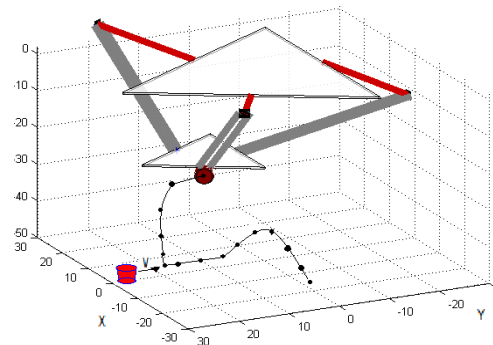


Fig. 9: Trayectoria para manipular un objeto.

Luego de tomar el objeto el robot levanta el efector final y con base en la información de clasificación se decide hacia qué posición se debe llevar el objeto, en la figura se da un ejemplo de cuando lo lleva al lado izquierdo de la banda.

3.6 Interfaz gráfica de usuario

La interacción entre el ordenador del módulo y el usuario se hace a través de una interfaz gráfica de usuario desarrollada en el software de Matlab® compuesto por imágenes metafóricas necesarias para posibilitar dicha interacción (Marrero, 2006). En la primera parte del prototipo de la interfaz de usuario se tiene el control de los umbrales por cada color, para el filtrado de las imágenes en la visión artificial, estos se ingresan de manera manual por el usuario ya que en el ambiente se pueden presentar condiciones de iluminación variables que influyen en el reconocimiento de los objetos, además el usuario podrá verificar si los umbrales son los correctos con el botón de fotos de prueba, el cual hace que se desplieguen una serie de imágenes que muestran los objetos detectados en cada capa RGB de la imagen.

En la segunda parte de la interfaz se muestra la simulación de movimiento del robot paralelo que ayuda a verificar el funcionamiento de la cinemática inversa ya que muestra el ángulo que toma cada motor, la posición y orientación del efector final del robot además si el usuario lo desea puede ingresar la posición del efector final para que el robot se dirija a ella y hacer correcciones o calibraciones.

En la parte de clasificación el usuario podrá escoger que tipo de selección quiere que el robot haga de tres disponibles como lo son: clasificación por color, por forma y por tamaño. En la clasificación por color el robot es capaz de distinguir entre dos colores diferentes: rojo, y azul. En la clasificación por forma el robot puede

identificar dos formas geométricas básicas en los objetos como triángulos y círculos, por último en la clasificación por tamaño, el robot puede seleccionar entre dos tamaños diferentes, donde el usuario puede ingresar la dimensión del área límite para que el robot haga la posterior selección según si el objeto tiene un área mayor o menor a la que el usuario ingreso.

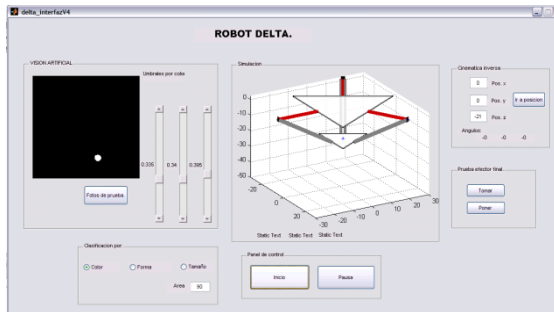


Fig. 8: Interfaz gráfica de usuario.

En el panel de control hay dos botones, inicio y pausa. El botón de inicio hace que el robot entre en un bucle continuo tomando los objetos que pasen por la banda y llevándolos a la posición final dependiendo del tipo de selección que el robot haya hecho. El botón pausa hace que el programa salga del bucle que anteriormente se mencionó y permite hacer cambios en la configuración del módulo.

4. RESULTADOS

Uno de los mejores alcances que tuvo este proyecto fue el desarrollo del prototipo para el efector final o gripper universal, el cual es capaz de manipular objetos de forma física irregular, que son muy difíciles de tomar para otros tipos de grippers, como el caso de las pinzas y las ventosas

Se realizaron algunas pruebas con tal de determinar que formas de objetos son más fáciles de manipular y cuales presentaban una fuerza de agarre mayor, para esto cada objeto se intentó tomar cuarenta (40) veces, y se observó cuantas veces el gripper los tomo exitosamente y cuantas veces falló. En la figura 9 se muestra el resultado de dichas pruebas.

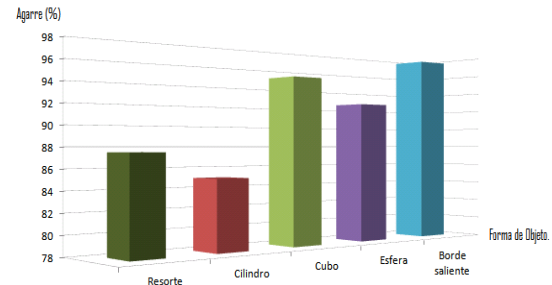


Fig. 9: Agarre con relación a la forma del objeto.

La manipulación de los objetos y su correcta clasificación ocurre en condiciones óptimas del módulo. A continuación se mencionan dichas condiciones y se explica el porqué de las mismas. La velocidad de la banda debe ser menor a 15cm/s y una separación paralela a la banda entre objetos mínima de 20 centímetros, esto es requerido ya que la velocidad del manipulador es reducida porque los accionamientos o motores que aunque son de muy buenas prestaciones sus velocidades son reducidas debido al gran relación de los reductores entre entrada y salida además el diseño total de robot no se pensó para este tipo de aplicaciones.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la integración total del módulo se realizaron aplicaciones de clasificación de objetos según su color, forma y tamaño dando como resultado en las tres, que en condiciones de trabajo relativamente ideales, el funcionamiento excelente total de los sistemas integrados.

La figura 10 muestra los resultados de la clasificación de objetos en los tres modos de operación con relación a la velocidad de movimiento de los objetos. Como se puede observar los errores son directamente proporcionales a la velocidad con que se mueve la banda en especial en los tipos de clasificación de forma y tamaño. Esto es debido a que la cámara no es de obturador veloz y en la imagen los objetos quedan con una especie de estala la cual causa la distorsión de la imagen

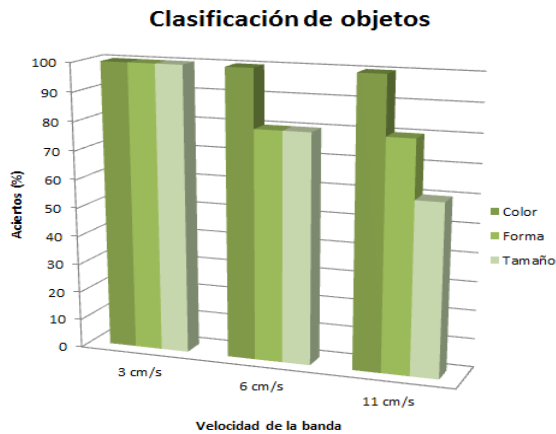


Fig.10: Gráfica de resultados de la visión artificial en la clasificación de objetos.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas de visión artificial permitió la obtención de imágenes claras para determinar la ubicación y clasificación precisa de los objetos que pasan por la banda en condiciones diversas de luminosidad.

Una de las características no ventajosas de los robots paralelos es el reducido espacio de trabajo con que se cuenta, debido a las restricciones de tipo mecánico y la presencia de singularidades al momento de llegar a ciertas posiciones.

El uso del sistema universal de sujeción aumenta las posibilidades de manipular adecuadamente objetos sin que la forma o la orientación sean una limitación.

El gripper universal demostró, gran capacidad para tomar los objetos en movimiento como se muestra en los resultados del porcentaje de éxito es alto, asociado a la correcta integración con el módulo de visión y el robot paralelo.

La interfaz gráfica de usuario permite la visualización del comportamiento de los movimientos del robot, así como una imagen de lo que está sucediendo con la detección de objetos en la visión artificial, además permite ingresar información en cuanto al tipo de clasificación y umbrales de luz.

Gracias al diseño preliminar en un programa CAD del módulo, fue mucho más sencilla la percepción del mismo al momento de construir las piezas y el ensamblaje del mismo.

REFERENCIAS

- Ángel, Luis. (2005). Control Visual de Robots Paralelos. Análisis, Desarrollo y Aplicación a la Plataforma Robotenis. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Marshall, Martin. (1993) Aplicaciones De La Visión Artificial, Visión Por Computador: Imágenes Digitales Y Aplicaciones. RA-MA.
- Martínez, Edison. (2011). Diseño y construcción de un Robot Paralelo para operaciones de “Tomar y Colocar”. Trabajo de Grado de Maestría De La Universidad de Pamplona.
- Contreras, Duber y Morgado, Carlos. (2011). Análisis Cinemático, Simulación Y Control De Un Robot Paralelo De Estructura Delta. Trabajo De Grado De Pregrado de la Universidad de Pamplona.
- Amend, Jhon y Rodenberg Nicholas. (2012). A Positive Pressure Universal Gripper Base don theJamming of Granular Material. IeeeTransactionsRobotics.
- (DIY Universal Jamming Gripper 2.0) <http://www.Trabajo/DIY%20Universal%20Jamming%20Gripper%202.0%20%20%20Carlitos'%20Contraptions.htm>, visitado en marzo de 2012.
- Marrero, Carlos. (2006). Interfaz gráfica de usuario. Proyecto de investigación de la Universidad de la Laguna.