

Procesamiento de Imagen para Seguimiento de Objetos por Control PI de un Robot Manipulador Didáctico

H. Méndez, J. Jalomo, F. Ordoñez, J. García
Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán
Zapotlán el Grande, Jalisco, México
hmendez97@hotmail.com

Resumen—Se describe el procesamiento de imagen para la ubicación y seguimiento de objetos por Control PI de un robot manipulador monofocal de 2 Gdl. Se asigna la tarea al robot manipulador de monitorear un área delimitada por dos objetos de colorimetría y área definida, y en el caso de encontrar un segundo objeto de diferente colorimetría el manipulador sigue dicho objeto y lo enfoca en el punto central de su sensor de visión. La obtención de la imagen se realiza con una webcam convencional USB, mientras el procesamiento de la imagen y el control de seguimiento del robot manipulador se llevan a cabo dentro de la plataforma SIMULINK y la tarjeta NI-USB 6008.

Palabras clave: Robótica, control, visión.

I. INTRODUCCIÓN

La visión artificial es la parte de la Inteligencia Artificial que se encarga de obtener información de utilidad mediante el análisis y procesamiento de imágenes digitales, información que es utilizada por sistemas robóticos para la toma de decisiones. Entre las aplicaciones más frecuentes de la visión en sistemas robóticos se encuentran la automatización de tareas repetitivas en base a inspección, determinación de posición global en robótica móvil, identificación y manipulación de objetos en manufactura, sistemas inteligentes de vigilancia en seguridad y monitoreo de tráfico, etc.

La reciente tendencia a la automatización de tareas hace necesario el uso de sensores de visión para control de robots inteligentes, donde la visión provee información muy completa de su interacción con el medio y en gran medida proporcionada por el procesamiento digital de imagen (Obinata and Dutta, 2007). Dada la importancia que ha tomado la robótica en los últimos años, surge la necesidad de capacitar a las nuevas generaciones en temas como Visión Artificial, Robótica Móvil, Robots Manipuladores, etc., así como Control Automático en sistemas mecatrónicos; con este fin se propone la automatización de un robot manipulador de laboratorio en el Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán con el objetivo de proveer de información al estudiante de forma que se involucren con las tendencias actuales de automatización en la industria y áreas de investigación.

El presente artículo describe una forma de proceder en la automatización de robots manipuladores para la realización de tareas repetitivas con retroalimentación por visión en Control Clásico.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por un brazo manipulador de dos eslabones, uno de ellos le permite movimiento en forma radial con un máximo movimiento rotacional de 270° , otro en forma

vertical que tiene una cobertura de 120° y al final del segundo eslabón se encuentra una cámara montada. En ausencia de control ambos eslabones pueden moverse libremente en sus rangos de operación por medio del cambio de polaridad de dos motores de CD en su eje (figura 1).

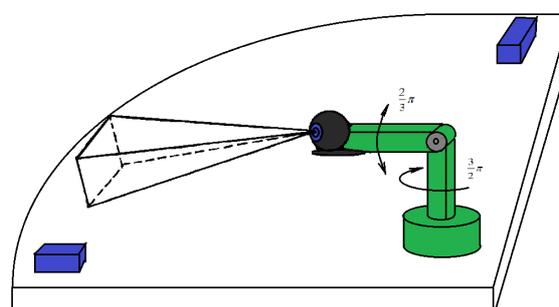


Figura 1. Sistema manipulador controlado por visión.

III. DISEÑO Y LÓGICA DE AUTOMATIZACIÓN EN BASE A LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS.

A. ESTADOS DEL SISTEMA.

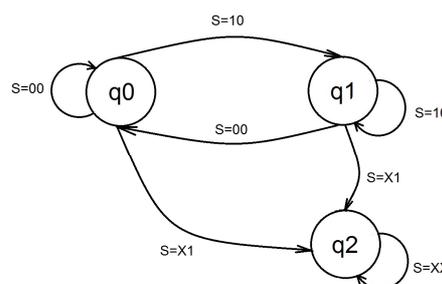


Figura 2. Estados del Sistema.

El sistema cuenta con tres estados que rigen su comportamiento q_0 , q_1 y q_2 , en donde q_0 habilita el giro del eje inferior en un sentido, q_1 habilita el giro en sentido contrario y S se encuentra conformado por dos sensores de aparición de objetos de colorimetría azul y rojo. En los estados q_0 y q_1 el manipulador tiene la tarea de monitorear el área delimitada por el giro de su eje horizontal, en un rango que depende de la ubicación de dos objetos de tono azul que se encuentran situados en una plataforma plana. Cuando el sistema se encuentra en q_0 permanecerá en su estado siempre y cuando no aparezca ningún objeto de color azul o rojo

S=00, cuando el sistema localiza un objeto azul S cambia de estado a S=10 produciendo un cambio de estado a q1 con lo cual el sentido de giro se invierte y el brazo se dirige en la dirección opuesta, S permanece en ese estado a menos que encuentre otro objeto. Cuando se encuentra con otro objeto de color azul S cambia S=00 cambiando al estado q0 y el sentido de giro nuevamente. En el caso de encontrar un objeto de tonos rojizos, no importa en qué estado se encuentre el sistema, este cambia a q2 y permanece en él.

El estado q2 permite la activación del control PI de ambos eslabones, permitiendo que el manipulador localice el objeto y por medio del movimiento de los eslabones la cámara enfoque el objeto en el centro de su sensor de visión.

B. LÓGICA DE CONTROL

El control del sistema se lleva a cabo mediante los estados del diagrama mostrado (figura 2), de tal manera que cuando este se encuentra en q0 y q1 se mueve en una trayectoria y cuando cambia a q2 pasa el control al sistema PI de enfoque del objeto.

Dados los estados del sistema las salidas de control para ambos ejes puede ser expresado de la siguiente manera:

$$C_x = \begin{cases} 1 & \text{si } q_0 \\ 4 & \text{si } q_1 \\ f(x, x_{ref}, Ti_x, kp_x) & \text{si } q_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$C_y = \begin{cases} 2.5 & \text{si } q_0 \text{ o } q_1 \\ f(y, y_{ref}, Ti_y, kp_y) & \text{si } q_2 \end{cases} \quad (2)$$

donde:

- C_x Control para el actuador de la base.
- C_y Control para el actuador superior.
- q_0, q_1, q_2 Estados del sistema.
- $f(x, x_{ref}, Ti_x, kp_x)$ PI para el actuador de la base.
- $f(y, y_{ref}, Ti_y, kp_y)$ PI para el actuador superior.

En la figura 3 se muestra el uso este control, en donde los cambios de estado dependen de la activación de detectores de objetos. Además, la salida está en función del estado en el que se encuentra el sistema y de dos sistemas PI para el control de movimiento y enfoque de la cámara por el manipulador robótico.

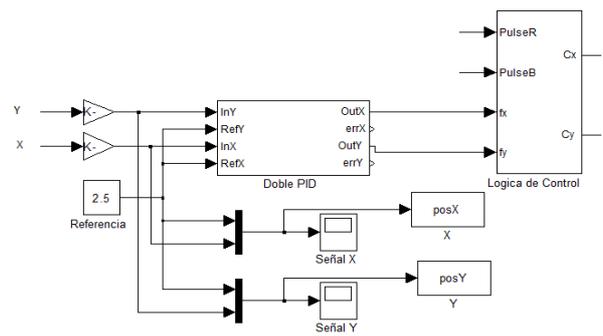


Figura 3. Lógica de Control del Sistema.

C. ACTUADOR

El cambio de giro de los motores de cada eslabón se lleva a cabo por medio de un sistema PWM de doble salida, en el cual excita un puente H, donde su rango de control va desde 0 a 5 para el cambio de su ciclo de trabajo a partir de la posición central (posición de equilibrio en 2.5).

Esta configuración permite el control de velocidad del motor variando desde 0 rpm, hasta su máximo en los dos sentidos de giro. Cuando el voltaje de control de este disminuye desde su posición central, el ciclo de trabajo del PWM1 se incrementa, mientras el PWM2 permanece apagado. Por el contrario, si el voltaje de control aumenta, el ciclo de trabajo del PWM2 aumenta mientras el PWM1 permanece apagado. La configuración utilizada para el control independiente de cada motor se muestra en la figura 4.

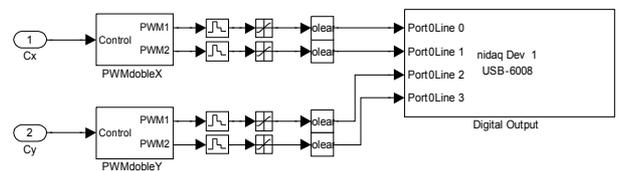


Figura 4. Configuración utilizada para el control independiente de los motores.

El funcionamiento del PWM de doble salida se muestra en la figura 5(a) y 5(b).

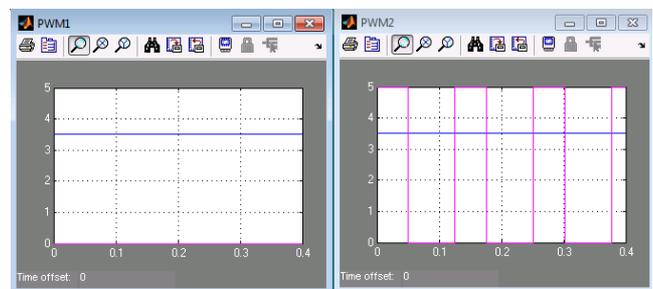


Figura 5 (a). Funcionamiento del PWM con doble salida para referencias de 3.5.

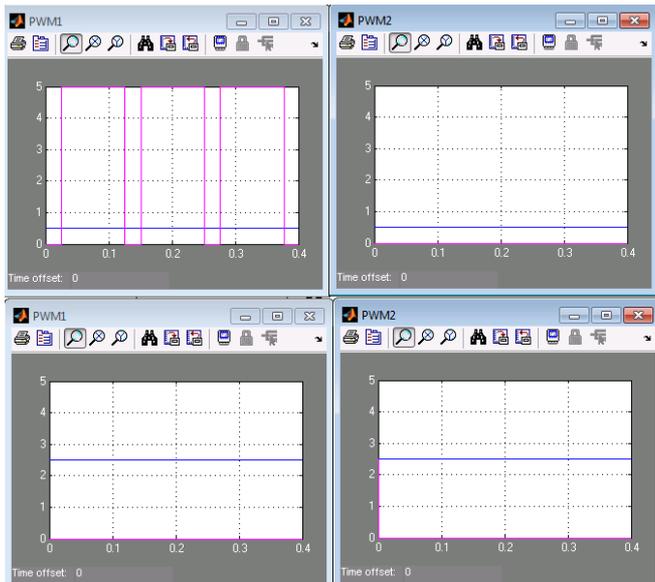


Figura 5 (b). Funcionamiento del PWM con doble salida para referencias de 0.5 y 0.

D. CONTROLADOR PI

En el sistema de visión se presentan cambios muy grandes en la variable del proceso cuando pasa de un estado a otro por la localización del objeto rojizo, si se eligiese un controlador proporcional para llevar el sistema al centro de la cámara, este lo lleva, sin embargo existe un error de estado estable en la respuesta. La aplicación de la acción integral permite la eliminación del error, ya que este aumenta en proporción con el aumento del área bajo la curva error-tiempo (Bolton, 2010).

Un controlador Proporcional Integral está definido como:

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i} \right) \quad (3)$$

donde $T_i = k_p / K_i$ y es la constante de tiempo integral.

Los controladores PI con respecto a los ejes X y Y fueron evaluados con valores $k_p=0.2$, $T_i=0.005$ y $k_p=0.2$, $T_i=0.001$ respectivamente, con el fin de producir una respuesta relativamente lenta y verificar el funcionamiento del estado q2 para el seguimiento del objeto rojizo. El bloque de estos controladores se muestra en la figura 6.

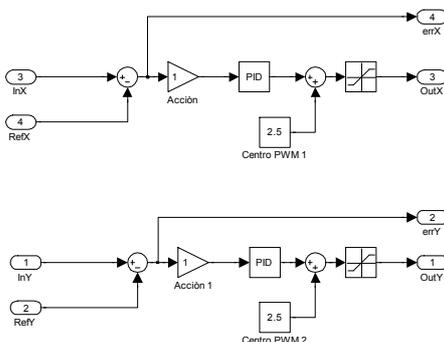


Figura 6. Bloque de controladores PI.

E. SISTEMA DE COORDENADAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE DE OBJETOS EN PANTALLA

Para la muestra de resultados del procesamiento de imagen y la localización de objetos, se configuró la cámara para captar la imagen con una resolución de 120x160 pixeles, región que fue adaptada como variable del proceso en el PI a una escala de 0 a 5 en ambos ejes. El sistema de coordenadas realizado se muestra en la siguiente figura.

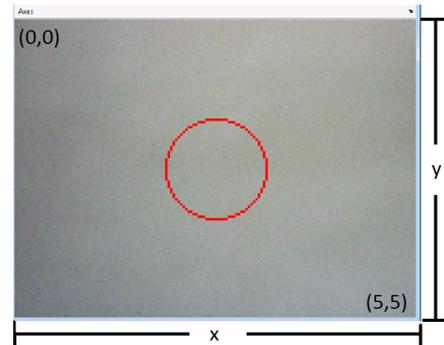


Figura 7. Sistema de coordenadas de ubicación de objetos en pantalla.

IV. PROCESAMIENTO DE IMAGEN PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS.

Uno de los problemas habituales en la ubicación de objetos, es la separación según su colorimetría, entre los modelos más utilizados con este fin se destacan el RGB y el HSV.

En el modelo RGB una imagen es representada por una combinación de colores primarios rojo, verde y azul, en la cual cada pixel de la imagen puede tener un rango entre 0 y 1, siendo el valor de mínima y máxima intensidad respectivamente. En la figura 8 se muestra como las tonalidades de cada color se generan en base a la combinación de estos tres componentes.

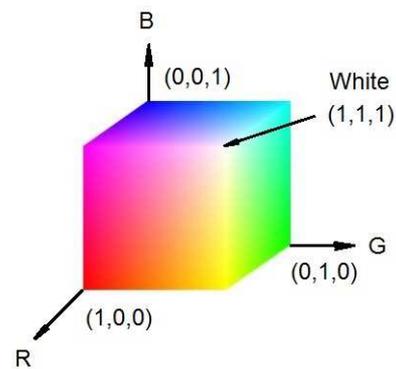


Figura 8. Espacio de Color RGB.

Una de las grandes desventajas de este modelo radica en encontrar el rango de las tres componentes que determinen un tono en particular debido a las similitudes entre estos (Russ, 2007).

En el modelo HSV una imagen es representada por 3 capas, "Matiz" (Hue), "Saturación" (Saturation) y "Valor" (Value). El "Matiz" es un atributo del color que describe un color puro

el cual tiene un rango de 0 a 360°, la “Saturación” es el grado con el cual un color difiere del gris neutro en un rango de 0 a 1 y el parámetro “Valor” describe el nivel de claridad u oscuridad del color también en un rango de 0 a 1 (Solomon, 2011). En la figura 9 se muestra la descripción grafica de este modelo.

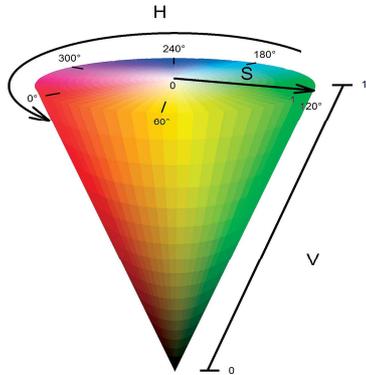


Figura 9. Espacio de color HSV.

Bajo el modelo HSV es mucho más sencillo separar los objetos por su colorimetría, ya que podemos definir rangos de interés en base a una capa de datos en comparación del modelo RGB.

A. SEGMENTACIÓN DE OBJETOS EN BASE A COLORIMETRÍA Y SUSTITUCIÓN POR TONALIDAD PURA.

En el sistema analizado se realizan dos métodos para el procesamiento de color, la primera etapa es de eliminación de colores innecesarios, en la cual solo se permitirá el paso de tonalidades rojizas y azules que se encuentren entre los 310° a 40° y 190° a 255° de la capa de Matiz en la imagen (figura 9), una segunda etapa consiste en sustituir las tonalidades ubicadas en estos rangos por un solo matiz, de manera que todos los matices contenidos en la imagen sean solo dos (Bloque Procesamiento de Color HSV, figura 10).

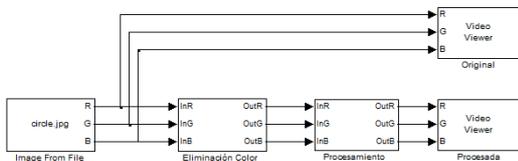


Figura 10. Diagrama a bloques del procesamiento de imagen en la plataforma SIMULINK.

A partir del procesamiento de imagen por estos bloques, la búsqueda de los objetos por el manipulador es más eficiente. En la figura 11 se muestra el resultado del procesamiento en el círculo cromático como prueba de la segmentación por colorimetría.

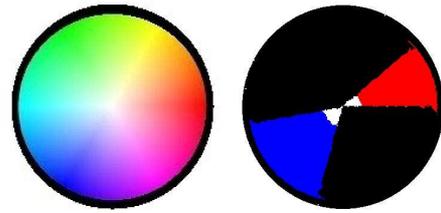


Figura 11. Eliminación por colorimetría y sustitución de matiz puro sobre el círculo cromático.

Aplicando los mismos bloques de procesamiento podemos ver lo que el sistema ve sobre y fuera de la plataforma de trabajo (figura 12).

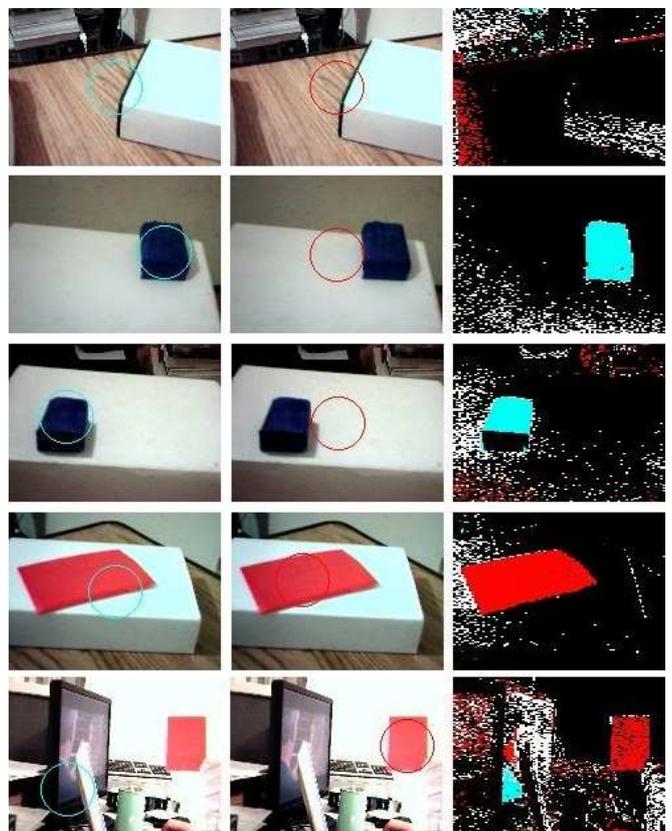


Figura 12. Pruebas del procesamiento HSV y ubicación de objetos por su colorimetría.

B. OPERADORES MORFOLÓGICOS PARA LA ELIMINACIÓN DE RUIDO

Los operadores morfológicos son de gran ayuda para la eliminación de ruido en el procesamiento de imagen, una vez que ha sido segmentado el objeto por colorimetría, quedan residuos de objetos adyacentes a los de interés. Cuando se trata de dar seguimiento a un objeto en movimiento, aparecen inconvenientes tales como el cambio de luminosidad en la percepción de los objetos creando ruido de fondo en la imagen. Si el análisis del objeto se basa en encontrar el centroide del área producida por este, el ruido incidente por el

movimiento del objeto lo modifica creando mediciones erráticas en la ubicación del objeto por la cámara, para este caso el ruido puede ser eliminado por los operadores de erosión y dilatación.

La erosión es una operación en la cual el resultado depende de la coincidencia de una figura de referencia con la imagen original, en la cual el resultado es 1 si hay coincidencia y 0 de lo contrario (figura 13).

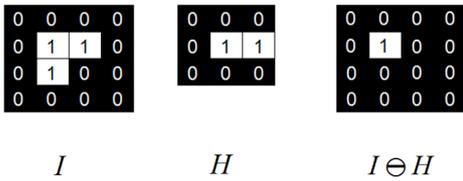


Fig. 13. Operador de Erosión.

La dilatación es una operación en la cual se añaden píxeles a la estructura de una imagen (Cuevas, et al., 2010), donde su crecimiento es controlado por medio de una estructura de referencia (figura 14).

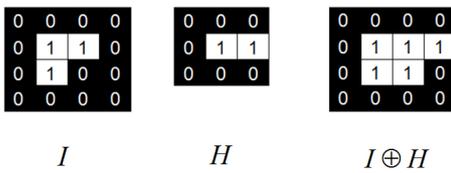


Fig. 14. Operador de Dilatación.

En esta aplicación se añade un operador de erosión con una estructura de referencia cuadrada 4x4, seguido por una estructura 10x10 para la dilatación en la eliminación del ruido incidente.

V. RESULTADOS

Al desarrollar el enlace entre el SIMULINK y el manipulador robótico por medio de la tarjeta NI-USB 6008 se obtiene como primer resultado la rutina de desplazamiento entre los límites provistos por dos objetos azules (figura 15). Así mismo se muestra en la figura 16 el producto del procesamiento en la detección de objetos por colorimetría.

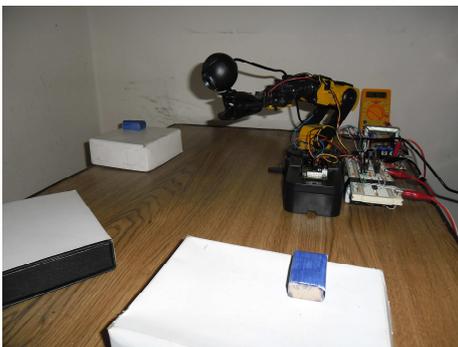


Figura 15. Manipulador Robótico trabajando entre los estados q0 y q1.

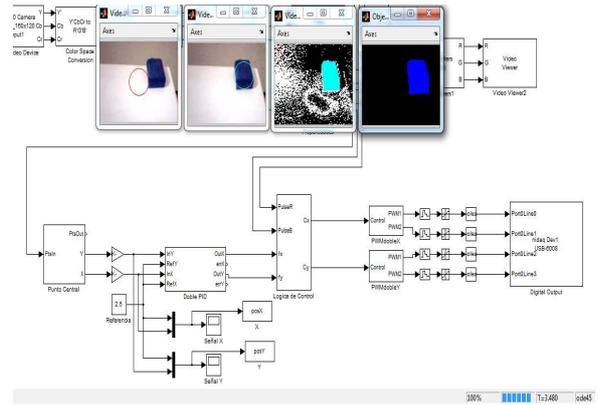


Figura 16. Procesamiento de Imagen durante los estados la rutina de desplazamiento.

En una siguiente prueba, el colocar un objeto de tonos rojizos produce que el sistema PI tome control para enfocar el objeto en la imagen provista por la cámara y permanece localizando y enfocando dicho objeto (figura 17 y figura 18).

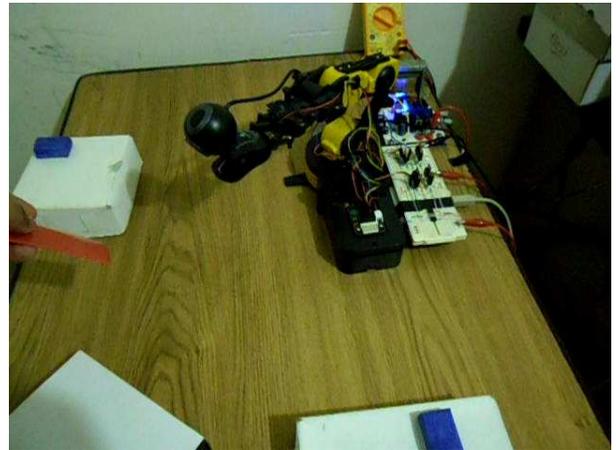


Figura 17. Manipulador Robótico suspendiendo su desplazamiento por la presencia de un objeto de tonos rojizos.

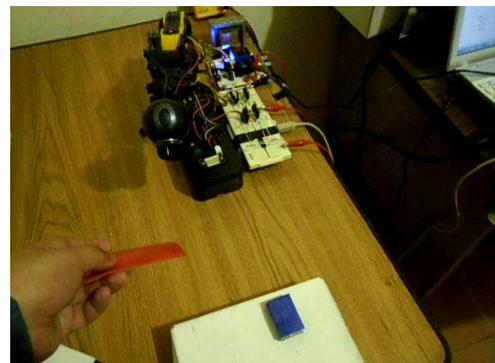


Figura 18. Manipulador robótico como seguidor de movimiento del objeto rojizo.

En la figura 19 se muestra el procesamiento en tiempo real en la localización y control para seguimiento del objeto rojizo.

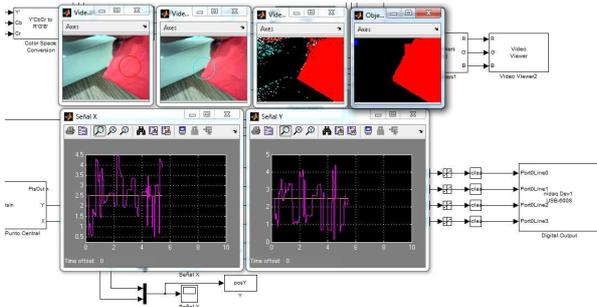


Figura 19. Procesamiento, localización y evolución en el sistema para el enfoque del objeto rojizo.

Como tercera prueba se realiza un cambio de referencia sobre el punto de la pantalla donde se desea enfocar el objeto pasando del punto (1.8, 1.8) a (2.5, 2.5) y mostrando el efecto del seguimiento del objeto en ambos ejes (figura 20 y figura 21).

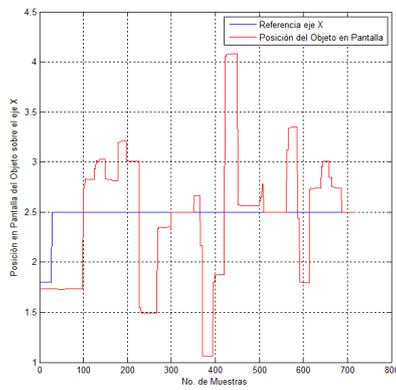


Figura 20. Seguimiento de la referencia en el eje X.

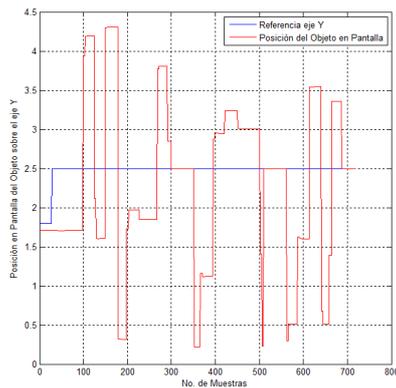


Figura 21. Seguimiento de la referencia en el eje Y.

VI. CONCLUSIONES

Tras la realización del sistema se aprecia la importancia del procesamiento digital de la señal para la ubicación de objetos por colorimetría, sin embargo en la localización y seguimiento de objetos en movimiento mínimo es recomendable el uso de servomotores para lograr una mejor respuesta.

A través del análisis de segmentación basado en colorimetría se encuentra una amplia ventaja en utilizar el modelo HSV contra el RGB, dado que en el modelo RGB la tonalidad de un conjunto de color está disperso entre sus tres capas, mientras el modelo HSV nos permite una distribución de tonalidades sobre una sola capa de información, por esta razón el análisis en RGB no es reportado, dada la baja eficiencia presentada.

REFERENCIAS

- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica – Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. Alfaomega, México.
- Cuevas, E., Zaldívar, D., Pérez, M. (2010). *Procesamiento Digital de Imágenes con MATLAB y Simulink*. Ra-Ma, México D.F., México.
- Obinata, G. and Dutta, A. (2007). *Vision Systems – Segmentation and Pattern Recognition*. I-TECH, Viena, Austria.
- Russ, J. (2007). *The Image Processing Handbook*. CRC Press, USA.
- Solomon, C. (2011). *Fundamentals of Digital Image Processing – A Practical Approach with Examples in Matlab*. WILEY-BLACKWELL, UK.