

Control de Marcha y Posición para un Vehículo Autónomo a través de Visión por Computador

Jorge Andrés García Marín, Francisco Javier Henao Marín, Luis Alfonso Gómez Trujillo.

Resumen— En este informe de proyecto se presenta un método para la localización y el control del desplazamiento, incluyendo la evasión de obstáculos, de un vehículo autónomo, basado en el procesamiento digital de imágenes capturadas en línea, por cámaras de video.

Para realizar las mediciones, tanto para la localización, como para la evasión de obstáculos, se utilizan diodos láser, los cuales proyectan puntos de luz desde el vehículo hacia el techo y hacia el obstáculo, que son capturados por cámaras de video, de las cuales se obtienen las imágenes que van a ser procesadas para realizar el rastreo y los cálculos empleando geometría proyectiva, con el fin de obtener la posición del móvil sobre una superficie plana y conocer la distancia que hay entre este y cada obstáculo que se interpone en su trayectoria.

El control del vehículo se efectúa mediante la implementación de un controlador difuso.

Como resultado de todo el desarrollo, el vehículo autónomo se desplaza hasta una meta dentro de un área de trabajo limitada, evadiendo los objetos que se encuentre en su trayectoria.

Índice de Terminos—Visión por computador, Rastreo de objetos en movimiento, Filtro Kalman, Geometría proyectiva, Controlador difuso.

I. INTRODUCCIÓN

La navegación autónoma es un área de la robótica que actualmente está siendo usada en aplicaciones tales como la exploración espacial, desactivación de bombas por parte de organismos de seguridad, exploración terrestre para elaboración de mapas y se está poniendo a prueba en labores domésticas. En el desarrollo de este proyecto se utiliza dicha tecnología enfocada hacia la utilización en bodegaje para el almacenamiento de materia prima, producto a mitad de proceso o producto terminado.

El presente documento muestra el proceso de desarrollo e implementación de varios métodos tecnológicos que se complementan entre sí para hacer de un vehículo de control remoto, un robot autónomo capaz de evadir los obstáculos que se presenten en su trayectoria hacia una meta dentro de un área limitada.

En la realización de este proyecto se han utilizado: un carro de control remoto tipo juguete que es el vehículo a controlar,

dos cámaras de video de uso doméstico y una cámara espía miniatura inalámbrica, con las cuales se capturan las imágenes donde se encuentra la información acerca de la posición del vehículo y la distancia entre los obstáculos y el robot, tarjetas digitalizadoras de video, dos arreglos láser que marcan la posición del vehículo y permiten medir la distancia a cada obstáculo, computador para el procesamiento de las imágenes y el procedimiento de control. La secuencia de funcionamiento de los anteriores dispositivos comienza con el posicionamiento de las dos cámaras fijas que son enfocadas hacia el techo, encima del área de trabajo de forma que entre ambas puedan abarcar dicha área totalmente, la cual ha sido delimitada con anterioridad. A continuación, se realiza la calibración de los láseres y la posición de la cámara inalámbrica previamente instalados en el frente del móvil. Cada cámara se conecta al computador utilizando una tarjeta digitalizadora; cuando las secuencias de imágenes están dentro del PC, se realiza el procesamiento de estas, se extrae la información necesaria y se generan las señales de control de direccionamiento del robot que finalmente permiten al móvil, alcanzar la meta deseada, evadiendo los obstáculos que encuentre en su trayectoria.

II. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE EMPLEADO

A. Vehículo

El vehículo sobre el que se efectuarán los controles de posición y desplazamiento está conformado por un carro de cuatro ruedas manejado a control remoto que a través de los mandos, se puede manipular un motor para el avance o retroceso del carro por uno de sus dos canales, y su dirección por el canal restante.

Al vehículo se le han añadido los elementos necesarios para obtener secuencias de video que van a ser transmitidas al PC que realizará las operaciones de control. Estos consisten básicamente en una cámara de video, dos emisores de luz láser ubicados en la parte frontal del carro, que emiten los haces paralelos al plano del suelo, un emisor láser que apunta perpendicular al techo del espacio cerrado en que se encuentra al robot, las baterías para alimentar el sistema, tarjeta-circuito para reducir velocidad al vehículo y tarjeta-circuito para la alimentación eléctrica de los emisores láser.

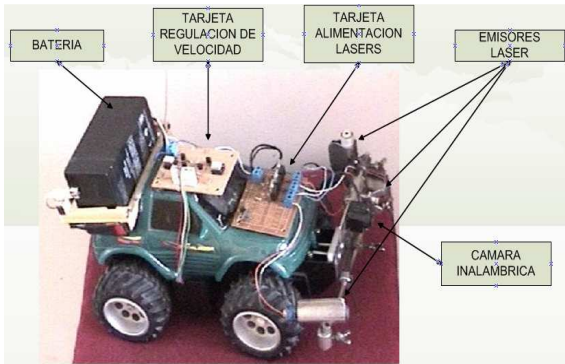


Fig. 1. Robot móvil implementado empleando un carro de juguete a control remoto.

B. Tarjeta de Regulación de Velocidad

Consiste de un puente de transistores NPN polarizados para trabajar en la zona activa cada uno y con las señales de entrada opto acopladas. La implementación de este hardware surge de la necesidad de reducirle velocidad al vehículo ya que la original era un impedimento para el control. Este hardware solo reduce la velocidad del motor de tracción.

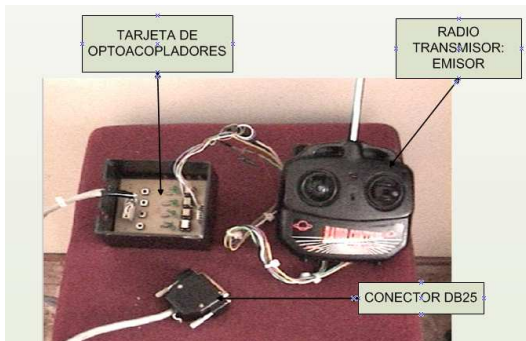


Fig. 2. Emisor del control remoto e interfase al puerto paralelo.

C. Tarjeta de Alimentación de Luces Láser

D. Tarjeta de optoacopladores

Tiene la función de aislar eléctricamente el puerto paralelo y el radio transmisor. También cuenta con un LED por cada línea de comunicación con el fin de visualizar la señal que sale

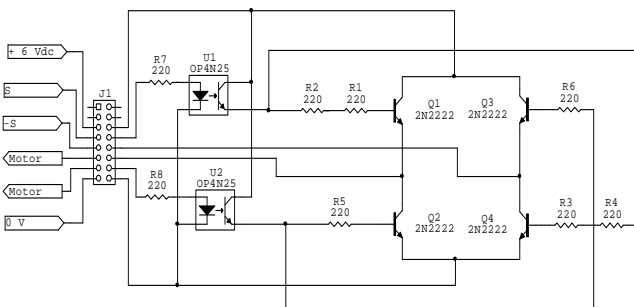


Fig. 3. Tarjeta de reducción de velocidad del vehículo.

por el puerto en cada instante. La variable de control es una palabra binaria de 4 bits, solo se están usando los pines 2, 3, 4 y 5 del puerto paralelo que corresponden a los bits de menor peso 0, 1, 2 y 3 respectivamente del registro de datos LPT1,

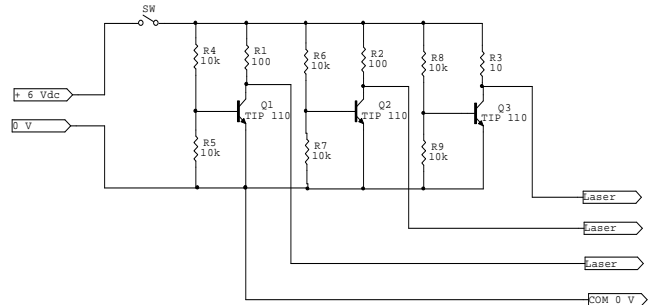


Fig. 4. Tarjeta limitadora de corriente para los diodos láser.

más una tierra del PC (pin 18) que sirve de común para excitar los opto acopladores.

E. Cámara de Video Fija

La adquisición de la información para obtener la posición del vehículo, se efectúa empleando una cámara fija en el suelo, de tal manera que su campo de visión cubra todo el techo del salón en el cual se va a movilizar el carro. La figura 6 muestra la cámara. Esta cámara es la encargada de detectar el láser que el móvil proyecta en el techo del salón, la posición en el plano del suelo en la que se encuentra el robot. La cámara empleada es SONY HANDYCAM VISION CCD-TRV37.

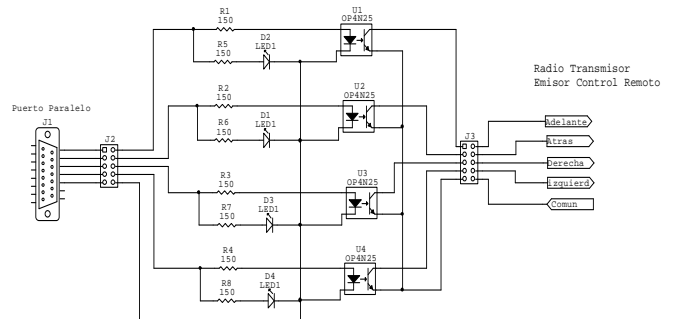


Fig. 5. Tarjeta de opto acopladores puerto paralelo – radio transmisor

F. Cámara de Video Móvil

La cámara móvil está ubicada en la parte frontal del vehículo con el fin de detectar la luz láser generada por los emisores que se encuentran a cada uno de los costados de la cámara y reflejada en los objetos que se pongan en frente del robot. Esta cámara cuenta con un transmisor de radiofrecuencia, del cual el receptor está integrado a la cámara y el transmisor está instalado al PC a través de una de las tarjetas digitalizadoras.

G. Tarjetas Digitalizadoras

- Conexant Fusion
- Studio TV Terminador

H. Comunicaciones

La cámara fija se ha conectado a la tarjeta digitalizadora, mediante cables tipo TV/VCR de 7 m de longitud; sólo se han conectado las señales de video, ya que el audio no es de interés



Fig. 6. Cámara de video encargada de la posición del robot y su ubicación en el salón para el sistema.

La cámara móvil está conectada a la tarjeta digitalizadora a través de su emisor y receptor de radiofrecuencia que posee las siguientes características:

- Frecuencia de transmisión: 1.2 GHz
- Relación señal a ruido: > 48 dB
- Rango de transmisión inalámbrica: 150 m

Las comunicaciones entre el controlador y el vehículo, se realizan a través del emisor del control remoto por radiofrecuencia (27 MHz) de dos canales con señales binarias y el receptor originales del carro de juguete; el emisor ha sido conectado al puerto paralelo LPT1 del PC utilizado como controlador.

I. Controlador

Para realizar las etapas de procesamiento de imágenes y

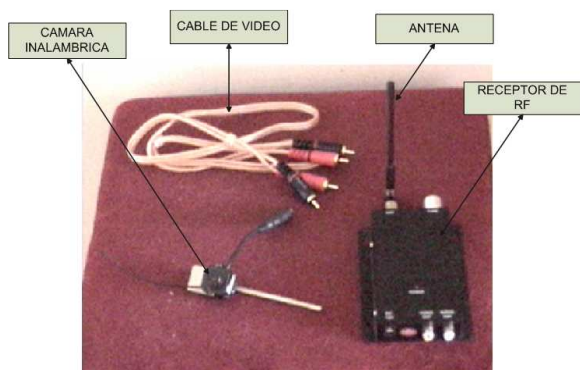


Fig. 7. Kit de cámara inalámbrica

control del vehículo, se utilizó un PC con las siguientes características:

- Procesador PENTIUM IV de 3 GHz de frecuencia
- Memoria RAM 1.5 GB

- Sistema Operativo: Windows XP Professional-Service Pack 2
- Ambiente de desarrollo: MATLAB

III. IMPLEMENTACIÓN

A. Adecuación de las Señales de Video

Las secuencias de imágenes que entregan las cámaras son analógicas en formato NTSC; que luego de ser digitalizadas se obtienen a una frecuencia nominal de 10 fps; pero que debido a las demás operaciones que realiza todo el programa de control, resulta ser de 2.5 fps aproximadamente. Ambas tarjetas digitalizadoras entregan al computador secuencias de imágenes tipo Video Composite. La tarjeta digitalizadora 1 entrega cuadros de 320X240 píxeles en formato RGB de 24 bits, mientras la tarjeta digitalizadora 2 entrega cuadros de 768X576 píxeles en formato RGB de 24 bits; cada una de estas entradas, se transforma al espacio HSV, debido a que la componente V permite distinguir con mayor facilidad la intensidad de la luz del láser con respecto a las otras fuentes de luz.

B. Detección de la Luz Láser

La detección de la luz láser que representa en el techo la posición que el vehículo ocupa en el piso a cada instante y la reflejada por los objetos que obstaculizan el desplazamiento frontal del móvil, se hace mediante segmentación por umbralización; comparando el valor de intensidad de la imagen en niveles de gris de la componente V del espacio de color HSV con un umbral constante que se configura empíricamente de acuerdo a las condiciones de iluminación. Como resultado se obtienen imágenes en blanco y negro, cuyas regiones blancas, llamadas blobs, representan objetos que probablemente corresponden al láser, a las cuales se les aplica la operación morfológica de dilatación, empleando como elemento estructurante un disco de 2 píxeles de diámetro; el cual puede ser posteriormente identificado con certeza mediante la extracción de características discriminantes que lo diferencien de los demás objetos segmentados; y en el caso del láser que representa la posición del vehículo, también su rastreo a través de la secuencia de video.

Para que la luz del láser pudiera ser detectada cuando éste se encuentra a una distancia considerable de las cámaras fue necesario modificar el lente de salida del emisor del diodo láser, para que el haz de luz tuviera un diámetro mayor.

C. Extracción de Características

A partir de cada imagen en blanco y negro, que se obtiene del proceso de segmentación y la operación morfológica de dilatación, se toman como objetos, solo aquellos que tengan un área de píxeles que esté dentro de los límites correspondientes a los que puede tomar el láser después de segmentado.

La característica que se está extrayendo es la caja limitante

de cada objeto segmentado, de la cual solo se tienen en cuenta para el procesamiento la esquina superior izquierda y la esquina inferior derecha de la caja limitante con el fin de reducir el tiempo de ejecución del programa. En ésta etapa se está considerando un número limitado de 5 objetos detectados en la segmentación para seleccionar entre ellos cual es que corresponde al láser.

D. Rastreo de la Luz Láser Proyectada

Para la cámara fija, el rastreo de la luz láser proyectada en el techo, se realiza por medio de la implementación de un *filtro Kalman discreto* (cuyas siglas en inglés son *DKF*), que permitirá predecir la ubicación de las características que están siendo rastreadas en el cuadro siguiente del video; que en este caso corresponden a la esquina superior derecha y a la esquina inferior izquierda de la caja limitante del objeto segmentado que representa la luz láser. Una vez realizada la adquisición del siguiente cuadro en la secuencia de video, el *filtro Kalman discreto* realiza una operación de actualización de los valores predichos, corrigiéndolos con los valores medidos.

E. Obtención de la Posición del Robot

La posición del láser en el techo corresponde a la proyección vertical de la posición del robot en el piso. Como la posición del láser es obtenida a través de una cámara fija ubicada en posición para cubrir toda el área del techo sobre la cual se va a desplazar el láser; es necesario transformar los vectores que representan la posición del láser en el plano de imagen de la cámara, a un vector que se encuentre en un sistema de referencia común. Esta operación se realiza empleando una técnica de geometría proyectiva denominada *Homografía*; la aplicabilidad de esta técnica en este sistema radica en que todos los puntos del techo se encuentran sobre un mismo plano, y se emplea para determinar la correspondencia entre cada punto obtenido con un mapa del techo.

El filtro Kalman discreto implementado está descrito por los siguientes valores:

Matriz de estados:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Covarianza inicial de los estados:

$$10$$

Covarianza de ruido en los estados:

0.05

Matriz de mediciones:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

F. Calibración de la Cámara Fija

La calibración de la cámara, se realiza manualmente señalando con el puntero controlado por el ratón del PC, cuatro puntos que en el techo se encuentran señalados con cinta negra. La matriz de homografía depende directamente de la posición de la cámara fija, por ende cada que se mueve dicha cámara es necesario calibrar de nuevo el sistema y dicha calibración consiste en el cálculo de una nueva matriz de homografía. Esta matriz se emplea para realizar la transformación de cada posición del láser detectada por la cámara, en una posición del sistema de coordenadas correspondiente al mapa del salón.

G. Detección de Obstáculos con la Cámara Móvil

La detección de obstáculos se realiza a partir de las imágenes obtenidas con la cámara inalámbrica (cámara 2), las cuales son procesadas y filtradas para tener en cada cuadro las coordenadas en píxeles del centroide del blob correspondiente a cada haz de luz láser reflejado en el obstáculo. A partir de los cálculos geométricos y la normalización del resultado se obtiene una relación no lineal de la distancia al obstáculo. En este proceso no se tiene en cuenta la inclinación del obstáculo.

H. Mediciones y Cálculo de Variables

Posiciones X y Y del Vehículo:

A partir de las coordenadas x, y de la posición del vehículo dentro del plano, arrojadas por la geometría proyectiva, se calculan las variables que permiten el control de movimiento del vehículo.

Ángulo del Vehículo:

El ángulo del vehículo se refiere a la dirección que tiene el móvil cuando se encuentra dentro del área de trabajo. Este ángulo se conoce mediante trigonometría, utilizando las coordenadas bidimensionales (x,y) actuales del móvil y las anteriores, las cuales se obtienen almacenando cada posición actual en un registro de memoria y leyéndolo en el estado siguiente, ambas coordenadas, las actuales y las anteriores, se aplican a la ecuación (12.1).

$$\theta = a \tan \left(\frac{y_{act} - y_{ant}}{x_{act} - x_{ant}} \right) \tag{12.1}$$

Ángulo a la Meta:

El ángulo a la meta se refiere al ángulo diferencia que existe entre el ángulo del vehículo y el ángulo que hay, en todo instante, a la meta con respecto a la posición actual del móvil. Para el cálculo de este se utilizan las posiciones bidimensionales del vehículo y las de la meta, aplicadas a la ecuación (12.1), el ángulo resultante se resta del ángulo del vehículo para obtener el ángulo a la meta. El ángulo a la meta es normalizado entre -180 y 180, correspondiendo el rango entre -180 hasta 0 a todas las posiciones de la meta localizadas a la izquierda del móvil y el rango entra 0 hasta 180 a todas las posiciones de la meta localizadas a la derecha del móvil.

Distancia al Obstáculo:

Esta variable, como su nombre lo indica, se refiere a la distancia medida del móvil a cualquier obstáculo que se encuentre de frente, con el fin de evadirlo. La detección de obstáculos se realiza a partir de las imágenes obtenidas con la cámara móvil, las cuales son procesadas y filtradas para tener en cada cuadro las coordenadas en píxeles del centroide del blob correspondiente a cada haz de luz láser reflejado en el obstáculo. A partir de los cálculos geométricos y la normalización del resultado se obtiene una proporción no lineal de la distancia al obstáculo. En este proceso no se tiene en cuenta la inclinación del obstáculo.

I. Control del Vehículo

La evasión de obstáculos y el control de movimiento se realizan mediante un controlador construido empleando lógica difusa, el cual fue seleccionado por su facilidad de implementación, y mas aún, porque con este método de control se logran integrar los dos lazos de control que se tienen en este sistema, que son: el control de detección y evasión de obstáculos, y el control de posición del móvil; el controlador utiliza el método de inferencia difusa Sugeno, debido a que la variable de control para este caso no es difusa, sino que es un grupo de valores constantes. Las variables de entrada al controlador tienen un bajo grado de difusividad, es decir que son poco ambiguas.

Las entradas del controlador difuso son las siguientes:

- Angulo del vehículo (AngVeh).
- Angulo a la meta.
- Distancia a la meta.
- Valor de la componente x del vehículo (PVX).
- Valor de la componente y del vehículo (PVY).
- Distancia al obstáculo.

La salida del controlador difuso puede tomar uno de los siguientes valores, que representa el estado en que se encuentra cada uno de los dos motores (dirección y desplazamiento) que permite el movimiento del vehículo:

- 0: Detenido
- 1: Adelante
- 2: Atrás
- 5: Adelante izquierda
- 6: Adelante derecha
- 9: Atrás izquierda

10: Atrás derecha

Para la implementación de este controlador se utiliza el Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB.

IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

A. Medición de la Posición del Vehículo

Para evaluar la medición de posición del vehículo, mediante geometría proyectiva, se tomaron 10 puntos, aleatoriamente, de posiciones del vehículo dentro del área de trabajo reflejadas por el láser en el techo; después de multiplicar el vector que representa cada una de dichas posiciones por la matriz de homografía correspondiente a la cámara y transformar ese valor a centímetros, se realiza la comparación con el valor medido empleando una cinta métrica; y así obtener el error en centímetros para cada punto en cada eje. Los datos se

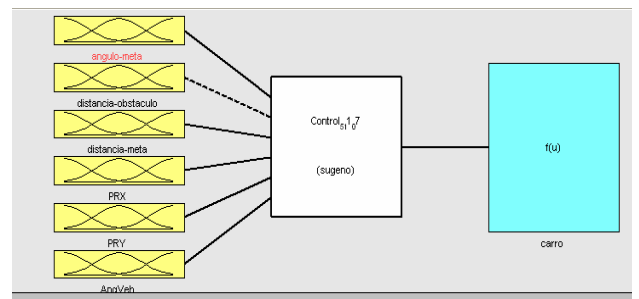


Fig. 8. Controlador Difuso

muestran en la *Tabla 1*:

1. If (distancia-meta is cerca) then (carro is detenido) (1)
 2. If (angulo-meta is frente) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmedio) and (PRY is Ymedio) then (carro is adelante-iz) (1)
 3. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmedio) and (PRY is Ymedio) then (carro is adelante-iz) (1)
 4. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xminimo) and (AngVeh is C2) then (carro is atras-iz) (1)
 5. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xminimo) and (AngVeh is C2) then (carro is atras-der) (1)
 6. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xminimo) and (AngVeh is C3) then (carro is atras-iz) (1)
 7. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xminimo) and (AngVeh is C3) then (carro is atras-der) (1)
 8. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Yminimo) and (AngVeh is C3) then (carro is atras-iz) (1)
 9. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Yminimo) and (AngVeh is C3) then (carro is atras-der) (1)
 10. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Yminimo) and (AngVeh is C4) then (carro is atras-iz) (1)
 11. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Yminimo) and (AngVeh is C4) then (carro is atras-der) (1)
 12. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmedio) and (PRY is Ymedio) then (carro is adelante-der) (1)
 13. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmaximo) and (AngVeh is C4) then (carro is atras-der) (1)
 14. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmaximo) and (AngVeh is C4) then (carro is atras-iz) (1)
 15. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmaximo) and (AngVeh is C1) then (carro is atras-iz) (1)
 16. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRX is Xmaximo) and (AngVeh is C1) then (carro is atras-der) (1)
 17. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Ymaximo) and (AngVeh is C1) then (carro is atras-iz) (1)
 18. If (angulo-meta is izquierda) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Ymaximo) and (AngVeh is C1) then (carro is atras-der) (1)
 19. If (angulo-meta is derecha) and (distancia-meta is lejos) and (PRY is Ymaximo) and (AngVeh is C2) then (carro is atras-iz) (1)

angulo-meta is	distancia-obstaculo is	distancia-meta is	PRX is	PRY is
izquierda	muycerca	cerca	Xminimo	Yminimo
frente	cerca	lejos	Xmedio	Ymedio
derecha	lejos	none	Xmaximo	Ymaximo
none	none	none	none	none

Fig. 9. Reglas del Controlador Difuso

El mayor error encontrado para esta muestra de 10 puntos fue de 7.73 centímetros.

B. Rastreo de la Posición, mediante el Filtro Kalman Discreto

Con una secuencia de imágenes adquirida por medio de la cámara fija, se obtuvieron las mediciones y estimaciones que se ven en la *figura 10*, empleando el filtro Kalman discreto implementado. La evaluación del rastreo se hace mediante el

cálculo del error del filtro Kalman discreto, a partir de la diferencia entre las estimaciones y las mediciones de cada posición horizontal y vertical de los valores de las características rastreadas en cada cuadro.

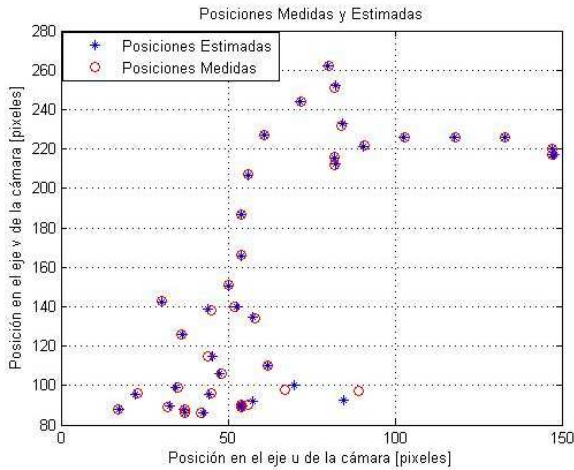


Fig. 10. Rastreo mediante Filtro Kalman Discreto

Las gráficas 11 y 12 muestran que el error máximo entre estimación y medición para cada eje nunca supera los 5 cm.

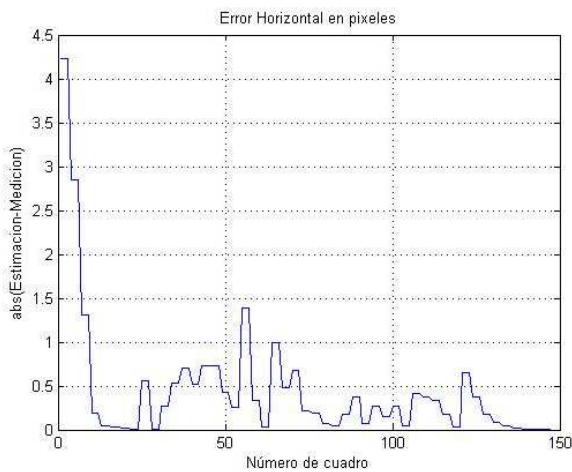


Fig. 11. Error de la componente horizontal en el rastreo

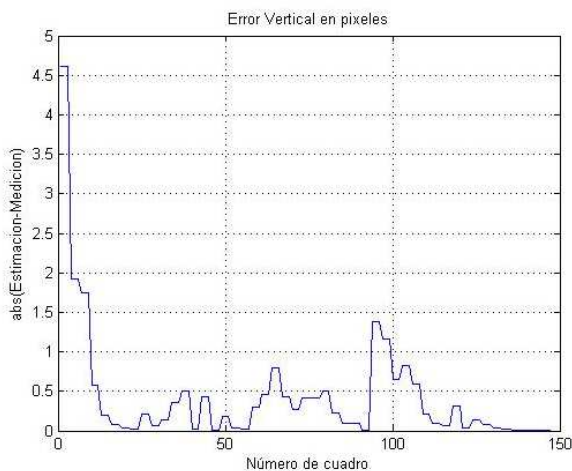


Fig. 12. Error de la componente vertical en el rastreo

C. Medición de la Distancia al Obstáculo

Al tomar 25 muestras de la detección cada una con su correspondiente medida real en centímetros, tomada con una cinta métrica. Los datos empiezan en la mínima distancia que lee el sistema. Se obtuvieron los datos que se muestran en la figura 13

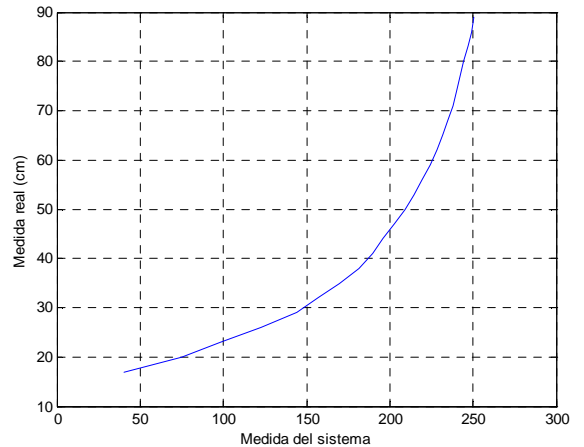


Fig. 13. Evaluación de la Detección de Obstáculos

La gráfica dice que la lectura de la detección de obstáculos no es lineal y la causa es la deformación introducida por el lente de la cámara móvil empleada para hacer la medición. Pero para el caso de este sistema, esta no linealidad no es inconveniente, ya que para que el controlador tome la decisión de evadir un obstáculo solo requiere una señal on-off que le diga al sistema si el móvil tiene un objeto en frente o no, es decir que el sistema siempre va a detectar un obstáculo cuando el móvil lo tenga de frente y dentro de un rango de lectura determinado en la función de pertenencia de la variable distancia al obstáculo.

D. Mediciones de las variables del sistema obtenidas durante su funcionamiento

Las figuras 14 y 15 muestran las posiciones del vehículo para cada una de sus componentes a lo largo de los cuadros que conforman la secuencia de video procesado, en ellas se destacan los movimientos de retroceso del vehículo al llegar a los límites del área de trabajo, entre los cuadros 5 y 10 para el límite x mínimo, y entre los cuadros 30 y 35 para el mismo límite. En el cuadro 47 el móvil llega a la meta.

La figura 16 muestra el ángulo del vehículo con respecto al eje x, a partir del cual se calcula el ángulo a la meta figura 17; se observa que el vehículo llega a la meta, con un ángulo entre 40 y 50 grados.

La figura 18 muestra la distancia a la meta, se aprecia que ella disminuye, y el vehículo se detiene a unos 20 cm de la meta, que está dentro del rango establecido.

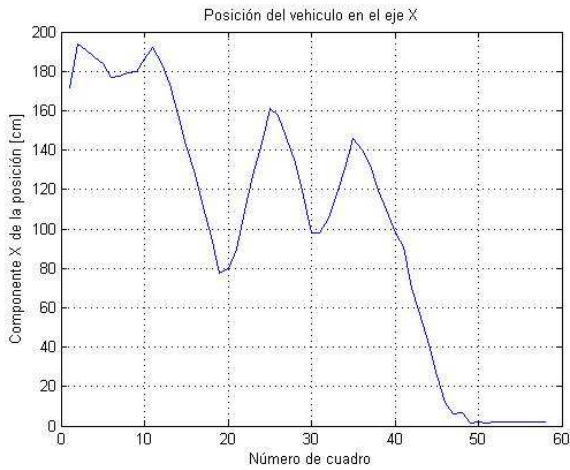


Fig. 14. Posición del vehículo en el eje X

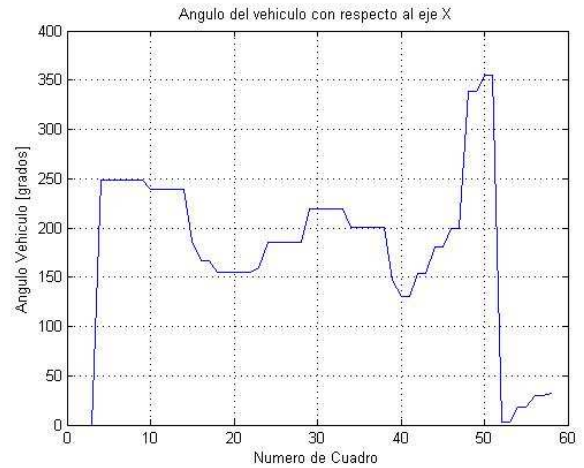


Fig. 16. Ángulo del vehículo con respecto al eje X

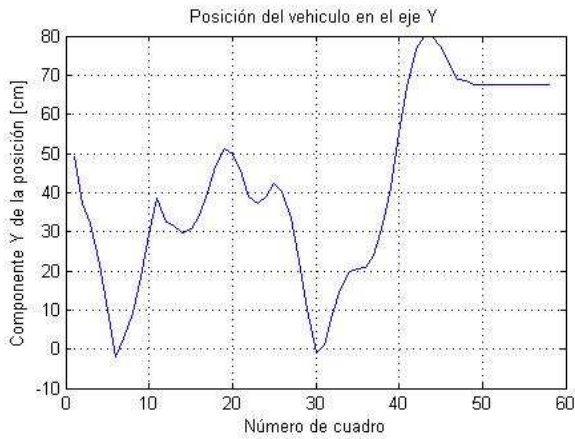


Fig. 15. Posición del vehículo en el eje Y

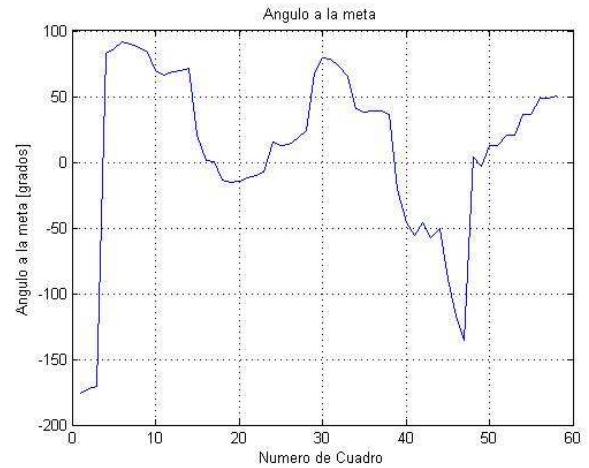


Fig. 17. Ángulo del vehículo con respecto a la meta

La figura 19 muestra la distancia al obstáculo, la cual se detecta en el rango de cerca, en el cuadro 20, y hace que la orden de control sea de retroceso, según se observa en las imágenes de posiciones y ángulos del vehículo, A, B, C y D.

Las ordenes dadas a través del puerto por el controlador difuso, se observan en la figura 20.

La figura 21 muestra toda la trayectoria seguida por el vehículo, evitando salirse de los límites del área de trabajo, retrocediendo al detectar el obstáculo, y rodeándolo para llegar a la meta.

V. CONCLUSIONES

La utilización de la componente de brillo (V) en el espacio de color HSV, presentó un mejor desempeño en la etapa de segmentación mediante la comparación con un umbral, que la utilización de los tres componentes del espacio de color RGB; disminuyendo la sensibilidad del sistema al ruido principalmente causado por la iluminación de las lámparas que operan a una frecuencia de 60 Hz y los cambios en la iluminación ambiente. Esto debido a que se está segmentando

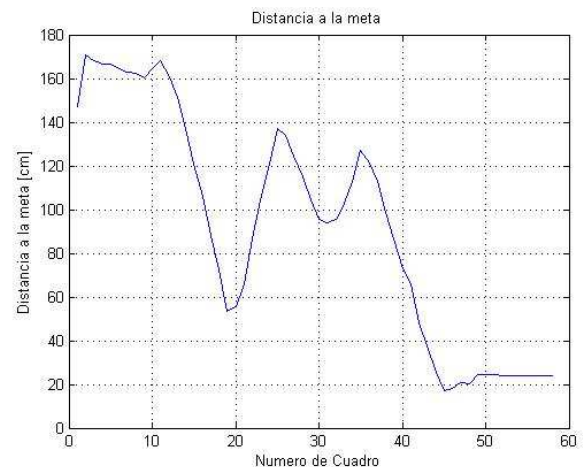


Fig. 18. Distancia del vehículo a la meta

un haz de luz láser que concentra una componente de brillo mayor muchas otras fuentes de iluminación que se encuentran en el ambiente.

El filtro Kalman discreto empleado para realizar el rastreo de la luz láser reflejada en el techo, que representa la posición

del vehículo en cada instante de tiempo, elimina eficientemente el ruido introducido en el sistema por los cambios en la iluminación; principalmente los que se dan como consecuencia de la frecuencia de operación de las lámparas eléctricas.

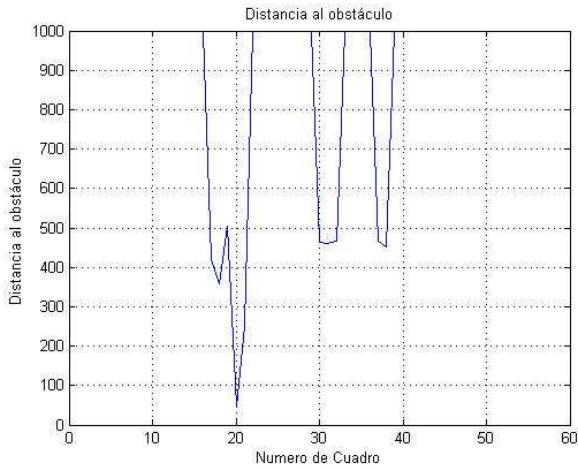


Fig. 19. Distancia del vehículo al obstáculo

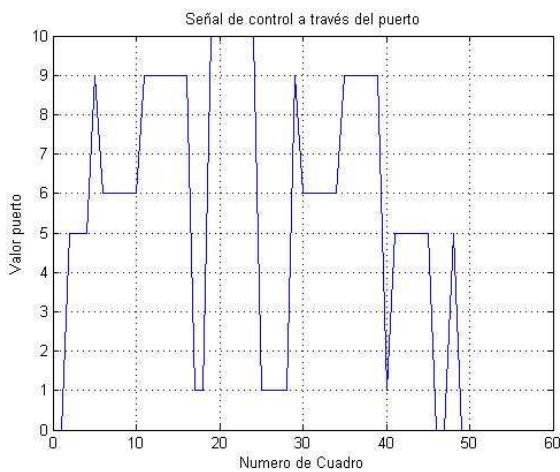


Fig. 20. Señal de control

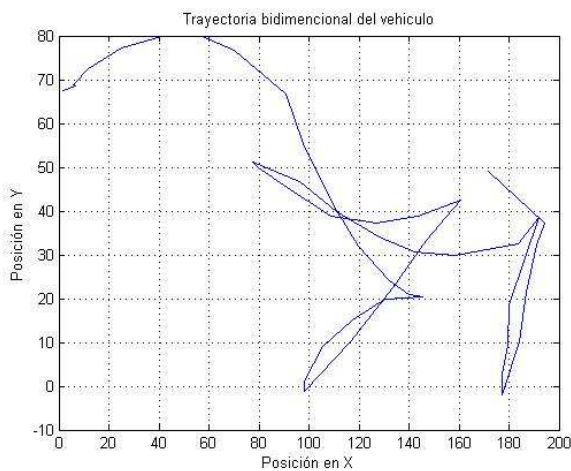


Fig. 21. Trayectoria del vehículo

El sistema de localización del vehículo, basado en el método de geometría proyectiva mediante la homografía, permitió realizar mediciones con un error aceptable, menor a 8 cm en las posiciones que tenía el vehículo en cada momento.

El método de detección de obstáculos implementado, es poco costoso computacionalmente, y es adecuado para ambientes en los que las condiciones de iluminación o las características de la cámara, no permiten un alto contraste como lo requieren métodos basados en técnicas como la del flujo óptico. Pero tiene el inconveniente de estar condicionado a que el móvil debe encontrarse el obstáculo de frente para que el láser se refleje en él y la imagen alcance a captar este reflejo para poder procesar el blob. En situaciones cuando el móvil está girando hacia delante y tiene un obstáculo en su trayectoria es muy probable que el sistema no detecte el obstáculo y lo estrellé.

La gran cantidad de componentes del sistema genera que su frecuencia de trabajo sea variable y menor a la frecuencia a la que se realizan las mediciones, es decir, la frecuencia de muestreo de las tarjetas digitalizadoras; por lo cual fue necesario implementar la tarjeta-circuito de regulación de voltaje para hacer que el movimiento del vehículo tuviera una velocidad a la cual se pudieran realizar las mediciones que debían ser ingresadas a las etapas de detección y evasión de obstáculos.

La utilización del controlador basado en lógica difusa es apropiado para esta aplicación, porque en base a la experiencia y al conocimiento sobre la misma, se pueden deducir reglas para que este genere salidas apropiadas, de acuerdo a los valores que presentan las entradas, dentro de rangos establecidos, para producir un comportamiento determinado.

La mayoría de variables de entrada al controlador difuso en este caso tienen dos niveles de fusificación, lo que indica que tales variables hubieran podido ser controladas mediante un controlador on-off; pero se optó por este tipo de control de manera que el sistema pudiera ser fácilmente adaptado a otro tipo de vehículos, gracias a la facilidad de implementación que la herramienta de MATLAB para controlar los dos lazos presentes en este sistema que son el de posición y el de evasión de obstáculos.

Debido a que el controlador difuso tiene que ejecutar un proceso de fusificación de las variables y otro de defusificación, este control y la aplicación que se le está dando genera mayor costo computacional en recursos de memoria pero el sistema es más “amigable” al usuario por la naturaleza de las variables lingüísticas y ofrece la opción de fácil reprogramación en caso de futuras mejoras.

En algún momento se planteó la posibilidad de cambiar de vehículo a uno que fuera más adecuado para la aplicación, es decir, un vehículo con menos limitaciones mecánicas como un

radio de giro menor o uno tipo oruga que girara sobre su propio eje. Pero se decidió continuar con el móvil que se contaba y se logró controlar de buena forma su trayectoria.

VI. RECOMENDACIONES

Para hacer el sistema menos susceptible a cambios de iluminación, sería recomendable realizar un proceso de segmentación con un umbral adaptativo, o realizando un modelado de los cambios de iluminación propios del ambiente específico en que se va a utilizar el sistema.

Para mejorar la velocidad de respuesta del sistema es necesario realizar la implementación del mismo, adaptándolo a hardware que permita su funcionamiento no solo en línea, sino en tiempo real.

Teniendo en cuenta que el sistema es flexible a abarcar mayores áreas de trabajo, tan sólo aumentando el número de cámaras y realizando los ajustes de software necesarios, dependiendo de las condiciones del espacio en que va a operar, y su aplicación, es recomendable el uso de cámaras con un gran campo de vista, para disminuir su número y cubrir un espacio mayor, aunque este tipo de cámaras pueden requerir la implementación de algoritmos de corrección de las deformaciones que producen este tipo de lentes, para poder dar una medición con un error aceptable.

El vehículo es susceptible a mejoras mecánicas; uno tipo oruga, con mas libertad en sus movimientos se adaptaría muy bien al sistema y mejoraría la eficiencia de este reduciendo los tiempos de desplazamiento desde el punto inicial hasta la meta y llegando a esta con mayor precisión.

Implementando un control de velocidad, el sistema ganaría en precisión y facilitaría su control.

REFERENCIAS

- [1] *Visión por Computador* División Ingeniería de Sistemas y Automática, Grupo de Tecnología Industrial, Universidad Miguel Hernández.
- [2] *Visión por Computador (VXC)*, Departamento de Informática, Sistemas y Computadores (DISCA), Grupo de Visión por Computador, Universidad Politécnica de Valencia.
- [3] L.A. Gómez, Obtención de la Trayectoria de Múltiples Personas en Movimiento Empleando una Cámara Fija, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales – Colombia, 2005.
- [4] L.M. Bergasa, *Seguimiento de Imágenes*, Universidad de Alcalá.
- [5] H.I. Christensen, J.A. Rosado dos Santos, C.J. Ferreira, *Vision Based Station Keeping and Docking for Floating Robots*. Tesis de Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Universidad Técnica de Lisboa, Portugal, 2001.
- [6] M. Domingo, *Visión por Computador*, Departamento de Ciencia y Computación, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2004.
- [7] N.A. Gonzales, *Sistema de Visión por Computadora para la Medición de Distancia e Inclinación de Obstáculos para robots Móviles*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2005.
- [8] G. P. Zavlangas, S.G. Tzafestas, K. Althofer, *Intelligent Robotics ans Automation Laboratory, Department of Electrical and Computer*

Engineering, Nacional Technical University of Athens Zografou, Athens, Greece.

- [9] M. Sugeno, *Industrial Applications of Fuzzy Control*, North Holland, 1985.
- [10] M. Kvasnica, *Head Joystick and Interactive Positioning for the Wheelchair*, Proc. 1st International Conference on Smart Homes and Health Telematics, Paris, 2003.
- [11] M. Kvasnica, *Six DOF Sensory System for Interactive Position and Motion Control in Rehabilitation Robotics*, Proc. 8th International Conference on Rehabilitation Robotics, Dajeon , Korea, 2003.