

# Diseño de un sistema de desarrollo para la emulación de tráfico en una intersección vial con vehículos autónomos

***Andrés Ferreyra Ramírez***

U.A.M.-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, C.P. 02200, Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5318-9546

Ext. 1007

*fra@correo.azc.uam.mx*

***Arturo Zúñiga López***

U.A.M.-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, C.P. 02200, Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5318-9546

Ext. 1007

*azl@correo.azc.uam.mx*

***Roberto A. Alcántara Ramírez***

U.A.M.-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, C.P. 02200, Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5318-9546

Ext. 1000

*raar@correo.azc.uam.mx*

## Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo e implementación de un sistema para la emulación de tráfico en una intersección a partir de vehículos autónomos. Se desarrollan e implementan los protocolos de comunicación a través de los cuales los vehículos autónomos pueden transitar en una intersección de forma ordenada y sin colisiones. Emulando cadenas de vehículos mediante un grupo de robots móviles, los autores demuestran la factibilidad de las diferentes maniobras que se pueden realizar, utilizando diferentes estrategias de coordinación distribuidas que van desde ninguna

comunicación, a los intercambios unidireccionales o bidireccionales entre los vehículos, y la toma de decisiones totalmente centralizada del vehículo líder.

**Palabra(s) Clave(s):** intersección vial, pelotón, robot mOway, vehículos autónomos.

## **1. Introducción**

Imagina una ciudad en la que circulen vehículos autónomos que recorran las avenidas a 90 km/hr en horas pico, operando en su totalidad sin la guía de un humano, evitando obstáculos y respetando las leyes de tránsito; vehículos que determinen la ruta más corta para llegar a su destino ahorrando tiempo y combustible, interactúen con la infraestructura del camino para determinar las condiciones de tráfico, respeten la distancia mínima entre vehículos, soliciten y cedan el paso, intercambien información. Este sueño comenzó en 2007 con el DARPA Urban Challenge que se llevó a cabo en la base George de la Fuerza Aérea en Victorville, California [1]; en donde se construyeron y presentaron vehículos autónomos capaces de conducir en el tráfico, realizando maniobras complejas. Fue un evento, en donde por primera vez, los vehículos autónomos interactuaron con el tráfico de vehículos tanto tripulados como no tripulados en un entorno urbano [2].

La conducción autónoma está progresando rápidamente y es probable que se convierta en el centro del transporte urbano en el futuro, pero ¿Qué tan apropiada será la infraestructura de tráfico para los vehículos autónomos?. Actualmente las intersecciones viales están controladas por semáforos que fueron diseñados para gestionar el tráfico y aumentar la seguridad de los peatones. Hoy en día, las intersecciones viales son consideradas cuellos de botella del transporte urbano, lo que genera una creciente preocupación acerca de su eficiencia y seguridad; este problema representa una gran oportunidad para introducir nuevos métodos que sean adecuados para la conducción autónoma en las intersecciones viales.

En [3] se propone un nuevo sistema de control de tráfico sin semáforos en una intersección, se asume que el sistema cuenta por completo con vehículos totalmente autónomos y la infraestructura para evitar colisiones; cuando los vehículos se acercan a una intersección, se comunican con un punto de acceso que se encarga de coordinar el movimiento de los mismos, mediante dos modos de operación: votación y aleatorio. El algoritmo propuesto está diseñado para redes de carreteras urbanas para mejorar la congestión vehicular y hacerla más predecible al mismo tiempo. El algoritmo utiliza los mecanismos IEEE 802.11 DCG/PCF para controlar el flujo de tráfico de los vehículos y recurre al concepto de contención/periodo libre de contención del IEEE 802.11 para controlar el equilibrio entre la eficiencia del flujo de tráfico y la equidad entre los usuarios.

En [4] se plantea el diseño de una intersección inteligente sin semáforos, los vehículos negocian la intersección a través de una interacción de la toma de decisiones centralizadas y distribuidas. En esta propuesta, se combinan las tecnologías de posicionamiento global GPS, las comunicaciones inalámbricas intervehicular, la capacidad de cálculo en el vehículo y la detección, para potenciar mejoras notables en la seguridad y eficiencia de la intersección vial. El algoritmo distribuido propuesto, garantiza la seguridad y proporciona un buen rendimiento.

En [5] se expone un control de tráfico basado en prioridad (CBP), una especie de sistema multi-agente que considera a los vehículos como agentes inteligentes y controla el tráfico a través de las interacciones entre estos. CBP es un protocolo común a través del cual, los agentes de los vehículos negocian sus prioridades cuando sus líneas de conducción interfieren mutuamente, con el fin de determinar el cruce en una intersección dada.

En [6] se formulan protocolos de intersección de nueva generación, basados en la tecnología de automóvil "Vehículo a Vehículo (V2V)", que aumentan significativamente el rendimiento de las intersecciones y evitan colisiones. Los protocolos que se

diseñaron pueden gestionar el tráfico a través de las intersecciones viales y glorietas, manteniendo la seguridad y mejorando el rendimiento.

En los trabajos citados, se considera que se cuenta con vehículos totalmente autónomos, con la infraestructura para evitar colisiones y solo se concentran en el desarrollo y simulación de los algoritmos de control; sin embargo, la toma de decisiones basada en suposiciones puede conducir a equivocaciones.

En este trabajo, se propone el desarrollo e implementación de un sistema para la emulación del control de tráfico en una intersección vial, sin semáforos. En este sistema, los vehículos autónomos son emulados con robots móviles que aunque no pueden modelar la dinámica real del vehículo, como los simuladores, pueden lidiar con las limitaciones del mundo real, tales como: percepción limitada, acciones imprecisas, latencia, toma de decisiones en tiempo real, informática embebida, y acontecimientos imprecisos. Los robots móviles son utilizados como caravanas de vehículos (también llamadas cadenas o pelotones) que siguen de manera autónoma a un vehículo líder [7, 8, 9, 10], para presentar dos estrategias de control: incorporación o separación de un miembro en el pelotón; las cuales se probaron en intersecciones con un único carril y una sola dirección, en una pista a escala especialmente diseñada para la aplicación.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Los vehículos y la pista**

#### **Los vehículos**

Los robots mOway (ver Fig. 1) son herramientas educativas que cuentan con suficientes sensores e indicadores [11] que les permiten interactuar con el entorno, así como también cuentan con un módulo de radio frecuencia a través del cual pueden realizar trabajo colaborativo. Estas características les permiten funcionar como vehículos autónomos. Para este proyecto se utilizaron 4 robots que fueron sometidos a un análisis

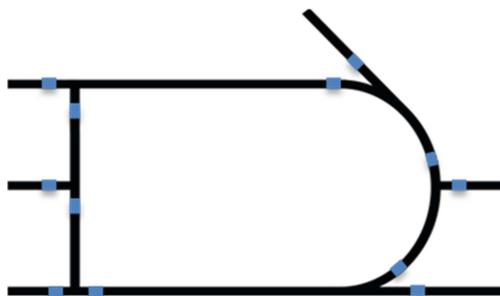
de compatibilidad tanto para el alcance de los sensores como para la velocidad de avance.



**Fig. 1. Robot mOway.**

## La pista

La pista fue trazada con cinta adherible negra y las señales de intersección con cinta adherible azul como se muestra en la Fig. 2.



**Fig. 2. Pista (primera versión).**

Los sensores de línea de los robots, fueron sometidos a pruebas para ver su respuesta con respecto a los colores utilizados para la pista. La lectura del sensor de línea para el color blanco estuvo en un rango de 0 a 16, mientras que el color negro estuvo en un rango de 200 a 255 (que es el valor máximo). El sensor presenta un incremento de 16 a 200 que no es instantáneo, por lo que pasa por todos los valores intermedios. El color azul es medido en un rango de 28 a 120, por lo que cada vez que el sensor pasa de un

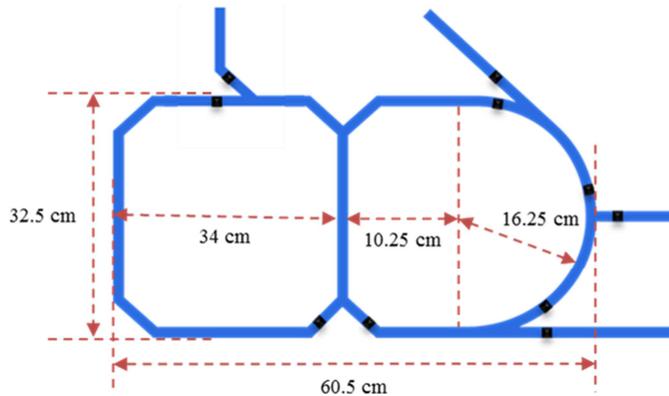
color blanco a un negro y viceversa, se reconoce el color azul sin estar presente en la pista. Para resolver este problema, la pista fue trazada con cinta azul y las señalizaciones con cinta negra.

Las esquinas de la pista fueron redondeadas en las intersecciones, para evitar que en el seguimiento de los robots en el pelotón, alguno de estos salga del campo de sensado como se muestra en la Fig. 3.



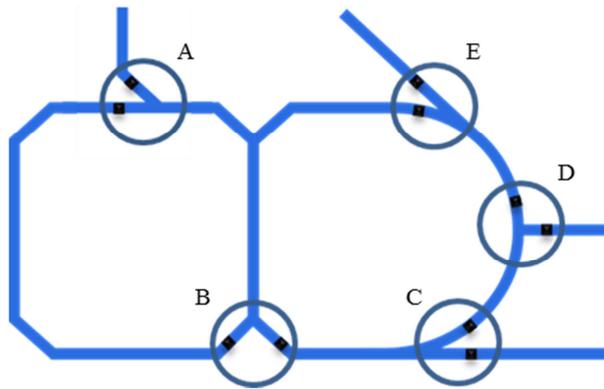
**Fig. 3. Pelotón de robots recorriendo esquinas de 90°.**

La versión final de la pista utilizada en el sistema, se muestra en la Fig. 4; en donde por uniformidad, todas las líneas inclinadas forman ángulos de 45°.



**Fig. 4. Pista (versión final).**

Dentro de la pista se definieron las secciones en donde se llevan a cabo las intersecciones y/o separaciones de los robots dentro del pelotón; estas se muestran en la Fig. 5.



**Fig. 5. Secciones de intersección y/o separación.**

Las señalizaciones de intersección fueron iniciadas a cierta distancia antes del punto donde se unen los caminos, de tal forma que los robots tengan el tiempo suficiente para frenar y evitar colisiones, así como también dejar el suficiente espacio para permitir el libre tránsito del vehículo contrario. En la Fig. 5, las señalizaciones para las intersecciones A, B, y C, fueron colocadas aproximadamente a 6 cm; en el caso de las intersecciones C y E, estas fueron colocadas a una distancia aproximada de 8 cm.

## **2.2. Avance de los vehículos**

El rango de velocidad de avance que se puede establecer a un robot varía entre 0 y 100; sin embargo, existe cierta diferencia entre los motores de cada uno de los robots que provoca que el avance de estos sea irregular aún cuando se les establezca la misma velocidad. Por lo anterior y debido a lo reducido de la pista que se diseñó, se decidió establecer una velocidad mínima de 10 para un vehículo que no se encuentre

siguiendo a otro, mientras que para un vehículo que sigue a otro la velocidad puede variar de 0 a 80.

Las intersecciones o separaciones de los vehículos que conforman el pelotón se llevo a cabo de la siguiente manera:

- Las intersecciones de dos caminos a uno.
- Las separaciones de uno a dos caminos.

Por lo que la ruta se guarda en un arreglo unidimensional, el cual sólo puede contener ceros que denotan vuelta a la izquierda o unos que denotan vuelta a la derecha.

En todo momento el avance de los vehículos está regido por los sensores de seguimiento de línea y los de reconocimiento de obstáculos. Los sensores utilizan la reflexión de la luz infrarroja que permite no sólo detectar contrastes fuertes sino también discernir entre diferentes tonos. Cuando se detecta una superficie clara, la superficie blanca hace que la luz infrarroja se refleje; por otro lado, cuando se detecta una superficie de color, sólo una parte de la luz emitida se refleja, de esta manera es como se realiza la identificación de colores.

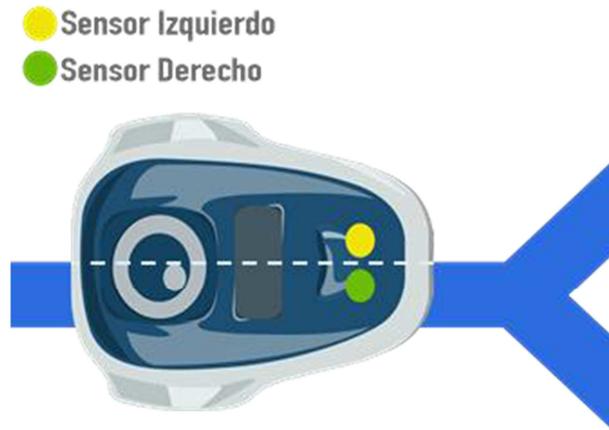
## **Seguimiento de línea**

El seguimiento de línea se realiza a través de los dos sensores de línea; esto es, cuando el vehículo debe avanzar por la izquierda, el sensor izquierdo debe de mantenerse en el color blanco, mientras que el sensor derecho debe permanecer en el color azul, tal como se ilustra en la Fig. 6.

Para lograr que el vehículo avance por la izquierda se establecieron las siguientes reglas:

- Si el sensor izquierdo esta sensando blanco y el sensor derecho esta sensando azul, el vehículo debe avanzar derecho.

- Si ambos sensores están sensando blanco, el vehículo debe girar a la derecha hasta que el sensor derecho sense el color azul (ver Fig. 7).
- Si ambos sensores están sensando azul, o si el sensor izquierdo está sensando azul y el derecho esta sensando blanco, el vehículo debe girar a la izquierda hasta que el sensor izquierdo sense el color blanco (ver Fig. 8).



**Fig. 6. Seguimiento por la izquierda.**



**Fig. 7. Ambos sensores de línea sensando blanco.**



**Fig. 8. Ambos sensores de línea sensando azul.**

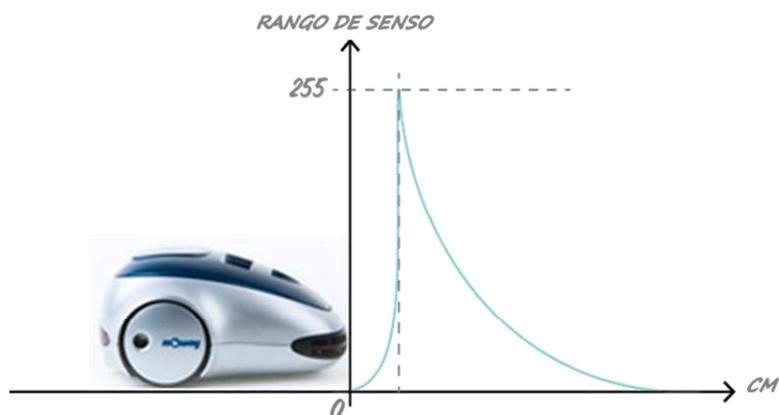
El rango numérico que se estableció para cada color (ver Tabla 1) se realizó con base al análisis del alcance de los sensores.

Color	Sensor izquierdo	Sensor derecho
Blanco	0-14	0-16
Azul	15-120	17-140
Negro	121-255	141-255

**Tabla 1. Rango numérico establecido para el sensado de colores.**

## Velocidad del vehículo

Los robots cuentan con 4 sensores de obstáculos que pueden ser utilizados para determinar la velocidad de un vehículo. Para poner estos sensores en función de la velocidad, es necesario obtener el promedio de los sensores que se encuentren activos; el rango de cada sensor es de 0 a 255, siendo 255 la lectura obtenida cuando un objeto se encuentra relativamente cerca, si el sensor está justo enfrente del objeto y el objeto no permite el paso de la luz, a pesar de que el sensor debería de entregar una lectura de 255, entrega una lectura cercana a 0 como se muestra en la Fig. 9.



**Fig. 9. Gráfica de sensado de obstáculos.**

Algunos de los sensores de objetos son muy sensibles al entorno, por lo que a pesar de no existir un objeto, pueden entregar lecturas denotando lo contrario; estas lecturas erróneas tienen un rango aproximado de 0 a 3 por lo cual se acordó que las lecturas menores o iguales a 5 sean omitidas.

Para asegurar que los vehículos guarden cierta distancia entre ellos en todo momento, a partir de la lectura 210 la velocidad debe ser cero, por lo tanto un sensor de obstáculos se considera activo cuando este entrega lecturas intermedias entre 5 y 210.

### **2.3. Protocolo de Intersección**

En el momento en que los sensores de línea reconocen la señalización de intersección (cinta negra), se activa una variable que funciona como temporizador y la lectura del sensor pasa de 0 a 120; la variable se va reduciendo de uno en uno y el tiempo que tarda en llegar a cero es el tiempo aproximado que tarda el vehículo en atravesar la intersección, este lapso de tiempo se reconoce como tiempo de intersección  $t_{int}$ .

Cuando el vehículo se encuentra en  $t_{int}$  este debe de abrir el canal de comunicación e inmediatamente comenzar a enviar y a recibir mensajes para determinar si hay otro vehículo en la intersección, de no ser así, el vehículo no necesita detenerse. El mensaje

que se envía durante el  $t_{int}$  contiene el valor de la variable que funciona como temporizador del  $t_{int}$ , ya que este valor denota la distancia de la intersección a la que se encuentra el vehículo; si un vehículo envía un valor aproximado de 120, entonces el vehículo acaba de entrar en la intersección; si un vehículo envía un valor cercano a 0, entonces el vehículo está por salir de la intersección.

Con base a lo anterior si un vehículo A envía un valor de 80 y recibe el valor de 120 de un vehículo B, el vehículo A debe dejar de enviar mensajes y cerrar el canal de comunicación puesto que llegó primero a la intersección y por lo tanto tiene preferencia de paso; en este caso el vehículo B debe detenerse inmediatamente y esperar a que el vehículo A recorra la intersección. Durante el tiempo de espera, la variable que funciona como temporizador del  $t_{int}$  es detenida, a pesar de esto el vehículo B debe de seguir enviando mensajes para averiguar si existe un tercer vehículo C siguiendo al vehículo A y de ser el caso volver a repetir el proceso que realizó con el vehículo A, de lo contrario cuando el tiempo de espera termina, el  $t_{int}$  continua disminuyéndose y el vehículo B debe comenzar a seguir al vehículo A. En el caso en que dos vehículos lleguen al mismo tiempo a la intersección, el vehículo que transita por el camino de la derecha tiene la preferencia de paso. En la Fig. 10, se muestra el diagrama de flujo que explica el algoritmo utilizado para la intersección.

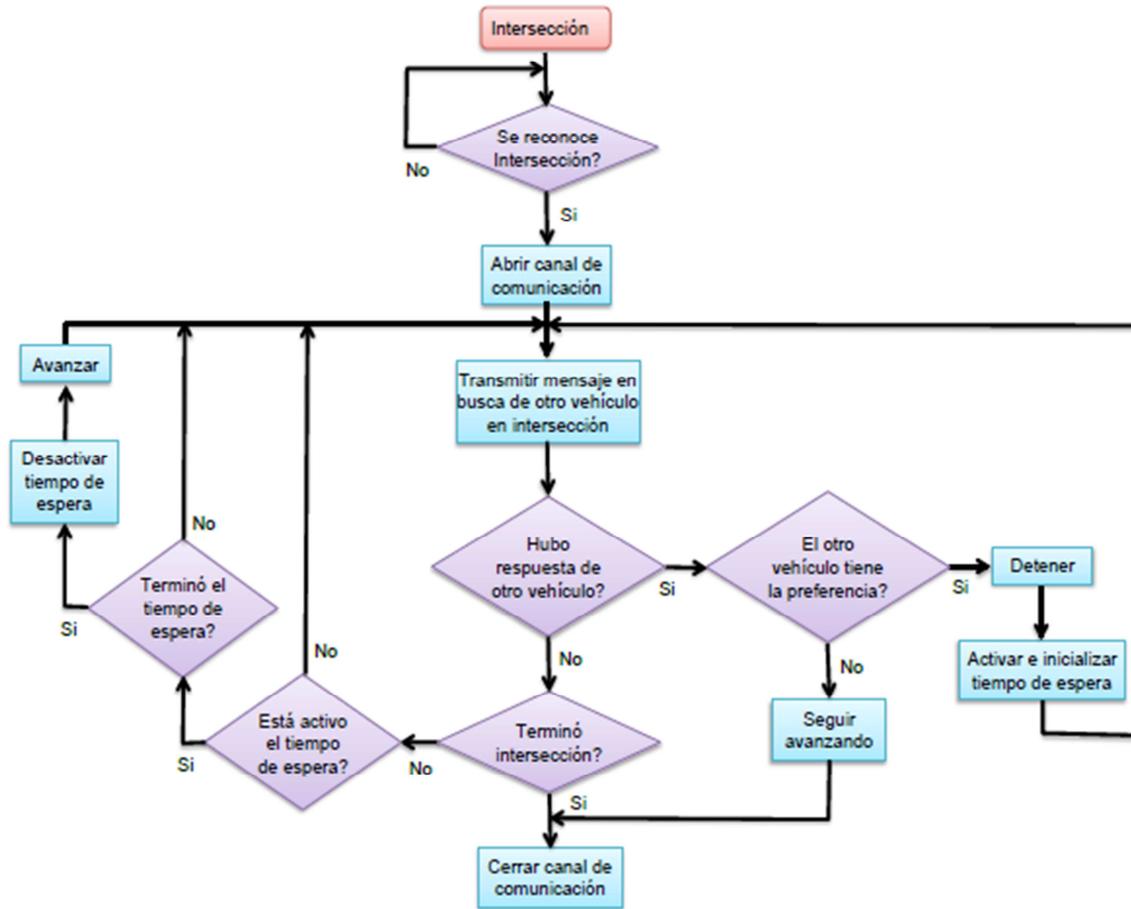


Fig. 10. Diagrama de flujo del algoritmo de intersección.

## 2.4. Protocolo de separación

Como ya se mencionó, en todo momento los vehículos se encuentran pendientes de las lecturas que reciben de los sensores de obstáculos, por lo tanto, cuando un vehículo A se encuentra siguiendo a un vehículo B y el vehículo B tomó una trayectoria distinta, en el momento en que el vehículo A deja de sensar al vehículo B, el vehículo A inmediatamente deja de obtener la velocidad del vehículo B y comienza a avanzar a la velocidad constante establecida (ver Fig. 11).



Fig. 11. Separación del pelotón.

Cuando se tiene un pelotón de tres vehículos, A, B y C, y el vehículo intermedio B abandona al pelotón, C tiene que avanzar a velocidad constante. En el momento en que C logre alcanzar a A, C debe dejar de avanzar a velocidad constante y comenzar a obtener la velocidad de su sensor de proximidad y formar un nuevo pelotón. En la Fig. 12 se muestra el diagrama de flujo que explica el algoritmo utilizado para la separación.

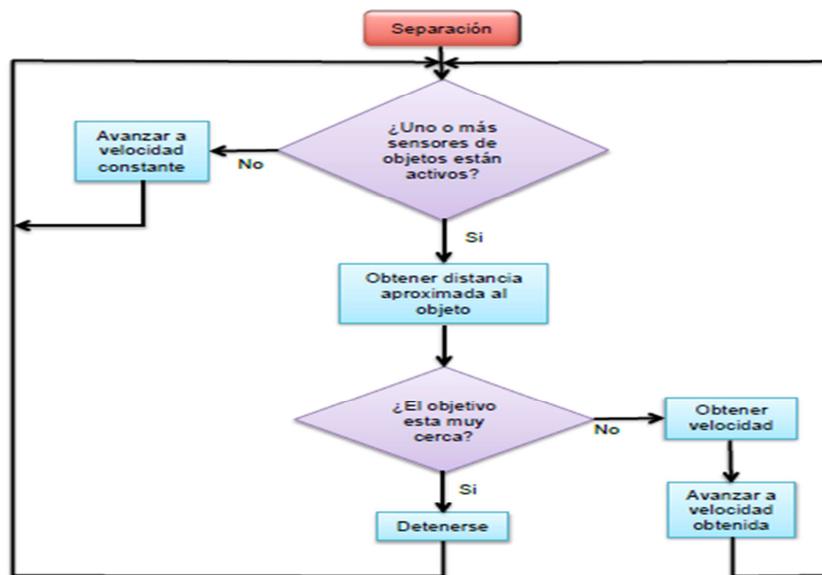


Fig. 12. Diagrama de flujo del algoritmo de separación.

### 3. Pruebas y Resultados

Cada uno de los sensores que conforman el robot, presentan diferentes alcances y estos también varían de robot a robot, por lo que es importante conocer el alcance de cada uno de ellos.

Cada robot cuenta con dos sensores de línea montados en la parte inferior delantera. Los sensores de línea fueron puestos a prueba en su modo analógico, usando tres colores diferentes; blanco (fondo de la pista), azul (color del camino) y negro (señal de intersección). Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Robot	Blanco		Azul		Negro	
	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der
1	13-14	14-16	15-100	17-100	101-235	101-240
2	13-14	14-16	15-85	17-120	86-240	121-245
3	12-14	12-14	15-80	15-70	81-240	71-235
4	11-12	12-13	13-30	14-55	31-235	56-235
5	15-22	13-14	23-130	15-95	131-245	96-240
6	13-14	15-16	15-85	17-115	86-245	116-240
RA	0-14	0-16	15-100	17-120	100-240	120-245

**Tabla 2. Rango numérico de los sensores de línea para los colores Blanco, Azul y Negro; en donde RA representa el rango aproximado de cada sensor.**

### Sensores de obstáculos

Cada robot cuenta con 4 sensores de obstáculos en la parte frontal, el alcance de cada uno de ellos fue puesto a prueba en su modo analógico a distancias de 2.6 cm y 5.2 cm y en 5 diferentes ángulos, como se muestra en la Fig. 13; los resultados se muestran en las Tablas 3, 4, 5, 6 y 7.

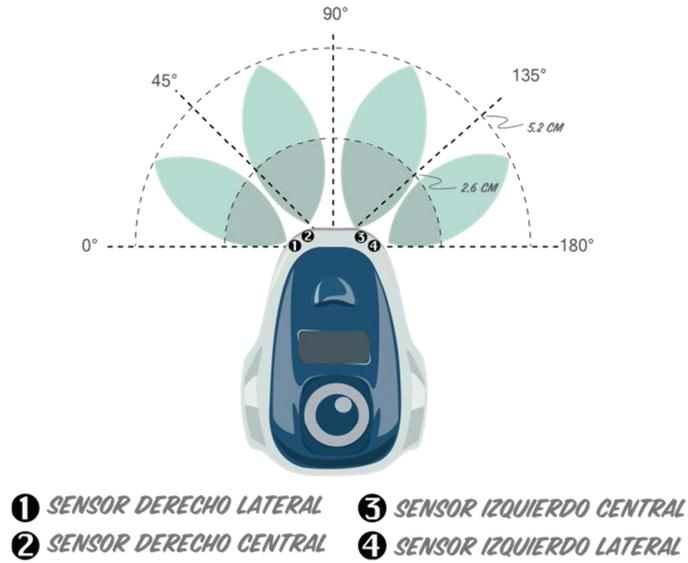


Fig. 13. Gráfica aproximada del alcance de los sensores de objetos.

Robot	Sensores activos	2.6 cm. (1/4 de vuelta)	5.2 cm. (1/2 vuelta)
1	Izquierdo lateral	255	50 - 75
2	Izquierdo lateral	195 - 255	0 - 5
3	Izquierdo lateral	255	0 - 10
4	Izquierdo lateral	255	65 - 80
5	Izquierdo lateral	255	0 - 20
6	Izquierdo lateral	255	25 - 40

Tabla 3. Sensado a 0°.

Robot	Sensores activos	2.6 cm. (1/4 de vuelta)	5.2 cm. (1/2 vuelta)
1	Izquierdo lateral	255	120 - 130
	Izquierdo central	255	45 - 60
2	Izquierdo lateral	255	65 - 75
	Izquierdo central	215 - 230	0 - 1
3	Izquierdo lateral	255	95 - 102
	Izquierdo central	215 - 230	30 - 40
4	Izquierdo lateral	255	95 - 110
	Izquierdo central	255	45 - 55
5	Izquierdo lateral	255	255
	Izquierdo central	255	185 - 205
6	Izquierdo lateral	255	80 - 90
	Izquierdo central	255	20 - 40

**Tabla 4. Sensado a 45°.**

Robot	Sensores activos	2.6 cm. (1/4 de vuelta)	5.2 cm. (1/2 vuelta)
1	Izquierdo central	255	115 - 125
	Derecho central	185 - 200	25 - 45
2	Izquierdo central	165 - 175	20 - 35
	Derecho central	225 - 235	80 - 90
3	Izquierdo central	150 - 155	45 - 50
	Derecho central	175 - 185	35 - 40
4	Izquierdo central	205 - 15	60 - 70
	Derecho central	255	130 - 145
5	Izquierdo central	255	100 - 115
	Derecho central	200 - 225	25 - 45
6	Izquierdo central	255	105 - 125
	Derecho central	205 - 230	30 - 55

**Tabla 5. Sensado a 90°.**

Robot	Sensores activos	2.6 cm. (1/4 de vuelta)	5.2 cm. (1/2 vuelta)
1	Derecho central	255	60 - 70
	Derecho lateral	170 - 190	0 - 10
2	Derecho central	245 - 255	45 - 55
	Derecho lateral	225	20 - 30
3	Derecho central	230 - 250	50 - 70
	Derecho lateral	255	45 - 70
4	Derecho central	255	65 - 80
	Derecho lateral	255	65 - 80
5	Derecho central	255	20 - 40
	Derecho lateral	255	50 - 70
6	Derecho central	255	55 - 70
	Derecho lateral	255	95 - 110

**Tabla 6. Sensado a 135°.**

Robot	Sensores activos	2.6 cm. (1/4 de vuelta)	5.2 cm. (1/2 vuelta)
1	Derecho lateral	200 - 255	55 - 65
2	Derecho lateral	255	115 - 135
3	Derecho lateral	255	125 - 140
4	Derecho lateral	255	70 - 90
5	Derecho lateral	255	30 - 65
6	Derecho lateral	255	45 - 80

**Tabla 7. Sensado a 180°.**

## **4. Discusión**

En un futuro, los vehículos autónomos estarán circulando en las zonas urbanas de las principales ciudades en el mundo, por lo que las intersecciones viales y los cruces de caminos se convertirán en un segmento importante del transporte urbano. Las tecnologías actuales tales como los semáforos y las señales de alto, no son adecuadas para la conducción autónoma, ya que no son muy seguras en la gestión de tráfico y generan retrasos de tiempo debido a su ineficiencia. Se tendrán que desarrollar sistemas de control de tráfico más eficientes y seguros, implementados en los mismos vehículos para no hacer uso de semáforos en las intersecciones viales; sistemas en donde los vehículos sean los que controlen el tráfico con la ayuda de las comunicaciones vehículo a infraestructura y vehículo a vehículo. La prueba de estos sistemas requerirá de infraestructura costosa a gran escala, con medidas de seguridad importantes, que garanticen desarrollos confiables, seguros y con buen desempeño bajo cualquier ambiente; o simplemente tendrán que ser provados en los lugares de interés, lo que podría provocar grandes riesgos.

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de desarrollo económico y seguro, para la emulación de tráfico en intersecciones viales para conducción autónoma; el objetivo es proporcionar una herramienta de apoyo, para la prueba de protocolos de intersección de nueva generación, que puedan gestionar el tráfico a través de intersecciones viales y mejorar significativamente tanto el rendimiento como la seguridad.

## **5. Conclusiones**

El sistema de desarrollo presentado, es adecuado para realizar la simulación en tiempo real del comportamiento de un pelotón vehicular en zonas de intersección vial. Es una alternativa que permite la realización de diferentes sesiones de prueba y simulaciones más extensas y exhaustivas para perfeccionar algoritmos de: control, comunicación y

toma de decisiones entre vehículos, sin provocar daño alguno por la falla en el sensado o por errores en el procesamiento de la información.

Los protocolos de intersección y separación tienen un desempeño aceptable ya que en lugar de asumir que el líder del pelotón monitorea globalmente el entorno y toma las decisiones, sólo los vehículos implicados en una maniobra particular están relacionados, distribuyendo las decisiones locales entre el pelotón.

Los protocolos de intersección y separación como enfoques de coordinación, demuestran su viabilidad con los resultados obtenidos. Estos revelan el desarrollo de un sistema robusto que involucra más de una modalidad de sensado y comunicación, garantizando los procedimientos de seguridad de posibles fallos en los diversos problemas que puedan producirse en el pelotón.

Como trabajo futuro, se desarrollará la programación y el código adecuado para cada uno de los robots, para corregir los problemas de similitud presentados por los sensores de obstáculos, los sensores de línea y los motores; lo cual requiere de un análisis más extenso de las características así como los alcances de cada robot.

## **6. Referencias**

- [1] The DARPA urban challenge, 2007. <http://archive.darpa.mil/grandchallenge>.
- [2] M. Buehler, K. Iagnemma, S. Singh, *The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic*. 2009. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1-59 pp.
- [3] C. Park, J. Lee, "Intelligent Traffic Control Based on IEEE 802.11 DCF/PCF Mechanisms at Intersections". *IEEE Vehicular Technology Conference*. 5-8 September, 2011. 1-4 pp.

- [4] H. Kowshik, D. Caveney, P. R. Kumar, "Provable Systemwide Safety in Intelligent Intersections". IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 60. No. 3. March 2011. 804-818 pp.
- [5] Y. Senda, I. Tanev, K. Shimohara, "On the Possibility of Priority-Based Road Traffic Control". IEEE SICE Annual Conference. 20-22 August, 2008. 1510-1513 pp.
- [6] R. Azimi, G. Bhatia, R. Rajkumar, P. Mudalige, "STIP: Spatio-Temporal Intersection Protocols for Autonomous Vehicles". IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems. 14-17 April, 2014. 1-12 pp.
- [7] SARTRE Project website. [www.sartre-project.eu](http://www.sartre-project.eu).
- [8] INVENT Project website [www.invent-online.de](http://www.invent-online.de).
- [9] R. Rajamani, S. E. Shladover, "An Experimental Comparative Study of Autonomous and Co-operative Vehicle-Follower Control Systems", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 9, Issue 1, February 2001, Pages 15-31.
- [10] H. G. Tanner, G. J. Pappas, V. Kumar, "Leader-to-Formation Stability". IEEE Transactions on Robotics and Automation. Vol. 20. No. 3. 2004. 443-455 pp.
- [11] Tutorial 2, "Introduction to mOway robot Electronics". [www.moway-robot.com](http://www.moway-robot.com).

## **7. Autores**

Dr. Andrés Ferreyra Ramírez es Ingeniero Mecánico Electricista con Especialidad en Electrónica, por la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestro en Ingeniería Biomédica, por la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa. Doctorado en Ciencias en Control Automático, por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional CINVESTAV-IPN. Desde 1996 se desempeña como Profesor Investigador Titular "C" de tiempo completo en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco, donde desarrolla trabajos de

Investigación en las áreas de Softcomputing, Machine Learning y Sistemas de Transporte Inteligentes.

M. en C. Arturo Zúñiga López es Profesor Investigador del Departamento de Electrónica, en el Área de Instrumentación, de la UAM Azcapotzalco. Actualmente realiza investigación en el Área de Redes de Computadoras, Sistemas Embebidos y Procesamiento Digital de Imágenes.

M. en C. Roberto A. Alcántara Ramírez es Ingeniero en Electrónica, por la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestro en Ciencias e Ingeniería Mecatrónica, por el T.E.S.E. Desde 1987 se desempeña como Profesor Investigador de tiempo completo en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco, donde desarrolla trabajos de Investigación en las áreas de Electrónica de Potencia y Control de Procesos.