

Sistema Inteligente basado en comunicación V2X para prevención de colisiones en intersecciones viales

Juan Antonio Guerrero-Ibáñez¹, Carlos Flores-Cortés², Juan Manuel Ramírez-Alcaraz³, Pedro Santana⁴, Tomás Mendoza-Robles⁵, Hector Ali Vizcaino-Anaya⁶, Emmanuel Peña-Cárdenas⁷, Álvaro Anguiano-Mancilla⁸

Universidad de Colima – Av. Universidad #333, Las Víboras,
Colima, Colima, 28040. México.

antonio_guerrero@ucol.mx¹, cfcortes@ucol.mx², jmramir@ucol.mx³, psantana@ucol.mx⁴, tomas_mendoza@ucol.mx⁵, hector_vizcaino@ucol.mx⁶, emmanuel_pena@ucol.mx⁷, alvaro_anguiano@ucol.mx⁸.

RESUMEN

El incremento en el número de vehículos desplazándose en las zonas urbanas ha ocasionado que los problemas que enfrenta la sociedad moderna se incrementen significativamente. Uno de los problemas que más repercusión ha traído en los últimos tiempos son los accidentes viales. Gran parte de esos accidentes se producen en las intersecciones o cruces. Aunque en algunos de los cruces se han implementado semáforos, no es viable colocar este tipo de controladores en cada una de las intersecciones. Por lo tanto es indispensable generar mecanismos que contribuyan a solventar los problemas de colisiones en intersecciones que no son controladas por semáforos.

Como una alternativa de solución, presentamos *SIPreCol-V2X (Sistema Inteligente para Prevención de Colisiones basado en comunicación V2X)*, un sistema inteligente que contribuye a prevenir colisiones en intersecciones de zonas urbanas. Esta solución facilita el control del orden preciso para que los conductores que se aproximen a una intersección puedan pasar sin presentar ningún contratiempo.

Palabras Clave

Accidentes viales, colisiones, VANET, V2V, V2I, zonas urbanas.

I.- INTRODUCCIÓN

El problema de tráfico vehicular ya no solamente afecta a las grandes urbes del mundo, este problema comienza a afectar a las pequeñas ciudades que no fueron diseñadas para afrontar esta problemática. La cantidad de vehículos circulando por las zonas urbanas se ha incrementado dramáticamente debido en gran medida a la rápida urbanización. Se ha demostrado que más de la mitad de la población se encuentra concentrada en zonas urbanas (alrededor de 3.3 billones de personas) y se espera que para el 2030 esta cifra se incremente a casi 5 billones de personas [1].

Esta concentración de población trae como consecuencia una serie de problemas económicos, ambientales y de seguridad. Aunque los gastos económicos son significativos, los costos humanos resultado de accidentes

vehiculares son incomparables. Cada año alrededor de 1.3 millones de personas fallecen a consecuencia de los accidentes viales, además de que casi el 90% de esas fatalidades ocurren en países subdesarrollados [2]. Es necesario redoblar esfuerzos para generar mecanismos que ayuden a disminuir esas estadísticas. Uno de los focos rojos de las zonas urbanas son las intersecciones o cruces viales. En esta zona se producen un gran número de accidentes viales debido principalmente a la falta de controles. Las medidas que toman generalmente los gobiernos es la implementación de semáforos en las intersecciones más complejas. Sin embargo, no es viable implementar semáforos en cada intersección de la ciudad debido a los altos costos económicos porque las zonas con alta tasa de tráfico pueden ser afectadas con un incremento en el problema de congestión vial. En intersecciones donde no existen semáforos, los conductores son los que tienen que juzgar o tomar la decisión del momento en que es seguro cruzar la intersección basado en la velocidad y distancia de los vehículos aproximándose a la intersección. Uno de los principales problemas de este tipo de intersección ocurre cuando la visibilidad del conductor es obstruida por algún objeto como se muestra en la figura 1.

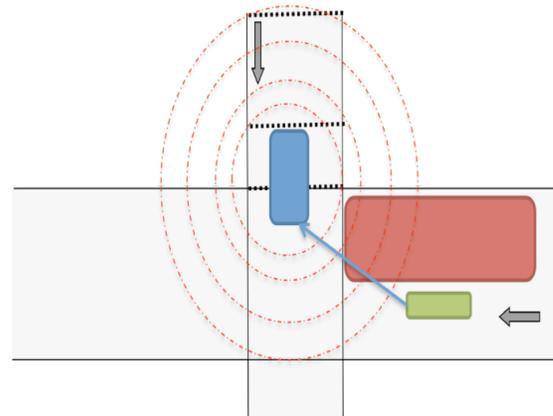


Figura 1: Representación de un posible escenario de colisión vehicular.

La figura representa un escenario en donde un obstáculo (representado por el rectángulo rojo) obstruye la visibilidad del conductor del vehículo azul (viajando de norte a sur), y

como consecuencia, el conductor no se puede percatar que se está aproximando un motociclista (color verde, el cual se desplaza de este a oeste) por el otro lado de la intersección. Por lo anterior, es imperativo desarrollar aplicaciones de seguridad vial. Como parte de estos esfuerzos, en este trabajo se presenta *SIPreCol-V2X (Sistema Inteligente para Prevención de Colisiones basado en comunicación V2X)* un sistema inteligente para prevención temprana de colisiones en intersecciones viales. El objetivo de este sistema es controlar el flujo de vehículos en una intersección que no es controlada por semáforos con la finalidad de prevenir posibles colisiones.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma. En la sección II se hace una descripción general de algunos sistemas que hacen uso de tecnologías inalámbricas para posicionamiento de objetos. Una descripción detallada del sistema *UbicaT* se presenta en la sección III. En la sección IV se presentan algunos resultados preliminares de desempeño del sistema *UbicaT*. Finalmente cerramos el artículo mostrando las conclusiones y trabajo futuro.

II. - TRABAJO RELACIONADO

Según los expertos, las aplicaciones de seguridad las clasifican en dos tipos: aplicaciones de seguridad vial pasiva y activas. Las aplicaciones de seguridad pasiva actúan dentro del vehículo y protegen a los pasajeros contra una lesión cuando se enfrentan a una situación de accidente. Por otro lado las aplicaciones activas pueden ayudar a prevenir accidentes y su función es trabajar como aplicaciones pre-colisiones [3]. Una de las cinco áreas de desarrollo de aplicaciones de seguridad es el desarrollo de aplicaciones para prevenir colisiones en intersecciones [4].

Por otro lado, las iniciativas tanto de gobierno como privadas han enfocado esfuerzos para el desarrollo e implementación de aplicaciones para prevención y/o mitigación de accidentes viales [5]-[8].

Otros proyectos como CVIS (*The Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems Project*) [9], *eCall Driving Group Project* [10] se han enfocado a desarrollar proyectos que ayuden a solventar los problemas de seguridad vial. Un punto esencial de esto es que como se puede observar, la mayoría de los avances en ésta área se realizan en países de primer mundo, y en el resto de países la investigación y el desarrollo es mínimo. Es por eso que nuestros esfuerzos se enfocan en proponer mecanismos que contribuyan a reducir este tipo de percances en las zonas urbanas.

III. – SISTEMA SIPRECOL-V2X

SIPreCol-V2X es un sistema que se basa en los dos modos de comunicación definidos en VANET (*Vehicular Ad-hoc Networks*): V2V (*Vehicle-to-vehicle*) y V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) como se muestra en la figura 2. En el modo V2V, los vehículos realizan la comunicación directamente entre ellos, es decir no necesitan de mayor infraestructura mas que la que ya tienen implementada dentro de los

vehículos, que comúnmente se le conoce como OBU (*OnBoard Unit*). Por otro lado, V2I hace referencia a la comunicación entre vehículo y algún tipo de infraestructura colocada en las avenidas, la cual se le denomina RSU (*Roadside Unit*).

SIPreCol-V2X define dos arquitecturas: física y lógica. La primera comprende todos los dispositivos que se utilizan para el intercambio de información entre los diferentes actores que participan en *SIPreCol-V2X*. Por otro lado, la arquitectura lógica la forman todos los módulos, entidades funcionales y protocolos de comunicación que tienen como función facilitar el procesamiento y difusión de la información dentro de *SIPreCol-V2X*.

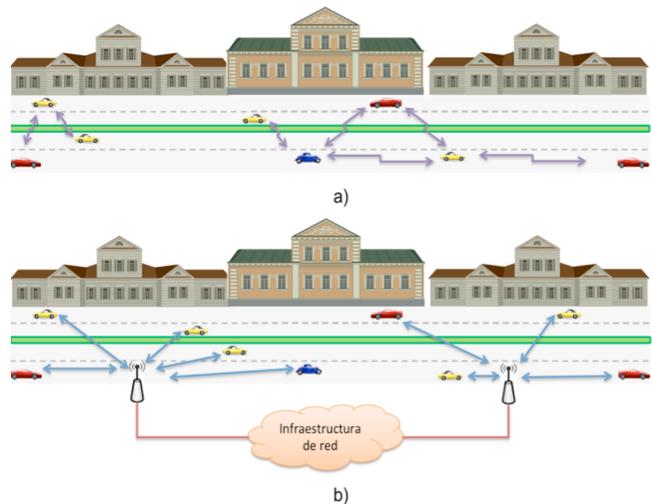


Figura 2: Modos de comunicación de redes vehiculares a) V2V, b) V2I.

Arquitectura física

La arquitectura física de *SIPreCol-V2X* define tres componentes (Figura 3): el controlador de intersección (CI), el cual representa una RSU, los nodos de comunicación vehicular (NV) que representan las OBU y una red de sensores basados en indicadores de proximidad a un cruce (MS).

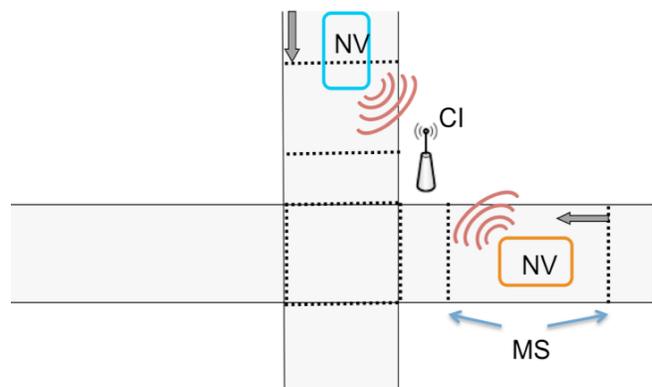


Figura 3: Representación de los componentes que conforman la arquitectura física de *SIPreCol-V2X*.

Los NV hacen uso de un sistema embebido, con los módulos de la arquitectura lógica necesarios para el procesamiento e intercambio de la información. Además el sistema embebido cuenta con un módulo lector de radiofrecuencia que le permite conocer la zona en la que se encuentra. Asimismo, este módulo de comunicación inalámbrica facilita el intercambio de información del entorno entre los diferentes vehículos que están en el área de intersección.

Los controladores de intersección (CI) son utilizados cuando se desea implementar el modo de comunicación V2I, su función principal es controlar el flujo de tráfico en la intersección, tomar las decisiones de orden de pase y comunicárselo a los vehículos. La diferencia con respecto a los semáforos es que el CI establece la secuencia de cruce basándose en el orden en el que los vehículos se aproximan a una intersección y no por un tiempo definido como los semáforos. Este esquema permite tener un mejor control que cuando se implementa el esquema “uno y uno”, que consiste en que pase un vehículo de cada línea de intersección, sin embargo este esquema es controlado por los conductores.

Finalmente los indicadores de proximidad a un cruce tienen como única función ser visibles para los vehículos, ya que estos indicadores solo avisan que algún tipo de cruce está cerca.

Arquitectura lógica

La arquitectura lógica hace uso del concepto de zonas para definir el tipo de información que se intercambia entre los vehículos en determinado momento (ver Fig. 4).

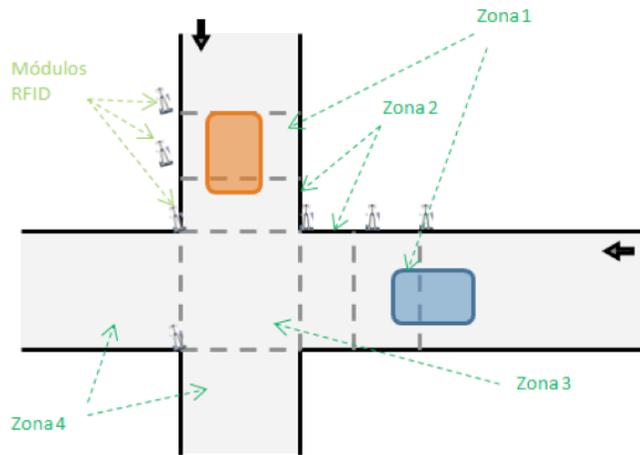


Figura 4: Representación de las zonas de la arquitectura lógica.

La arquitectura lógica está compuesta por una serie de módulos implementados en el CI y en los NV así como una serie de protocolos de comunicación que facilitan el intercambio de mensajes entre los actores involucrados en el escenario. El módulo implementado en el CI es responsable del control de flujo en la intersección, por otro lado el módulo en los NV reciben las ordenes de control de

flujo por parte del CI para el caso de comunicación V2I y reciben los mensajes de otros NV para el caso de comunicación V2V. Las figuras 5 a 7 muestran los diagramas de los algoritmos implementados tanto en los CI como en los NV.

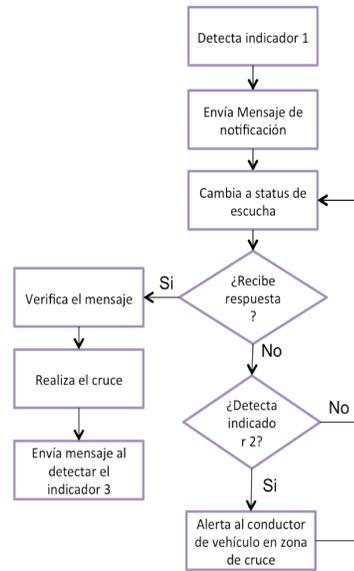


Figura 5: Representación del algoritmo implementado en el CI.

El algoritmo CI se utiliza cuando se implementa el modo de comunicación V2I. Cuando el CI recibe un mensaje por parte de un NV revisa el mensaje y lo registra en un buffer que tiene para cada avenida de la intersección. En caso de que no existan ningún vehículo en los buffers del sistema, el CI responde el mensaje con la confirmación de que puede cruzar la intersección ya que no existe ningún vehículo en los alrededores. En caso contrario, se van colocando en el buffer respectivo para su posterior atención. Cuando el CI da el paso a un vehículo, este tiene que esperar la respuesta por parte del NV cuando haya concluido de cruzar la intersección. Mientras tanto el CI no procede a darle el pase a otro vehículo. La lógica que sigue el CI es el del modelo que se utiliza en la mayoría de las intersecciones denominado “uno y uno”.

Por otro lado, el módulo en los NV se activa cuando detecta el primer indicador, en ese momento se envía un mensaje al CI notificando que se va aproximando a la intersección y se pone a la escucha de una respuesta. Si detecta el segundo indicador y no ha recibido ningún mensaje de respuesta por parte del CI entonces asume que el cruce está ocupado y el sistema le mandaría una alerta al conductor de que existe otro vehículo dentro del entorno del cruce para que el conductor tome las medidas de precaución necesarias. Cuando el NV recibe el mensaje por parte del CI indicando que es su tiempo de pase, este tiene que enviarle una respuesta al CI cuando detecte el tercer indicador de cruce.

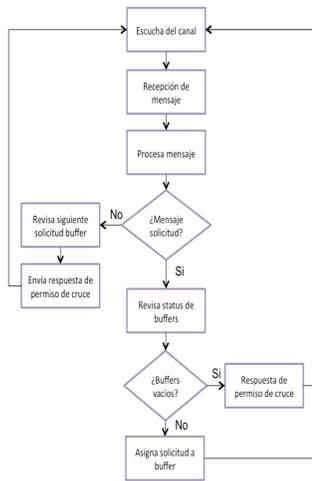


Figura 6: Representación del algoritmo implementado en el NV para comunicación V2I.

Para el caso de implementación del modo V2V, el funcionamiento es el que a continuación se explica. En nuestro modelo el vehículo que se aproxima primero a la intersección le denominamos “controlador de intersección” o “carro semáforo”, cuya función es controlar y definir el orden en que el resto de vehículos que se aproximan a la intersección podrán cruzarla.

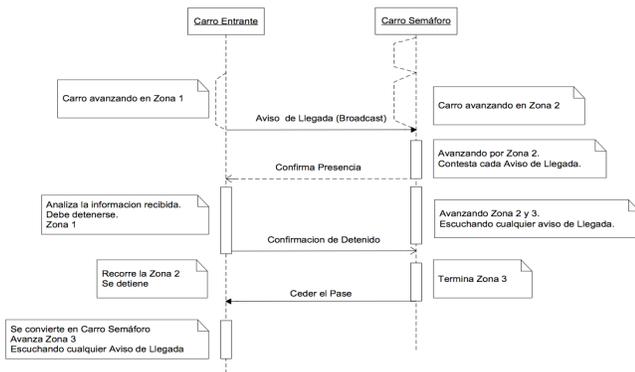


Figura 7: Representación del algoritmo implementado en el NV para comunicación V2V.

Las zonas están delimitadas con dispositivos o nodos WSN (Wireless Sensor Network, Red inalámbrica de Sensores) que incluyen fotosensores de barrera luminosa para detectar cuando un vehículo pase por tal delimitador, entonces al detectar el vehículo el nodo envía un identificador vía radiofrecuencia que recibe el sistema embebido en el vehículo.

La lectura de la señal de radiofrecuencia en el sistema embebido, hace saber que se ha pasado por un delimitador de zona y se le indica al conductor que está a punto de llegar a un cruce donde no hay semáforos, entonces el dispositivo comienza a enviar mensajes en broadcast para alertar a los demás vehículos de que hay un carro acercándose en zona 1.

Finalmente una parte esencial para el funcionamiento es la definición de los formatos de las tramas para el intercambio de mensajes. En *SIPreCol-V2X* se definen dos tipos de mensajes, los cuales son utilizados uno por cada modo de comunicación. Para el caso de comunicación V2I, los mensajes intercambiados están compuestos por una serie de campos como los que se muestran en la figura 8a. El campo tipo se refiere al tipo de mensaje que se está intercambiando, este mensaje puede ser (request/response/warning/ notification). El ID_NV representa el identificador del nodo que está enviando el mensaje, en este caso puede ser el ID de un vehículo o el ID del CI. El ID_Destino representa el identificador del nodo destino de la trama. El campo prioridad está pensado en un identificador para vehículos de emergencia, para lo cual el CI deberá de cambiar el algoritmo en caso de que se encuentren varios vehículos en espera. Finalmente el campo sentido representa el valor de la dirección en el que se está desplazando el vehículo y es utilizado por el CI para colocar cada solicitud de cruce en el buffer adecuado.

Para el caso de comunicación V2V, la estructura de la trama está compuesta por seis campos (figura 8b). El campo tipo de paquete nos indica si el mensaje es de aviso de presencia, cuando el vehículo va entrando a la primer zona o de confirmación que indica que hay otro vehículo avanzando más cerca de la intersección. El campo Id del vehículo es el identificador único que se asigna a cada vehículo, el campo Estado del vehículo indica si está avanzando normal, está dañado o detenido, el campo zona de ubicación es un elemento muy importante para determinar que vehículo está más cerca de la zona de cruce, también se incluye el campo preferencia para determinar que vehículo pasa primero cuando llegan al mismo tiempo. Además se incluye un campo denominado *Id del vehículo* que puede ser utilizado para identificar los vehículos de emergencia como pueden ser bomberos, ambulancia, policía, protección civil, entre otros, los cuales deben de tener una preferencia mayor al resto de vehículos. Todos los mensajes enviados en las 3 diferentes zonas esperan acuse de recibido, con lo que se asegura que el mensaje haya sido recibido en su destino correcto, de manera contraria el mensaje es enviado de nuevo después de un tiempo de espera determinado.

Tipo	ID_NV	ID_Destino	Prioridad	Sentido	
a)					
Tipo de Paquete	Id del vehículo	Estado del vehículo	Zona de Ubicación	Preferencia	Dato Extra
b)					

Figura 8: Formatos de frames en *SIPreCol-V2X* a) Comunicación V2I, b) Comunicación V2V.

IV. - EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Para la evaluación de *SIPreCol-V2X* se creó un prototipo mediante un escenario *testbed* basado en minirobots que permitían emular vehículos dentro de un entorno urbano.

Los minirobots son de la marca moway [11], utilizan un microcontrolador PIC18f86j50 que trabaja a 4 Mhz; y está compuesto por una serie de sensores que permiten percibir colores y proximidad de objetos. Además cuentan con un módulo de comunicación por radiofrecuencia para la transmisión de información. La información que transmiten los robots es monitoreada desde una computadora, lo que permite realizar diferentes mediciones de métricas relevantes para el desarrollo de la aplicación.

Escenario de evaluación

Como parte del escenario se creó una maqueta con cruces viales típicos, además se colocaron una serie de indicadores antes y después de los cruces para que los vehículos los pudieran identificar (Fig. 9). Para nuestro caso estos indicadores son representados por líneas de color para simular sensores instalados en las avenidas, los cuales son leídos e interpretados por los sensores que incluyen los minirobots. Los indicadores se colocaron simulando una escala de 50m de distancia antes de llegar a la intersección, en este caso los indicadores para los vehículos robots *MoWay* son cintas de color negro, debido a que los vehículos robots usados tienen sensor de color de superficie y simula la detección de radiofrecuencia de los delimitadores de zona. La velocidad que se consideró para los vehículos fue de 50km/h que es la velocidad máxima permitida en zonas urbanas dentro del estado.

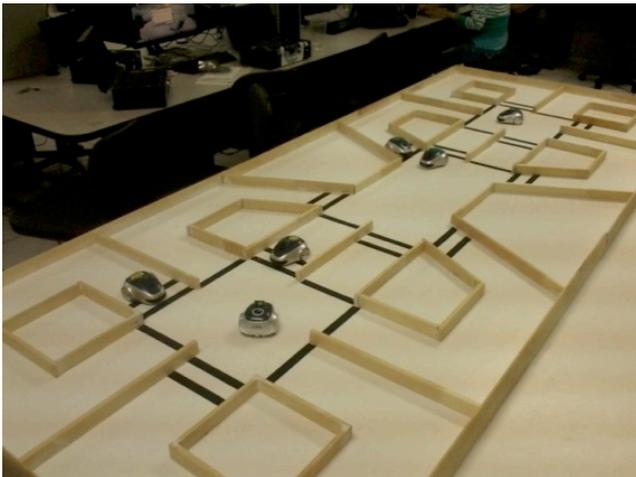


Figura 9: Maqueta de prueba del sistema *SIPreCol-V2X*.

Para la evaluación del sistema se utilizaron 12 vehículos moway equipados con su módulo de radiofrecuencia. En la evaluación se puso a prueba el panorama general del escenario diseñado para el prototipo y como métricas de evaluación se analizaron las latencias que genera la comunicación por medio de radiofrecuencia con el objetivo de validar que los mensajes se reciban en el tiempo adecuado y de esta manera poder prevenir una situación de riesgo como puede ser una colisión.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1. Los resultados muestran que la latencia total entre la detección inicial, notificación de aproximación al cruce, tiempo de

procesamiento y respuesta, en el peor de los casos fue de 193.78 ms. Considerando que la velocidad máxima permitida en zonas urbanas es de 50Km/h, en ese tiempo de comunicación el vehículo avanzó 2.69m.

Descripción	Tiempo mínimo	Tiempo promedio	Tiempo máximo
Detección de zona	1 ms	1ms	1ms
Envío de mensaje de llegada	2.071ms	4.41ms	6.7ms
Procesamiento	159ms	170ms	181ms
Tiempo de notificación	2.071ms	3.571ms	5.080ms
Total	164.142ms	178.981ms	193.78ms

Tabla 1: Latencias obtenidas en *SIPreCol-V2X*.

El siguiente paso que debemos realizar es el cálculo de frenado del vehículo para poder analizar si *SIPreCol-V2X* puede en realidad prevenir una colisión. De acuerdo a [17] en general la distancia total de frenado se calcula de acuerdo a la ecuación ec1:

$$DT_f = D_p + D_r + D_f \tag{ec1}$$

Donde:

DT_f representa el espacio total que debe de recorrer el vehículo hasta su detención total.

D_p representa la distancia de percepción, la cual se define como la distancia que recorre el vehículo desde el momento en que se percibe un riesgo hasta que el cerebro lo reconoce. Normalmente esta percepción dura alrededor de 0.75seg.

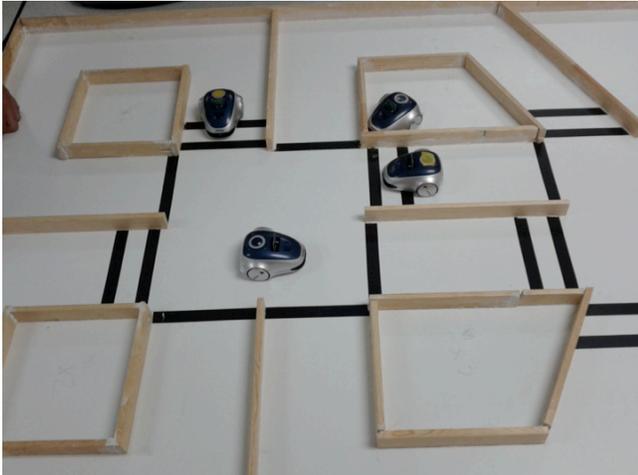
D_r representa la distancia de reacción y corresponde a la distancia que recorre desde que el cerebro manda la señal para quitar el pie del acelerador hasta que el pie está presionando ya el pedal del freno. Ese tiempo de respuesta es igual a 0.75seg.

D_f representa la distancia de frenado, la cual es la distancia que recorre el vehículo desde que acciona los frenos hasta su detención completa. La distancia de frenado se calcula con la ecuación ec2:

$$D_f = \frac{V^2}{170} \tag{ec2}$$

La velocidad (V) se debe expresar en km/h y el denominador 170 es constante. A la distancia total de frenado se le debe de añadir la latencia producida por

nuestro protocolo para poder detectar la distancia total necesaria para que el vehículo se detenga por completo y se evite una colisión. Por parte de los parámetros de distancia de percepción y de distancia de reacción, si en promedio duran 0.75seg cada uno, considerando la velocidad de 50km/h, tendríamos que recorren una distancia de aproximadamente 10.41mts.



De lo anterior podemos concluir que en el peor de los casos para *SIPreCol-V2X* la distancia necesaria para el frenado total de un vehículo sería de 38.21m. Con esa distancia y por la distancia a la que se colocan los indicadores se tiene que es suficiente para poder prevenir un accidente.

Por lo tanto se puede observar que la latencia obtenida por *SIPreCol-V2X* es adecuada para este tipo de aplicaciones y que en general el sistema propuesto si puede verse como una herramienta de gran utilidad para la prevención de colisiones en intersecciones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó *SIPreCol-V2X*, un sistema inteligente para prevención de colisiones en intersecciones de zonas urbanas. Este sistema hace uso de los dos modos de comunicación utilizados en las redes vehiculares.

Uno de los puntos críticos del desarrollo de este tipo de aplicaciones es la latencia. Los resultados obtenidos mostraron el buen desempeño de *SIPreCol-V2X*, demostrando que las latencias obtenidas mediante este sistema permiten prevenir colisiones de vehículos aproximándose a las intersecciones.

Se observa que mediante nuestra propuesta, los vehículo son avisados de forma que puedan tomar la decisión más adecuada de detenerse o continuar en base a la información recibida de tráfico en la otra avenida. De esta forma se

evitan accidentes o se le da mas flujo al tráfico vehicular mediante la regulación adecuada de los vehículos.

Como trabajo futuro se pretende pasar al siguiente nivel que será la implementación de la plataforma a una escala real, desarrollando la parte electrónica de comunicación y sobre todo realizar un análisis de interfaz que facilite la comunicación de información a los conductores sin ocasionar distracciones..

REFERENCIAS

- [1]. United Nations Population Fundation. Technical report: State of World Population 2007: Unleashing the potential or urban growing. New York, 2007.
- [2] Commission for Global Road Safety. Technical report: Make road safe, a decade of action for road safety. London, 2009.
- [3] S.Yousefi and M. Fathy, “Metrics for performance evaluation of safety applications in vehicular ad hoc networks”, Transport. Vilnius: Technika, 2009, vol. 23, No. 4, pp. 291-299.
- [4] National Highway Traffic Safety Administration, “Vehicle Safety Communications Project Task 3 Final Report, Identify Intelligent Vehicle Safety Applications Enabled by DSRC”, DOT HS S09 S59, Washington, D.C., March 2005.
- [5] Official Website of the U.S. Department of Transportation (DOT). <http://www.rita.dot.gov>. Mayo 2012.
- [6] Official website of the ERTICO Project of the European Union. <http://www.ertico.com>. Mayo 2012.
- [7] Official website of the European Automobile Manufacturers Association. <http://www.acea.be/>. Enero 2012. <http://www.entidadpublicadeltransporte.com>. Marzo 2010.
- [8] Official website of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan. <http://www.mlit.go.jp/>. Febrero 2012.
- [9] Official website of the CVIS Project. <http://www.cvisproject.org/>. Marzo 2012.
- [10] Official website of eCall Project. <http://www.esafetysupport.org/>. Enero 2012.
- [11] Official website of Moway Company. <http://moway-robot.com/en/>