



INSTITUTO TECNOLOGICO DE MEXICALI

**SISTEMA DE DETECCIÓN DE VRUS EN ZONAS DE
RIESGO EMPLEANDO REDES VEHICULARES**

**TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PRESENTA
ING. FRANCISCO JAVIER GUAYANTE SANTACRUZ**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. ARNOLDO DÍAZ RAMÍREZ**



Agradecimientos

Fueron muchas las personas involucradas en la creación de este texto, esta tesis, esta experiencia. Muchas de las cuales no participaron activamente en la investigación y desarrollo de este trabajo impreso. Pero cuya presencia en tiempos de duda, ya sea para compartirme sus palabras de aliento, sus conocimientos o su interés por lo que yo que hacía resultó más importante que cualquier otra cosa. Agradezco a todos y a cada uno de ellos, no solo en este espacio sino en todas las formas posibles. A mis padres, que siempre han estado ahí, preocupados, cariñosos, les agradezco pues por ustedes estoy aquí y por ustedes seguiré adelante. A mis hermanos, por quienes trato de ser una mejor persona, les agradezco por todos los años que hemos compartido. A mis amigos, que se dan el tiempo de escuchar mis desvaríos, les agradezco por hacerme sentir que pertenezco a algo. A Mariel, la persona que siempre estará ahí para arrojarme una cuerda cada vez que caigo al abismo, gracias por seguir a mi lado y hacerme sentir tan único y especial. A mi asesor y maestro, el Dr. Arnoldo Díaz, quien me brindó la oportunidad de pertenecer y contribuir a un excelente grupo de estudiantes e investigadores. A mis compañeros por apoyarme en aquellas áreas que eran desconocidas para mí. A mis maestros, a las autoridades del Instituto Tecnológico de Mexicali, a las autoridades del DGEST por haberme ofrecido los medios para poder seguir adelante.

Muchas gracias a todos, a los que estuvieron, a los que están y a los que sé que estarán por siempre.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo General	1
1.3. Objetivos Específicos	1
1.4. Organización de la Tesis	2
2. Redes Ad Hoc	3
2.1. Redes de Computadoras	3
2.1.1. Clasificación de las Redes de Computadoras	4
2.1.1.1. Clasificación de Redes por Tecnología de Transmisión	4
2.1.1.2. Clasificación de Redes por Escala	5
2.1.1.3. Clasificación de Redes por Medio de Transmisión	6
2.1.2. Protocolos de Comunicación	7
2.1.2.1. Modelo OSI	8
2.2. Redes Inalámbricas	11
2.2.1. WiFi	11
2.2.2. Bluetooth	12
2.3. Redes Ad Hoc	13
2.3.1. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	16
2.3.2. Redes Mesh Inalámbricas (WMN)	17
2.3.3. Redes Ad Hoc Móviles (MANET)	18
2.3.3.1. Protocolos de enrutamiento de una MANET . .	18
3. Redes Vehiculares	22
3.1. Tipos de VANETs	24
3.1.1. V2V	25
3.1.2. V2I	26
3.1.3. HVC	27
3.2. Aplicaciones	27
3.2.1. Aplicaciones relacionadas a la seguridad	27
3.2.1.1. Asistencia	27
3.2.1.2. Información	28
3.2.1.3. Advertencia	28

3.3.2.2. Aplicaciones relacionadas a la comodidad	28
3.3. Retos de las VANETs	29
3.3.1. Espectro de comunicación	29
3.3.2. Tecnología de Acceso Inalámbrico	30
3.3.2.1. Bluetooth	30
3.3.2.2. Red Celular	30
3.3.2.3. WAVE/DSRC	31
3.3.3. Direccionamiento	32
3.3.4. Enrutamiento	32
3.3.4.1. Protocolos de enrutamiento basados en su topología	33
3.3.4.2. Protocolos de enrutamiento basados en posición	33
3.3.4.3. Enrutamiento basado en clusters	35
3.3.4.4. Enrutamiento basado en broadcast	36
3.3.4.5. Enrutamiento Geo Cast	37
3.3.5. Retos socioeconómicos	37
4. Detección de Peatones	39
4.1. Usuarios Vulnerables de los Caminos	40
4.2. Situación de los VRUs en México	43
4.3. Detección de VRU	48
4.3.1. Sistemas en el Vehículo	49
4.3.2. Sistemas llevados por VRUs	50
4.3.3. Sistemas externos	50
5. Trabajo relacionado	51
5.1. Sistemas en Vehículo	51
5.1.1. Sistemas en Vehículo para detectar peatones por medio de visión	51
5.1.1.1. Tecnología de Cámara de Lente Amplio para aplicaciones automotrices	51
5.1.1.2. Detección de obstáculos y reconocimiento de peatones usando una cámara 3D PMD	53
5.1.1.3. Detección de cruces de peatones	53
5.1.2. Sistemas en Vehículo para detectar peatones por medio de sensores	54
5.1.2.1. Detección y clasificación de peatones usando Escáneres Laser	54
5.1.2.2. Modelado numérico de un sistema ADA para la protección de VRU basado en la medición por radar y visión	55
5.2. Sistemas llevados por VRUs	56
5.2.1. WATCH-OVER	56
5.2.2. Técnica de filtrado basado en colaboración para detectar proactivamente peatones en riesgo	57
5.3. Sistemas indirectos	58

5.3.1.	Ko-PER: Detección y rastreo de peatones en intersecciones usando una red de escáneres láser	58
5.3.2.	DRIVE, V1031	59
5.3.3.	DRIVE, V1061	60
6.	Sistema Propuesto	62
6.1.	Arquitectura Propuesta	63
6.1.1.	Módulo de detección de VRUs	64
6.1.1.1.	Unidad de visión	64
6.1.1.2.	Submódulo procesador	64
6.1.1.3.	Unidades de interface	65
6.1.2.	Módulo RSU	65
6.1.3.	Módulo OBU	65
6.2.	Algoritmos Propuestos	66
6.2.1.	Algoritmo Principal	66
6.2.2.	Algoritmo de Detección	67
6.2.3.	Algoritmo de Clasificación	68
6.2.4.	Algoritmo de Movimiento	68
7.	Evaluación y resultados del sistema propuesto	74
7.1.	Dispositivo de Detección de VRUs	74
7.2.	Interface de comunicación	76
7.3.	Evaluación del Sistema de Detección	78
7.3.1.	Posicionamiento del Sensor	78
7.3.2.	Condiciones de la Evaluación.	79
7.3.3.	Resultados de la Evaluación	79
8.	Conclusiones y trabajo futuro	82

Índice de figuras

2.1.	Red de computadoras	4
2.2.	a) Red broadcast. b) Red point-to-point	5
2.3.	Red PAN	5
2.4.	Escala de redes LAN, MAN y WAN.	6
2.5.	Modelo OSI vs Modelo TCP/IP.	8
2.6.	Comunicación a través del modelo OSI.	9
2.7.	WiFi.	12
2.8.	Dispositivos Bluetooth.	13
2.9.	Ad Hoc vs LAN.	14
2.10.	Comunicación Ad Hoc.	15
2.11.	Detección de incendios por redes de sensores inalámbricos.	16
2.12.	Red Inalámbrica Mesh.	17
2.13.	Enlaces en una MANET.	19
3.1.	Diferentes arquitecturas de redes vehiculares.	25
3.2.	VANET tipo V2V.	26
3.3.	VANET tipo V2I.	26
3.4.	VANET tipo HVC.	27
3.5.	DSRC en Estados Unidos.	29
3.6.	Modelo del protocolo WAVE.	32
4.1.	Dos automóviles lado a lado.	40
4.2.	Vulnerable Road Users	41
4.3.	Dummy siendo impactado por vehículo.	42
4.4.	Autopista Arco Norte	44
4.5.	Cantidad de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011. .	44
4.6.	Tipos de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011. .	45
4.7.	Víctimas de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011. .	46
4.8.	Cantidad de víctimas de atropellamientos en México 1997-2011. .	47
4.9.	Causantes de atropellamientos en México 1997-2011.	47
4.10.	Causantes de colisiones con ciclistas en México 1997-2011.	48
5.1.	Zonas ciegas para los conductores en vehículos.	52
5.2.	Distorsión de imágenes debido a cámaras de lente amplio.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

VI

5.3.	Proceso de segmentación en la detección de cruces peatonales.	54
5.4.	Detección por medio de escáneres láser.	55
5.5.	Esquema del funcionamiento del sistema.	56
5.6.	WATCH-OVER.	57
5.7.	Detección proactiva de peatones en riesgo.	58
5.8.	Ko-PER.	59
6.1.	Arquitectura propuesta	63
6.2.	Ejemplo del despliegue del sistema propuesto.	65
6.3.	Área de detección.	66
7.1.	Área de visión del dispositivo D6T-44L.	75
7.2.	Interface I ² C.	76
7.3.	Secuencia de un paquete de bits en I ² C.	77
7.4.	Estructura de los datos de salida del dispositivo D6T-44L.	78
7.5.	Área y posicionamiento vertical del dispositivo D6T-44L.	78
7.6.	Tabla de experimentos y pruebas exitosas	81

Índice de algoritmos

6.1.	Algoritmo Principal	67
6.2.	Algoritmo de Detección	68
6.3.	Algoritmo de Clasificación	68
6.4.	Algoritmo de Clasificación	70
6.5.	Algoritmo de Clasificación, VRU entró por b.	71
6.6.	Algoritmo de Clasificación, VRU entró por c.	72
6.7.	Algoritmo de Clasificación, VRU entró por d.	73

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Dentro del paradigma de los sistemas de transporte inteligente existe un grupo de usuarios cuya vulnerabilidad y poco interés mostrado por los investigadores es de mucha preocupación. La mayoría de los esfuerzos se han concentrado en la eficiencia del flujo de tráfico, de una conducción más inteligente, más verde. Lo cual para nada es malo, todo lo contrario. Sin embargo hay que considerar a los demás usuarios, pues los peatones y ciclistas forman una parte muy importante en el ambiente de tráfico. A pesar de que las interacciones de los peatones con el tráfico son cortas, son muy constantes y necesarios y afectan a todo el esquema. De igual forma los ciclistas, los cuales son una parte integral y que corre más riesgo.

La motivación detrás de esta tesis es ofrecerles a los usuarios más vulnerables del tráfico más seguridad.

1.2. Objetivo General

Desarrollar un sistema de protección indirecto de arquitectura vehículo-infraestructura (Vehicle-to-Infraestructure, V2I) para usuarios vulnerables del camino (Vulnerable Road Users, VRU) que detecte y determine su situación en zonas de riesgo para generar alertas que adviertan a los vehículos cercanos.

1.3. Objetivos Específicos

- Proponer una arquitectura basada en V2I para detectar la presencia de los VRUs en cruces no señalizados.
- Proponer y evaluar una técnica de detección de VRUs.

- Proponer un algoritmo de detección de objetos en movimiento, que además clasifique VRUs de otros objetos y que en base en su dirección de movimiento determine si estos se encuentran o no en riesgo.
- Con el apoyo de la tecnología de redes vehiculares advertir a los vehículos que se aproximan al área sobre la situación de los VRUs.

1.4. Organización de la Tesis

En el capítulo 2 se estudian las redes de computadoras, entre ellas las redes Ad Hoc las cuales son las bases de las redes vehiculares. En el capítulo 3 se estudian los conceptos de sistemas de transportes inteligentes y de redes vehiculares. En el capítulo 4 se estudian las características de los usuarios vulnerables de la carretera, así como también los diversos proyectos desarrollados para su protección. En el capítulo 5 se propone la arquitectura de un sistema de detección de VRUs. En el capítulo 6 se evalúa la arquitectura propuesta en el capítulo anterior y se analiza su eficiencia de acuerdo a los resultados obtenidos. Por último, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones a las que se llegó y el trabajo futuro.

Capítulo 2

Redes Ad Hoc

En los últimos años hemos sido testigos de un inmenso avance tecnológico, muchos aspectos de la vida cotidiana se han hecho más sencillos e incluso se han creado nuevas necesidades. Una de estas nuevas necesidades es la de estar comunicados con el resto del Mundo, de saber que está ocurriendo al otro lado del planeta en menos de un segundo, de tener acceso a una increíble cantidad de fuentes de conocimiento, de mantener contacto con amigos y familiares y de estar siempre informados de lo que sucede a nuestro alrededor.

Las redes de computadoras se han convertido en una parte fundamental del desarrollo humano, tanto en el ámbito social, económico y tecnológico. En un solo día se realizan millones de transferencias bancarias que incluyen compra y venta de productos, pago de servicios, inversiones, transferencias de capital.

Es tal la influencia que han ejercido las redes sobre nuestro estilo de vida que muchos creen que existe una dependencia negativa sobre los dispositivos que nos permiten estar conectados entre sí. Puede ser cierto, sin embargo, el objetivo de la tecnología es hacer de la nuestra una vida más fácil y segura. Y por ello existen miles de aplicaciones que hacen uso de las redes y fueron desarrolladas enfocándose en nuestra comodidad y bienestar.

2.1. Redes de Computadoras

Una red de computadoras es un conjunto de computadoras conectadas entre sí por diferentes medios de comunicación (cables, infrarrojo, microondas, radio frecuencia, etc.) con el objetivo de compartir recursos e información y que estos se encuentren disponibles para todos aquellos que se encuentren conectados a la red independientemente de la ubicación física del recurso y del usuario [36].

Cuando al menos un proceso perteneciente a un dispositivo es capaz de enviar/recibir datos hacia/desde otro proceso existente en un dispositivo remoto se dice que ambos dispositivos se encuentran en red; esto quiere decir que: Cuando existen al menos dos computadoras conectadas entre sí con el fin de intercambiar información y/o recurso, se le llama **Red de Computadoras**,

vease la figura 2.1.



Figura 2.1: Red de computadoras

2.1.1. Clasificación de las Redes de Computadoras

Es difícil clasificar los tipos de redes de computadora debido a la gran variedad de tecnologías existentes. Pero entre todas ellas existen tres categorías que se destacan del resto.

2.1.1.1. Clasificación de Redes por Tecnología de Transmisión

Dentro de esta categoría existen dos tipos de tecnología de transmisión:

- Broadcast Network (Red de Difusión)
- Point-to-Point Network (Red punto a punto)

Las redes broadcast tienen solo un canal de comunicación, el cual es compartido por todas las computadoras conectadas a la red. Los mensajes enviados por una computadora serían recibidos por todas las demás computadoras que se encuentran conectadas a la red, dentro del mensaje enviado, además de la información transmitida, también se encuentra la información que indica quien es el destinatario del mensaje. Cuando una de las computadoras recibe el mensaje, revisa la información incluida en él. Si la computadora que lo recibió es el destinatario procesa el mensaje; de lo contrario, si la computadora no es el destinatario, lo ignora [36].

Este tipo de redes permite indicar al mensaje que será enviado que tiene como destino todas aquellas computadoras pertenecientes a la red. Así, cuando

el mensaje es transmitido, todas las computadoras lo reciben y procesan. Este modo de operación se conoce como **broadcasting** (difusión).

Las redes **point-to-point** consisten en muchas conexiones entre pares individuales de dispositivos, es decir que a pesar de encontrarse múltiples dispositivos conectados entre si, la comunicación se da solamente entre el origen y el destino, requiriendo a veces de pasar a través de una o más computadoras [36]. Debido a esto es posible que existan distintas rutas posibles entre una computadora A y una computadora B, algunas rutas más cortas y eficientes que otras.

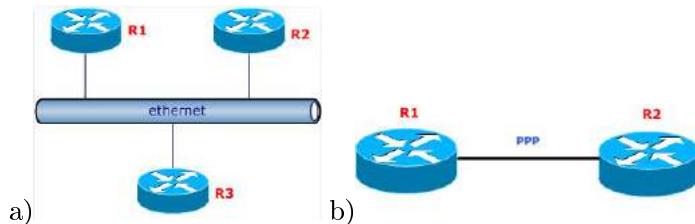


Figura 2.2: a) Red broadcast. b) Red point-to-point

2.1.1.2. Clasificación de Redes por Escala

Esta clasificación divide los tipos de red de acuerdo al área geográfica que abarcan. Dentro de este criterio se encuentran una gran variedad de redes de distintas escalas, a continuación se presentan algunos tipos de redes:

- PAN (Personal Area Network, Red de Área Personal)
- LAN (Local Area Network, Red de Área Local)
- MAN (Metropolitan Area Network, Red de Área Metropolitana)
- WAN (Wide Area Network, Red de Área Extensa)

Una red **PAN** se forma alrededor de un solo individuo y típicamente envuelven computadoras, teléfonos celulares y cualquier otro dispositivo que estén a una distancia menor a 10 metros y que de una u otra forma se conectan entre sí, figura 2.3.

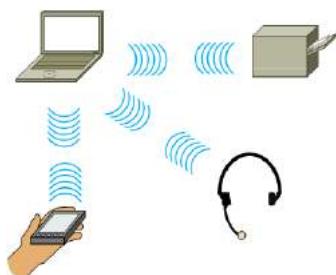


Figura 2.3: Red PAN

Las redes **LAN** son aquellas donde la distancia entre los dispositivos conectados es relativamente corta, no tanto como una red **PAN**, pero lo suficiente como para ser distribuida dentro edificios como escuelas, hogares, empresas, etc. Se caracterizan por manejar transferencias muy altas de datos dentro de áreas geográficas pequeñas.

Una red formada por dos o más **LAN** se conoce como **MAN** y a pesar de conectar múltiples redes entre si, no se extienden más allá de los límites de una ciudad o área metropolitana.

Una **WAN** es una red que abarca mucha más área que una **MAN**, generalmente conectando ciudades con ciudades e incluso países con países. De la misma forma que una **MAN**, este tipo de red conecta múltiples redes **LAN** entre sí a través de ciertos dispositivos conocidos como ruteadores. Internet está considerada como la **WAN** más grande de todo el mundo. En la figura 2.4 se puede ver un esquema que demuestra la forma en se complementan los diferentes tipos de redes de acuerdo a su escala, cabe mencionar el contraste entre este tipo de redes con una red **PAN**. Como se observa, las **WAN** conectan entre si redes **MAN** y **LAN** entre ciudades, países e incluso continentes.



Figura 2.4: Escala de redes LAN, MAN y WAN.

2.1.1.3. Clasificación de Redes por Medio de Transmisión

Esta clasificación comprende los diferentes medios físicos por los cuales viaja la información durante la comunicación entre computadoras pertenecientes a una red. El medio de transmisión es una característica muy importante pues es uno de los determinantes de la calidad presente al transmitir datos [34]. Para los medios de transmisión existen dos categorías:

- Medios guiados
- Medios no guiados

Dentro de los **medios guiados** se encuentran todos aquellos en los que las señales viajan a través de un medio sólido, tales como par trenzado de cobre, cable coaxial de cobre y fibra óptica. En los medios guiados, las características del medio físico resultan de suma importancia al determinar las limitaciones y calidad de la transmisión.

Los **medios no guiados** son aquellos que emplean antenas para transmitir datos a través del aire, del vacío o del agua; en este tipo de medios, el ancho de banda de la señal producida es más importante que el medio al determinar las características de transmisión, pues a mayor ancho de banda, mayor tasa de transmisión de datos.

En los sistemas de transmisión de datos, la velocidad y la distancia son dos puntos que conllevan gran importancia: entre mayor sea la velocidad y distancia a la que son capaces de viajar los datos, mejor [34].

2.1.2. Protocolos de Comunicación

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas y regulaciones requeridas en el intercambio de información que existe dentro de una red computacional. La implementación de los protocolos de comunicación asegura que cualquier dispositivo de red funcione conjuntamente y se comunique de forma eficiente con otros dispositivos independientemente de fabricantes o sistemas operativos. En caso de que los dispositivos no cuenten con los mismos protocolos, la comunicación no puede darse.

Actualmente existen una gran cantidad de protocolos distintos, entre los más conocidos se encuentran Ethernet, FTP, http; cada uno de estos cumplen diferentes tareas para las cuales fueron diseñados exclusivamente. En caso de querer navegar en Internet, se requiere cumplir con varios procesos muy diferentes unos de otros: Es necesario definir el medio de acceso físico a la red, la forma en la que es identificado un dispositivo una vez que accesa a la red, etc. Crear un solo protocolo que cumpla con estas y otras funciones es bastante complicado, por eso para hacer más fácil su diseño se emplean diferentes protocolos que se encuentran estructurados usando un esquema de capas como base. Es decir, en vez de utilizar un solo protocolo universal para administrar las tareas requeridas para navegar por internet, se creó un conjunto de protocolos que cooperan entre sí.

Para visualizar esta interacción entre varios protocolos, es común utilizar un esquema de capas. Un modelo en capas muestra las funciones de los protocolos capa por capa y de igual forma muestra la interacción que existe entre cada una de ellas. Existen dos tipos de modelos: El **modelo de referencia** y el **modelo de protocolo**.

Los **modelos de protocolo**, describen cada función realizada en cada una de las capas de acuerdo a la estructura de un protocolo en particular. El modelo TCP/IP, el cual es un conjunto de protocolos que nos permiten accesar y navegar en Internet, es un ejemplo de un modelo de protocolo, ya que en cada capa se definen exclusivamente las funciones que se producen dentro del conjunto TCP/IP.

Un **modelo de referencia**, como su nombre lo indica, proporciona una referencia común que sirve como base en todo tipo de protocolos y servicios de red. El propósito de esta clase de modelo, es asistir en la comprensión de las funciones y procesos involucrados. El modelo de referencia más conocido es el Modelo de Interconexión de Sistema Abierto (OSI). En la figura 2.5 se pueden observar las diferencias entre el Modelo OSI y el Modelo TCP/IP.



Figura 2.5: Modelo OSI vs Modelo TCP/IP.

2.1.2.1. Modelo OSI

El modelo OSI fue desarrollado en 1984 por la organización internacional de estándares (ISO). Este modelo está formado por siete capas que definen las diferentes fases por las que deben pasar los datos para viajar de un dispositivo a otro sobre una red, el flujo de transmisión y recepción de datos puede observarse en la figura 2.6.



Figura 2.6: Comunicación a través del modelo OSI.

Un dispositivo electrónico conectado a una red de computadoras capaz de transmitir, recibir o reenviar información a través de un canal de comunicación es llamado **nodo**, de ahora en adelante cada vez que se mencione el término nodo se referirá a cualquier dispositivo que cumpla con las características mencionadas será llamado **nodo**.

Las siete capas en las que se encuentra dividido este modelo son:

Capa Física Es la capa más baja del protocolo, se encarga de la transmisión y recepción de la secuencia de bits en bruto y sin estructura a través de un medio físico. Describe las interfaces eléctricas, ópticas, mecánicas y funcionales del medio físico, además de llevar las señales para las capas más altas. Entre sus funciones se encuentran:

- Define la relación entre un dispositivo capaz de enviar, recibir o retransmitir información y el medio de transmisión físico (El acomodo de los pins, voltajes, especificaciones del cable, frecuencia de la señal, adaptadores de red, hubs, repetidores y más).
- Define el protocolo encargado de establecer y terminar una conexión entre dos dispositivos conectados directamente a través de un medio.
- La modulación o conversión entre la representación de una señal digital en la computadora y las señales correspondientes transmitidas a través de un canal de comunicación.

Capa de Enlace de Datos Esta capa provee una transferencia libre de errores de tramas de datos, las cuales son unidades digitales de transmisión de datos, desde un nodo a otro a través de la capa física, permitiendo a las capas superiores asumir control sobre un enlace virtualmente exento de errores. Algunas de sus funciones son:

- Establecer y terminar el enlace lógico entre dos nodos conectados entre sí.
- Transmitir y recibir tramas de forma secuencial.
- Detectar y corregir errores que ocurrieron en la capa física
- Determinar cuándo un nodo tiene oportunidad de usar el medio físico.

Capa de Red Esta capa controla la operación de la red, decidiendo que ruta física deben tomar los datos basándose en las condiciones de la red, prioridades del servicio. Entre sus funciones tenemos;

- Enrutamiento: Dirige a las tramas de datos a través de la red hasta llegar a su destino.
- Traducir las direcciones lógicas de los nodos en direcciones físicas que pueden ser comprendidas por la computadora.

Capa de Transporte Permite el envío exento de errores de paquetes de datos entre nodos localizados en una red, en secuencia, sin pérdidas o duplicados. Esto libera a las capas superiores de cualquier preocupación con respecto a la transferencia de datos. Esta capa proporciona:

- Segmentación de datos: Al recibir un mensaje de la siguiente capa superior, lo divide en unidades más pequeñas para ser pasadas a la capa de red. La capa de transporte en la estación de destino reconstruye el mensaje.
- Reconocimiento de mensaje: Provee una entrega confiable del mensaje con una respuesta.
- Es capaz de mantener varios flujos de mensajes en un solo enlace lógico y mantiene un seguimiento sobre que mensajes pertenecen a que sesiones.

Capa de Sesión Se encarga de mantener la comunicación entre dos dispositivos que se encuentran transmitiendo datos entre sí. Es decir, debe asegurar que dada una sesión establecida entre dispositivos de red, la misma se puede efectuar para toda operación requerida de inicio a fin, reanudándose en caso de interrupción.

Capa de Presentación Su objetivo es proporcionar una representación común de los datos transferidos. Es decir, como si fuera una especie de traductor para que ambos dispositivos puedan reconocer la información. Entre sus funciones se pueden encontrar:

- Traducción de códigos de caracteres: por ejemplo, ASCII a EBCDIC.
- Conversión de datos
- Compresión de datos
- Encriptación de datos

Capa de Aplicación Ofrece a las aplicaciones la capacidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico, gestores de base de datos, etc.

2.2. Redes Inalámbricas

Como su nombre lo indica, son aquellas redes en las que la comunicación se da por medios inalámbricos (generalmente ondas de radio) eliminando la necesidad de cables. Esto es lo que ha hecho tan popular a este tipo de redes hoy en día, debido a que los cables ya no son requeridos el costo de implementación es reducido y el de mantenimiento a la infraestructura es nulo.

Entre este tipo de redes se encuentran las redes WiFi, Bluetooth y Ad Hoc, entre otras. Cada una de estas redes inalámbricas emplea protocolos de comunicación distintos de acuerdo a las necesidades de cada red.

2.2.1. WiFi

Es la tecnología de red inalámbrica más popular en la actualidad, debido a su capacidad de transmisión de corto alcance se considera como una WLAN (Wireless Local Area Network) se basa en varios tipos de protocolos que tienen como base el protocolo IEEE 802.11. Los dispositivos habilitados con Wi-Fi desde cualquier lugar dentro del rango de transmisión pueden conectarse a la red a través de un punto de acceso de red inalámbrica por medio de radio frecuencia, generalmente los puntos de acceso cuentan con un alcance de al menos 20 metros en interiores.

A pesar de su popularidad, WiFi cuenta con un problema muy grave, el cual es la leve seguridad con la que se topan los dispositivos que se conectan a través de esta tecnología. Violar la seguridad de una red WiFi es muy sencillo, por ello son requeridos métodos más exigentes que en redes convencionales para evitar el acceso a usuarios o procesos no deseados, como lo son **WEP**, **WPA** y **WPA2**.



Figura 2.7: WiFi.

Cualquier dispositivo habilitado para comunicarse a través de redes inalámbricas puede conectarse a otras redes por medio de una red WiFi a través de un punto de acceso.

2.2.2. Bluetooth

La tecnología de red bluetooth debido a sus capacidades de alcance pertenece al grupo de redes WPAN (Wireless Personal Area Network), este tipo de redes permite la conexión entre dispositivos por medio de radio frecuencia ofreciendo un alto grado de seguridad.

Esta tecnología permite la creación de pequeñas redes entre los dispositivos que requieren comunicación en el momento. Es muy común encontrar esta tecnología en dispositivos que requieren establecer rápidamente un enlace a corto alcance para transmitir información que no requiere un ancho de banda alto; dispositivos como teléfonos celulares, audífonos, mouse inalámbricos, consolas de videojuegos, etc. Se basa en el protocolo 802.15 y su rango puede ir desde 5 hasta 30 metros.



Figura 2.8: Dispositivos Bluetooth.

Originalmente, la tecnología detrás de Bluetooth fue diseñada para permitir la comunicación entre teléfonos celulares y computadoras. Ahora es muy común encontrarla en cualquier dispositivo electrónico que requiere algún tipo de conexión, figura 2.8.

2.3. Redes Ad Hoc

El origen de las redes Ad Hoc data de los años 70. Fueron desarrolladas por las Fuerzas de Defensa de los Estados Unidos de América para cumplir con el sistema militar. El objetivo era desplegar rápidamente y bajo cualquier circunstancia una red robusta, reactiva y móvil. Después, este tipo de red resultó ser útil en campos industriales y comerciales, operaciones de rescate y de exploración.

Una red Ad Hoc se compone de nodos equipados con dispositivos capaces de transmitir y recibir información de forma inalámbrica y los cuales se encuentran conectados de forma arbitraria y no fija. Las redes Ad Hoc conceptualmente se caracterizan por ser autónomas, dinámicas y enfocadas a un objetivo específico. Se dice que son autónomas, pues al compararlas con aquellas redes inalámbricas cuya topología es fija, no existe la relación Maestro-Esclavo. En las redes Ad Hoc todos los dispositivos tienen el mismo nivel jerárquico, además de que los nodos inalámbricos no dependen de un punto de acceso para poder comunicarse, sino dependen unos de otros, esto quiere decir que cada nodo actúa como ruteador cuando se es requerido. También en lo que respecta al control y administración de una red Ad Hoc, estas funciones se distribuyen entre los nodos pertenecientes a la red; cada nodo es responsable de transmitir los paquetes a otros nodos en la red. Los nodos también colaboran entre sí para implementar funciones de rutina en la red, funciones tal como la seguridad.

De acuerdo a la aplicación, a veces se requiere que los nodos en este tipo de red se encuentren en movimiento, o muchas veces debido a consecuencias externas llega a perderse el enlace con uno o varios nodos; estos casos traen como consecuencia un cambio drástico en la topología de la red, a veces rápido y de forma impredecible. Pero a pesar de estos cambios, la red debe seguir

funcionando y adaptarse a estos de forma rápida, eficiente y confiable, por ello los nodos son autoconfigurables y cuentan con los protocolos de enrutamiento necesarios para adaptarse a las diferentes topologías. En la figura 2.9 se puede observar a la izquierda un ejemplo de la topología de una red Ad Hoc, en la cual se puede dar comunicación entre cualquier dispositivo sin necesidad de un punto de acceso y sin jerarquizaciones. Este tipo de redes no tiene una estructura fija y no se ve afectada por cambios drásticos en la topología. En cambio, una red fija, como una LAN mostrada a la derecha los dispositivos requieren de un maestro que los conecte entre sí.

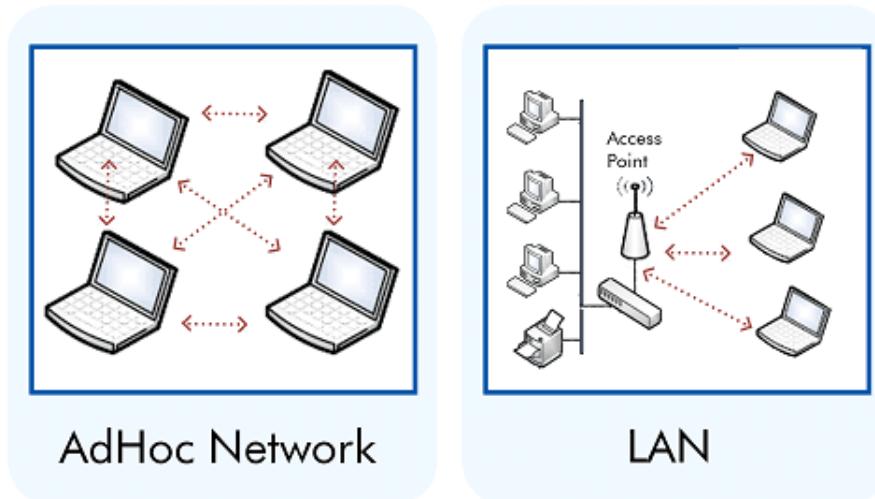


Figura 2.9: Ad Hoc vs LAN.

Una de las características más importantes en una red Ad Hoc es que un paquete puede viajar desde un nodo fuente a un nodo destino tanto de forma directa o a través de un conjunto de nodos intermediarios que se encargan de retransmitir el paquete hasta que llegue a su destino [4].

Como se mencionó anteriormente, todos los nodos cuentan con la capacidad de funcionar como hosts y/o ruteadores, depende de cuál sea la función necesaria en ese instante. Los paquetes transmitidos por un nodo son recibidos por todos los nodos que se encuentren dentro de su rango de transmisión, esto es debido al **broadcast**, el cual es una propiedad natural de las comunicaciones inalámbricas [19].

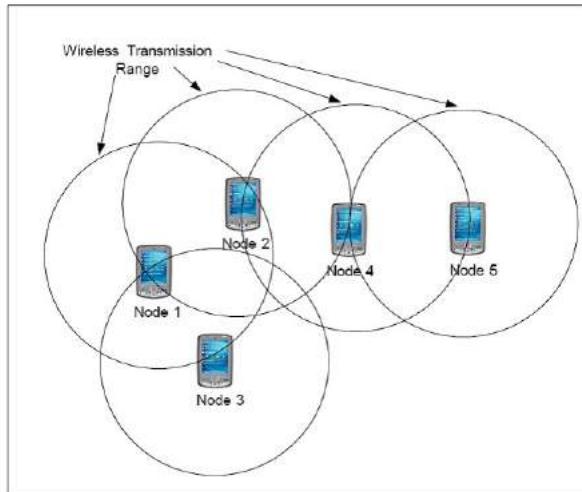


Figura 2.10: Comunicación Ad Hoc.

En la figura 2.10 se observa un ejemplo de la transmisión de paquetes de una red Ad Hoc. Considerando que el Nodo 1 desea enviar un paquete al nodo 5 y como se puede observar este no se encuentra dentro de su rango de transmisión (representado por el círculo que lo rodea). El Nodo 1 envía el paquete a todos los nodos que se encuentran dentro de su rango de transmisión. Esto significa que solamente los nodos 2 y 3 recibirán el paquete. Una vez que lo han recibido se encargan de retransmitirlo a los nodos más cercanos evitando aquellos nodos que ya realizaron su función (para este caso el nodo 1). El nodo 4 ahora es el que recibe el paquete, como se ve en la imagen, el nodo 5 se encuentra dentro del rango del nodo 4, por lo tanto este último procede a retransmitir el mensaje a su destino.

El significado de Ad Hoc proviene de la traducción del latín “Para esto”, esto quiere decir que las redes Ad Hoc se emplean solamente para casos específicos, donde está bien definida la función que van a realizar los nodos inalámbricos y las unidades procesadoras de datos unidas a estos. Esto trae consigo bastantes ventajas, entre las más importantes es la simplicidad que ofrecen durante la configuración y desarrollo de aplicaciones, pues solo hay que enfocarse en las tareas determinadas y no más; otra ventaja es el bajo costo que trae consigo la implementación y mantenimiento de los equipos pertenecientes a la red. Debido a las características ya mencionadas de una red Ad Hoc, es posible que los nodos dentro de esta se encuentren en movimiento.

Las redes Ad Hoc pueden dividirse en tres categorías de acuerdo a su aplicación:

2.3.1. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Una red de sensores inalámbricos consiste en sensores autónomos distribuidos espacialmente con el objetivo de monitorear condiciones físicas o ambientales (Temperatura, sonido, presión, etc.) y de forma cooperativa enviar los datos obtenidos a través de la red hasta un equipo central. Los sensores autónomos son nodos inalámbricos habilitados para una red Ad Hoc complementados con sensores, un microprocesador y una fuente de energía, generalmente una batería. Este tipo de redes se utiliza en espacios donde se es requerido medir algún parámetro y donde el elemento humano no es necesario o existen riesgos para este.

Debido a su autonomía, el consumo energético de cada nodo se encuentra restringido, comúnmente se encuentran en estado de espera consumiendo lo mínimo de energía, pero al detectar un evento o ciertos parámetros críticos, comienzan a transmitir datos a la central. Los nodos también deben de ser capaces de soportar condiciones adversas, ya sea por causa del clima u otros factores.

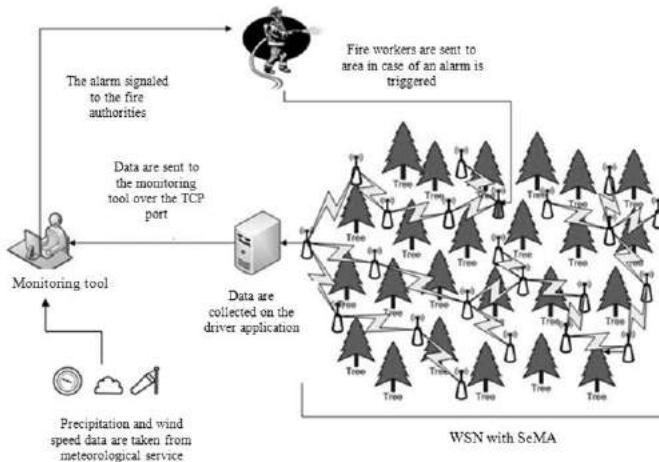


Figura 2.11: Detección de incendios por redes de sensores inalámbricos.

Un ejemplo de las redes de sensores inalámbricos se puede ver en la detección de incendios forestales, presentado en la figura 2.11. Los nodos son equipados con sensores de temperatura, humedad y gases que son producidos por árboles y demás flora al incendiarse. Al detectar las condiciones que indican un incendio, los nodos comienzan a transmitir la información alertando a las autoridades (Bomberos, guardabosques, brigadas de rescate.). Con esto es posible rastrear el inicio del incendio, detenerlo en fase temprana e incluso evaluar las causas de este [6].

2.3.2. Redes Mesh Inalámbricas (WMN)

Una red Mesh Inalámbrica es aquella red que mezcla las propiedades de una red Ad Hoc y de una red fija. Los nodos en este tipo de redes consisten en ruteadores mesh y clientes mesh, donde los ruteadores mesh cuentan con una movilidad mínima y forman la base de la red, mientras que los clientes pueden encontrarse en movimiento. Todos los nodos se encuentran conectados entre si, en una topología de mallas creando de esta forma una red más amplia. Al igual que en una red Ad Hoc, los nodos tienen la capacidad de transmitir paquetes en representación de aquellos nodos que no se encuentran en el rango de transmisión directo de su destino; de igual forma una red mesh inalámbrica es dinámicamente auto-organizable y auto-configurable, los nodos se encargan de establecer y mantener la conectividad entre ellos aun cuando un nodo llegara a fallar, ya que de ser así, los demás nodos buscarían nuevas rutas para transmitir paquetes [2].

Los ruteadores mesh proveen acceso de red tanto a clientes mesh como a clientes convencionales (Teléfonos celulares, computadoras, etc.) además de permitir la integración con otras redes, tales como Internet, red celular, WiFi, Bluetooth, redes de sensores, etc. Esto trae consigo una gran cantidad de ventajas y aplicaciones: La ampliación de redes WiFi al incluir múltiples puntos de acceso dentro de la red mesh, permitiendo a los clientes seguir conectados a Internet sin importar que se encuentren lejos del rango de transmisión original. Reducción del costo de infraestructura, pues la implementación de ruteadores mesh reduciría considerablemente el uso de cables.

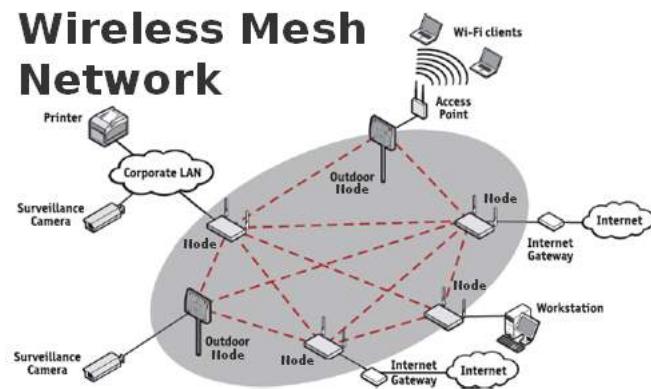


Figura 2.12: Red Inalámbrica Mesh.

Las propiedades de las WMN ofrecen la creación de una red inalámbrica más amplia, lo cual permite a los usuarios seguir conectados a la red sin importar donde se encuentren, mientras sigan dentro de la WMN.

2.3.3. Redes Ad Hoc Móviles (MANET)

Como su nombre lo indica, las MANET son redes Ad Hoc en las cuales los nodos se encuentran en movimiento. Cada dispositivo dentro de la red tiene la libertad de moverse en cualquier dirección, de forma arbitraria e independientemente del resto de los nodos, esto trae como consecuencia cambios aún más drásticos en la topología de red, a veces alterando o rompiendo los enlaces de comunicación entre nodos [9].

2.3.3.1. Protocolos de enrutamiento de una MANET

Las redes Ad Hoc y sus distintas áreas aún tienen mucho camino por recorrer, actualmente son el centro de investigaciones en el área de Redes Inalámbricas pues son más las ventajas que ofrece y en un futuro su implementación será tan común como lo es WiFi. Una de las áreas de oportunidad más grande en las redes Ad Hoc y que ha sido uno de los principales temas de investigación es el encontrar un protocolo de enrutamiento eficiente, como se habrán dado cuenta, la peculiaridad de los nodos que trabajan dentro de una red Ad Hoc es la de encontrar diferentes rutas para transmitir paquetes, tarea fácil si se tratara de una simple red fija, pero hablamos de una red que cambia su topología de acuerdo a la necesidad del momento y debido a la autonomía que requieren ciertas aplicaciones, es importante conservar la energía restringiendo los rangos de transmisión de los nodos [33].

En el tema de protocolos se habló brevemente sobre el término **enrutamiento**, el cuál es el proceso que realizan los nodos de encontrar el camino entre un nodo fuente y un nodo destino en una red. Puede ser directamente o pasando a través de distintos nodos, pero siempre buscando la ruta más eficiente. Para ello existen los protocolos de enrutamiento, los cuales son necesarios cada vez que se requiera transmitir un paquete a un destino y que requiere pasar a través de un número de nodos.

Con lo dicho en el párrafo anterior se puede inferir que los protocolos de enrutamiento aplicados a las redes fijas no muestran el mismo desempeño en las redes **MANET**. En estas redes se requiere que los protocolos de enrutamiento sean más dinámicos de tal forma que respondan de forma rápida ante las alteraciones de la topología.

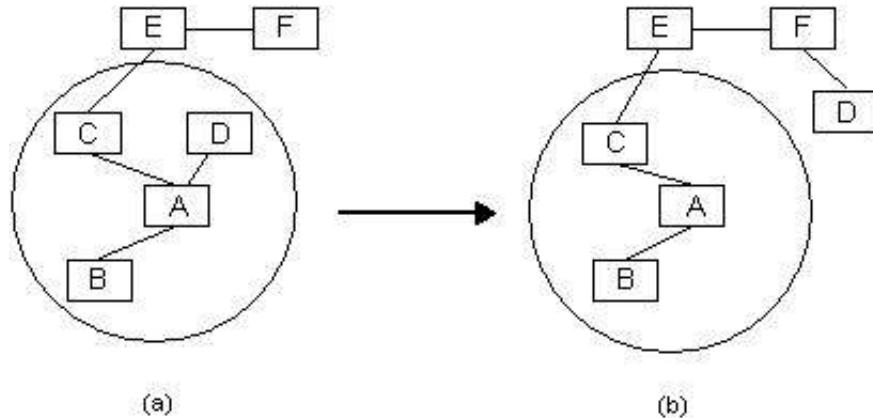


Figura 2.13: Enlaces en una MANET.

En una MANET, en un momento dado, los enlaces entre los nodos se dan de una forma como en la figura 2.13 a). Pero debido al movimiento que pueden presentar algunos nodos, en este caso el nodo E. Se modifica la topología, el enlace entre D y A desaparece. Sin embargo se forma un nuevo enlace entre F y D como se ve en 2.13 b). Esto significa que en caso de que A requiera comunicarse con D, el nodo origen deberá encontrar una nueva ruta para comunicarse con su destino.

Para el caso de las redes Ad Hoc se han propuesto varios protocolos de enrutamiento, los cuales podemos dividir en dos categorías:

Proactivos En los protocolos proactivos, periódicamente se envía información sobre todas las posibles rutas, independientemente de que estas sean o no requeridas, para que en cualquier momento, cualquier nodo pueda comunicarse con otro nodo perteneciente a la red; cada nodo usa esta información para almacenar la localización de otros nodos en la red. Esta característica proporciona una respuesta rápida ante las solicitudes de ruta generadas por los nodos, además de ofrecer un buen comportamiento ante situaciones donde la tasa de movilidad es alta [25].

Entre las desventajas, este tipo de protocolos es propenso a bucles de enruteamiento. La sobrecarga que se introduce en la red con información de control es alta; además de mantener una revisión constante de la red, lo cual es un problema, pues al encontrar un cambio en la topología de red, donde el tráfico realmente no es afectado, el protocolo reacciona al cambio generando costos innecesarios en la red. No es muy recomendable utilizar este tipo de protocolos en situaciones donde el tráfico de datos es muy ligero y mucho menos en situaciones donde los recursos como la potencia y el rango de transmisión son limitados.

Destination Sequenced Distance Vector (DSDV, Vector de distancia de Destino Secuenciado) Este protocolo consiste en que cada nodo man-

tiene una tabla de enrutamiento la cual contiene una lista de todos los nodos destino conocidos dentro de la red, así como los saltos necesarios para llegar a un nodo en particular. Cada entrada de la tabla está marcada con un número de secuencia asignado por el nodo destino. Estos números de secuencia son usados para diferenciar rutas frescas y viejas y evitar la formación de ciclos. Cada nodo está asociado con un número de secuencia y el valor de este es incrementado solamente por el nodo con el que el número está relacionado. Suponiendo que un nodo recibe dos paquetes de actualización de la misma fuente pero que viajaron por diferentes rutas, el nodo receptor decide que actualización incorporar en su tabla de enrutamiento basándose en el número de secuencia. Un número de secuencia mayor denota una actualización más reciente enviada por el nodo fuente. De esta forma actualiza su tabla de enrutamiento con la información más actual y de esta forma evitar rutas cíclicas o falsas [15].

Los nodos intercambian actualizaciones de ruta cada vez que detectan un cambio en la topología. Cuando un nodo recibe un paquete de actualización, revisa el número de secuencia del paquete. Si la información en el paquete es más vieja que la que contiene el nodo receptor en su tabla, entonces el paquete es rechazado. De otra forma, si la información es reciente, la tabla del nodo receptor es actualizada. El paquete actualizado es entonces transmitido a todos los nodos vecinos (excepto el nodo de donde viene el paquete).

Reactivos Los protocolos de enrutamiento reactivos solo crean rutas cuando es necesario. No existen actualizaciones sobre todas las rutas posibles, sino se enfoca en las rutas que ya fueron usadas o que fueron establecidas. Cuando un nodo requiere comunicarse con otro, del cual no contiene ninguna ruta almacenada, comienza un proceso de descubrimiento de rutas, el cual pasa nodo por nodo hasta llegar a su destino o encuentra a un nodo que conoce una ruta hacia el destino. La sobrecarga de información es mucho menor que en los protocolos proactivos, pero los retrasos al establecer rutas son mayores [25].

Los protocolos reactivos se consideran eficientes en situaciones donde el descubrimiento de rutas es menor que la transferencia de datos, esto es debido a que el tráfico de red ocasionado por el descubrimiento de rutas es bajo comparado con el ancho de banda total de la comunicación. Esto hace a los protocolos reactivos más adecuados para redes grandes con tráfico ligero.

DSR y AODV son de los protocolos de encaminamiento más utilizados en cuanto a reactivos se refiere.

Dinamic Source Routing (DRS, Enrutamiento de origen dinámico) Es un protocolo de enrutamiento bajo demanda en el cual, el nodo que envia el paquete conoce la ruta que debe seguir salto por salto entre nodos hasta llegar a su destino. Estas rutas son almacenadas en un caché de rutas y son transmitidas a otros nodos dentro del paquete.

Cuando un nodo dentro de la red intenta enviar un paquete a un destino a través de una ruta que no conoce, usa un proceso de descubrimientos de rutas para determinar de una forma dinámica Este proceso consiste en enviar a través

de toda la red, haciendo un broadcast de paquetes de petición de ruta (**Route Request RRQ**). Cada nodo que lo recibe realiza otro broadcast a menos que sea el destino o que ya tenga información sobre la ruta dentro de su caché de rutas. De ser así, el nodo responde con una respuesta de ruta (**Route Reply RREP**) la cual es enviada al nodo origen. Los paquetes **RREQ** y **RREP** también son almacenados en el caché. **RREP** utiliza la misma ruta utilizada por **RRQ** pero de forma contraria y la ruta seguida por **RREP** es almacenada para futuras referencias.

Si algún vínculo entre nodos, almacenado dentro de la ruta está roto, el código fuente es notificado usando un paquete de error de ruta (**Route Error RERR**), la fuente entonces remueve cualquier ruta que emplea este vínculo de su caché. En caso de necesitar la ruta, se debe iniciar otro proceso de descubrimiento de rutas [28].

Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV, Vector de distancia Ad Hoc bajo demanda) Este protocolo consiste en crear rutas en base a la demanda de estas de forma similar a DSR, sin embargo, en la forma en la que se mantienen las rutas descubiertas es donde son diferentes. Con DSR el nodo origen guarda en su caché la ruta completa, nodo tras nodo, que debe seguir su paquete para llegar a determinado destino. Sin embargo en AODV, el nodo origen y los nodos intermedios guardan la información correspondiente solamente al siguiente salto que debe seguir el paquete.

Cuando un nodo requiere enviar un paquete a un nodo a través de una ruta desconocida, inicia el proceso de exploración el cual consiste en enviar a través de un broadcast un **RREQ** a través de la red, este **RREQ** contiene información sobre el número de secuencias realizadas, el cual aumenta monótonamente cada vez que un nodo recibe un paquete y antes de ser retransmitido con la información actualizada. Una vez que estos nodos recibieron el paquete lo retransmiten a otros nodos, siempre guardando en una tabla la ruta que ha seguido el paquete desde su origen. Una vez que el paquete llega a su destino o a un nodo que tiene información de la ruta hacia el destino, el nodo envía el paquete de regreso a través de una ruta de reversa hacia el origen. Si un nodo intermedio recibe el **RREQ** y tiene información sobre la ruta hacia el destino, envía un **RREP** al nodo del que recibió el paquete, este último hace lo mismo y así hasta volver al origen. Esto es posible gracias al camino de la ruta de reversa. Mientras el paquete regresa al origen, la ruta de reverse se convierte en la ruta de envío que utilizará el paquete una vez que sea enviado, este viajará de la misma forma que lo hizo el **RREP** durante su ruta de reversa.

Si uno de los enlaces en la ruta de envío se rompe, el nodo intermedio que sufrió el rompimiento envía un **RREP** a todas las fuentes que usan esa ruta de envío para informarles de la falla en el enlace, una vez que todas las fuentes han sido notificadas, se inicia un nuevo procedimiento de descubrimiento [15].

Capítulo 3

Redes Vehiculares

La idea de un vehículo inteligente no es nueva, con el paso de los años se han diseñado y fabricado vehículos cada vez más amables para el usuario y para el medio ambiente, más seguros para los usuarios que están dentro y fuera del vehículo. Hemos visto como varias herramientas tales como el frenado Break-by-Wire, los sistemas de posicionamiento global (GPS), módulos (sensores, procesadores) de control para bolsas de aire, sistemas inteligentes de aparcamiento, por mencionar unos pocos. Estos avances ofrecen mayor facilidad y garantía de que en caso de que suceda algún percance, siempre se buscará la forma de que el daño para los usuarios sea el mínimo.

Todos esos sistemas embebidos en los vehículos se comunican entre sí: sensores, procesadores y actuadores. Y se movilizan solamente para la comodidad del usuario o cuando su integridad está en riesgo. Pero si se pudiera tomar la información que es enviada a través de esos sistemas y fuera distribuida a otros usuarios y vehículos, sería posible reducir el número de accidentes o de aminorar el daño ocasionado.

ITS (Intelligent Transportation Systems, Sistema de Transporte Inteligentes) son un conjunto de soluciones basadas en el uso de tecnologías de información y comunicación con el fin de mejorar la interacción existente entre usuarios, vehículos terrestres y carreteras y como consecuencia hacer más eficiente la seguridad y movilidad de los usuarios [14]. Este paradigma tiene como su principal meta:

- Ofrecer a los usuarios mayor seguridad durante su viaje, esto implica disminuir las muertes, heridos y demás consecuencias de accidentes automovilísticos.
- Proveer a los usuarios con información en tiempo real sobre el vehículo y las carreteras que los guiará a tomar decisiones más eficientes y sustentables sobre sus rutas de viaje, forma de manejar, etc.

Dentro del sin fin de proyectos relacionados con **ITS** hay un área dedicada a la investigación del posible intercambio de datos entre vehículos por medios

inalámbricos. Esta idea no es nueva, viene desde los años 80s. Pero las limitaciones tecnológicas de aquel entonces no permitían el desarrollo de un proyecto tan ambicioso como lo es crear una red compuesta por vehículos motrices y toda la infraestructura de tránsito que los apoya.

Hoy en día, el desarrollo e implementación de una red vehicular es posible debido a varios factores: El éxito y popularidad que gozan las nuevas tecnologías de red inalámbricas como método de comunicación entre dispositivos permitiendo crear herramientas de comunicación cada vez menos costosas. El creciente interés de las empresas automotrices y los gobiernos de distintos países por desarrollar vehículos inteligentes, proporcionando a los investigadores con herramientas y recursos para trabajar con este proyecto.

VANET (Vehicular Ad Hoc Network) es un tipo de MANET que propone la comunicación e interacción inalámbrica entre vehículos motrices e infraestructura fija de tránsito [13].

Al ser un tipo de MANET, una red **VANET** comparte ciertas características, como el movimiento de los nodos, el cambio incessante de su topología. Una red vehicular se caracteriza por [40, 7, 26, 35]:

- Los nodos se mueven sobre caminos definidos, por lo que sus rutas de movimiento no son tan complejas. Además de que actualmente se cuentan con herramientas como sistemas de posicionamiento global y tecnologías basadas en mapas, con estas herramientas e información respecto a la velocidad promedio, velocidad actual y trayectoria del camino es posible predecir la futura posición de un vehículo.
- Los nodos, al tratarse de vehículos motrices tienen la capacidad de desplazarse a altas velocidades. Pero estas dependen de los límites de velocidad asignados y de las condiciones presentes del tráfico.
- En una red **VANET** no hay limitaciones con respecto a las fuentes de poder que alimentan a los sistemas de sensores, transmisores/receptores y controladores. Ya que el mismo vehículo puede proveer continuamente la energía requerida por los sistemas de transmisión y procesamiento.
- Un vehículo puede permitirse una gran capacidad de computación, comunicación y de sistemas de sensores.

Sin embargo, existen ciertas características que ofrecen un reto al desarrollo y aplicación de este tipo de redes:

- La velocidad a la que se mueven los nodos no les permite mantenerse en el rango de algún sistema de infraestructura fija de tránsito por más de 10 o 20 segundos.
- Generalmente en el diseño de una red Ad Hoc se asume un tamaño de red limitado, una red vehicular puede llegar a extenderse a través de toda la red de calles y por lo tanto incluir hasta miles de nodos conectados entre sí.

- El ambiente en el cual una red vehicular puede operar es extremadamente dinámico y pueden darse situaciones muy contrastantes. En una carretera, donde se pueden alcanzar velocidades muy altas, puede existir una densidad de 1 a 2 vehículos por cada kilómetro. Mientras que en una ciudad, donde las velocidades se encuentran limitadas la densidad de vehículos puede llegar a ser muy alta y más en horas pico o zonas que se caracterizan por altas congestiones.
- Las redes vehiculares pueden ser divididas frecuentemente. La naturaleza dinámica del tráfico puede traer como consecuencia que un grupo de nodos se encuentre aislado del resto debido a distancias de separación muy grande con otros grupos.
- Las condiciones de la comunicación entre nodos son muy variables. Las señales de transmisión pueden ser bloqueadas por edificios, los nodos se pueden encontrar separados por largas distancias.
- Dado que los vehículos se mueven y cambian de posición constantemente, los escenarios son muy dinámicos. Los cambios de topología de red son muy frecuentes ya que los enlaces entre nodos son conectados y desconectados muy seguido.
- Una red vehicular depende de dos factores muy importantes: El rango de comunicación inalámbrico y la cantidad de vehículos participantes.

La novedad de estas redes ha despertado un enorme interés por parte de las autoridades de varios gobiernos y organizaciones de estandarización. En todo el mundo se ha mostrado un genuino interés en los sistemas de comunicaciones de rango corto dedicadas (**DSRC, Dedicated Short-Range Communications**), los cuales son sistemas inalámbricos de corto y mediano alcance que permiten transmisiones de grandes cantidades de datos y los cuales son los primeros candidatos para convertirse en la principal tecnología de redes vehiculares. El interés se ve reflejado en diferentes países; en Estados Unidos, para los sistemas DSRC se designó un espectro de radiofrecuencia de 75 MHz por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) que permite que principalmente la comunicación en redes vehiculares. En Europa se inició el Consorcio Cart to Car (C2C-CC) gracias a los fabricadores de automóviles y de equipo para estos mismos, con el principal objetivo de incrementar la seguridad y eficiencia del tráfico. La IEEE también está poniendo de su parte con la implementación de la familia de estándares **IEEE 1609** para el acceso inalámbrico en ambientes vehiculares (**WAVE, Wireless Access in Vehicular Environments**).

3.1. Tipos de VANETs

En redes vehiculares se deben considerar diferentes arquitecturas para cubrir todo tipo de escenarios, ya sea en la carretera, en zonas rurales o ciudades. Tales arquitecturas deben permitir la comunicación entre vehículos cercanos y

vehículos intermediarios y equipo fijo al lado del camino [26]. Las redes ad hoc inalámbricas generalmente no dependen de una infraestructura fija para poder comunicarse o diseminar información. Una VANETs sigue el mismo principio y lo aplican a los ambientes muy dinámicos del transporte. La arquitectura de una VANET principalmente consiste en una de tres categorías:

- **V2V (Vehicle-to-Vehicle) ó IVC (Inter-Vehicle Communication).** Una red ad hoc pura donde solamente existe la comunicación entre vehículos independientemente de infraestructura de tránsito y nodos fijos.
- **V2I (Vehicle-to-Infrastructure) ó RVC (Roadside-Vehicle Communication).** Una red apoyada por una infraestructura fija (ya sea WLAN o una red celular como 3G), donde solo existe la comunicación entre un vehículo y puntos de acceso distribuidos de acuerdo a la infraestructura de tránsito. Estos puntos de acceso le permiten a los vehículos conectarse a Internet, obtener información de tránsito o para obtener una ruta.
- **HVC (Hybrid-Vehicle Communication).** Una arquitectura que combina las propiedades de la arquitectura V2V con las de la arquitectura V2I.

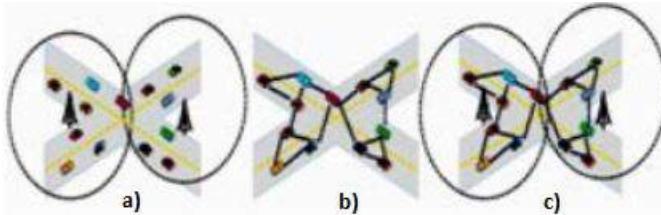


Figura 3.1: Diferentes arquitecturas de redes vehiculares.

En la figura 3.1 a) Se representa la arquitectura V2I, donde la infraestructura fija sirve como puntos de acceso para los usuarios dentro de los vehículos. En 3.1 b) Una red V2V, donde solamente existe una red de tipo ad hoc entre los mismos vehículos. En 3.1 c) Una arquitectura híbrida donde V2I y V2V se complementan entre sí para una comunicación y diseminación de información más eficiente [20].

3.1.1. V2V

Estos sistemas se encuentran totalmente libres de estructura y solamente dependen de las conexiones entre vehículos para la transmisión de información como se observa en la figura 3.2. Para estos fines se emplean sistemas llamados OBUs (Onboard Units) ó también llamados IVE (In-Vehicle Equipment), que básicamente son los sistemas encontrados dentro del vehículo que se encargaran del procesamiento, transmisión y recepción de datos [32].

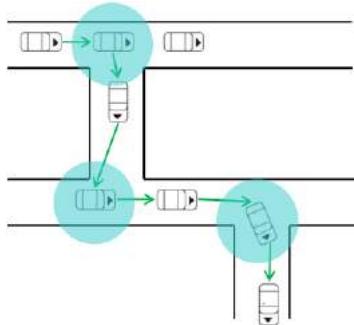


Figura 3.2: VANET tipo V2V.

3.1.2. V2I

Estos sistemas asumen que todas las comunicaciones se dan entre la infraestructura a un lado de la calle empleando **RSUs** (Road Side Units) y los ya mencionados **OBUs**, figura 3.3. Dependiendo de la aplicación pueden distinguirse dos tipos de infraestructura: Escasa o ubicua. Los sistemas V2I escasos son capaces de ofrecer servicios de comunicación en hotspots (Zonas de alta demanda de tráfico), tales como intersecciones de tráfico muy concurrencias, gasolineras, estacionamientos. Un sistema V2I ubicuo requiere que todas las calles cuenten con dispositivos de comunicación capaces de comunicarse a altas velocidades con los vehículos, este sistema es mucho más costoso debido a la cantidad de RSUs necesarias para satisfacer los requerimientos. El hecho de que este tipo de arquitectura requiere puntos de acceso fijos, significa altos costos al construir o modificar infraestructura de tránsito, además del mantenimiento requerido.



Figura 3.3: VANET tipo V2I.

3.1.3. HVC

En este tipo de sistemas los vehículos pueden comunicarse con la infraestructura de tránsito aun si no se encuentran dentro de su rango de comunicación, esto se logra empleando a otros vehículos como ruteadores móviles. La ventaja principal es que se necesitan menos RSUs. Aunque en escenarios donde la densidad de vehículos es muy escasa la conectividad de la red podría verse afectada.

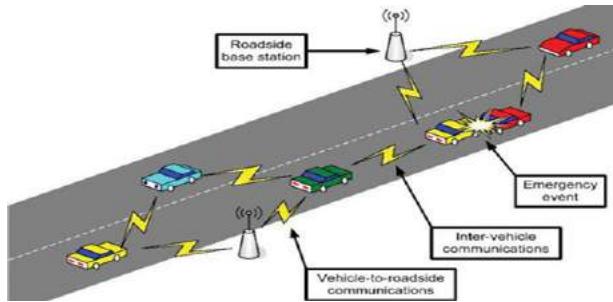


Figura 3.4: VANET tipo HVC.

Las conexiones en una VANET tipo HVC se dan entre vehículos con vehículos y vehículos con infraestructura, apoyándose cuando es requerido con otros vehículos.

3.2. Aplicaciones

La implementación de las VANETs trae consigo un gran abanico de aplicaciones, las cuales podemos dividir en dos categorías [18]:

- Aplicaciones relacionadas a la seguridad
- Aplicaciones relacionadas a la comodidad

3.2.1. Aplicaciones relacionadas a la seguridad

Aquí se engloban todas las aplicaciones que proporcionan seguridad a los usuarios, tanto en la prevención de accidentes, como en el tiempo posterior a uno. Debido a la naturaleza de este tipo de aplicaciones, todas deben contar con severas restricciones de tiempo en cuanto a procesamiento y transmisión se refiere de esto. Este tipo de aplicaciones puede dividirse en tres grupos:

3.2.1.1. Asistencia

Aquí se encuentran el tipo de aplicaciones que se encargan de apoyar al usuario durante la navegación, proporcionando seguridad para él y para los demás. Nosotros como humanos no contamos con la capacidad de reaccionar a tiempo

o de la forma más óptima antes de sufrir un accidente automovilístico. Por medio de sensores, es posible asistir a los posibles futuros involucrados mediante la transmisión de información relevante (Exceso de velocidad, distancia entre el automóvil propio y el de enfrente, cambios repentinos en las velocidades de otros vehículos, movimientos erráticos detectados en otros usuarios, peatones cruzando en condiciones inadecuadas, etc). O en casos extremos, donde el usuario por diferentes razones ha hecho caso omiso de las advertencias, cederle el control del vehículo al sistema y tomar las acciones necesarias para evitar el choque de forma automática. Es posible, si las VANETs alcanzaran un alto grado de penetración que la asistencia al conductor sea tal que el rango de percepción del usuario sea ampliado más allá de su campo visual por medio de sensores u otras formas de información [18].

3.2.1.2. Información

El objetivo de este tipo de aplicaciones es de brindar a los usuarios información actualizada sobre temas de relevancia relacionados con la seguridad. Ya sea sobre los límites de velocidad o desplegar señalamientos virtuales que reemplacen a los señalamientos físicos los cuales pueden ser dañados por el clima o actos de vandalismo, reduciendo costos de mantenimiento.

3.2.1.3. Advertencia

Reacción después de un choque. En caso de un choque, los afectados por el evento pueden encontrarse en una situación que no les permita alertar a las autoridades y muchas veces el tiempo de respuesta de personas alrededor del suceso es demasiado lento, en este caso, el vehículo o infraestructura circundante transmitiría instantáneamente a través de la red una alerta que notificaría a las autoridades correspondientes sobre el evento (cruz roja, equipo de rescate, compañía de seguros, etc). La red aprovecharía el flujo de tráfico para transmitir el mensaje de la forma más rápida posible.

También se consideran la posibilidad de alertar a los usuarios sobre condiciones peligrosas que encontrarán más adelante en la carretera (áreas dañadas por condiciones climáticas, choques masivos, etc). Recibir advertencias sobre cruces peatonales donde hay un alto grado de riesgo y generar alertas cada vez que algún peatón se encuentre en riesgo.

3.2.2. Aplicaciones relacionadas a la comodidad

Estas aplicaciones como su nombre indica, simplemente son para hacer más fácil y cómodo el viaje para el usuario. Por lo tanto su prioridad debe ser menor en comparación con las aplicaciones relacionadas a la seguridad. Más que nada consistiría en ofrecer cierta información, como: Puntos de interés para el usuario. Al llegar a una ciudad desconocida, podría localizar restaurantes, museos, cines, etc. E incluso revisar recomendaciones. Información sobre el clima. Recepción de información relacionada al comercio y al entretenimiento.

También existe la posibilidad de realizar pagos mediante uno se encuentra viajando en automóvil (Comprar un boleto para el cine mientras se va en camino, automáticamente realizar pagos en casetas, etc).

Como se mencionó anteriormente, estas aplicaciones, debido a su naturaleza no deben de interferir con todo lo relacionado a seguridad. Por lo tanto, hay que considerar el uso de prioridades en la transmisión de datos y el uso de canales de comunicación distintos de acuerdo al tipo de aplicación [18].

3.3. Retos de las VANETs

A pesar de ser un tema que ha sido estudiado fervientemente en los últimos años aún existen ciertos retos que deben ser solucionados para que una red vehicular pueda ser implementada. Entre los principales retos a los que se enfrentan las VANETs se encuentran:

3.3.1. Espectro de comunicación

Se estima que el periodo de uso de los sistemas de comunicación de redes vehiculares sea mínimo de 20 años y dentro de este rango de tiempo se debe asegurar la disponibilidad de un espectro de radiofrecuencia dedicado exclusivamente a este tipo de comunicaciones. En los Estados Unidos la FCC designó un rango de frecuencias continuo de 75MHz a 5.9 GHz, este rango consiste de 5.850 a 5.925 GHz y es exclusivo para su uso en redes vehiculares tanto para comunicaciones V2I como V2V. Dentro de este rango de 75 MHz, 5 MHz están reservados como la banda de guardia (una sección no utilizada dentro del espectro de radio y existe con el propósito de evitar interferencias entre dos rangos de frecuencia) y siete canales de 10-MHz, los cuales están configurados en: 1 canal de control (**CCH**) y 6 canales de servicio (**SCH**). El **CCH** está reservado para llevar mensajes cortos con una prioridad alta, mientras que otros datos de menor relevancia son transmitidos a través de los canales **SCH** [21]. En la figura 3.5 se muestra la asignación de los canales del espectro de radiofrecuencia en Estados Unidos para los sistemas DSRC.

	Frequency (MHz)	5850	5855	5865	5875	5885	5895	5905	5915	5925
Channel number	Guard band	172		174	176		178	180	182	
Channel usage	SCH	SCH	SCH	CCH	SCH	SCH	SCH			
			175				181			184

Figura 3.5: DSRC en Estados Unidos.

Desafortunadamente, en Europa no existe un espectro continuo de radiofrecuencia para DSRC como en Estados Unidos. Para arreglar esto, el Consorcio Car2Car propuso una derivación de la alternativa Estadounidense. La propuesta asigna dos bandas de 10 MHz cada una para aplicaciones críticas de seguridad en un rango de 5.9 GHz (5.875 a 5.925 GHz). Esta propuesta puede permitir la harmonía y estandarización a nivel mundial para las redes vehiculares. Sin embargo en Japón también se ha designado un rango distinto, localizado en un rango de frecuencias de 5.8 GHz (entre los 5770-5850 GHz). Este tipo de situaciones genera problemas, pues este tipo de diferencias evitan una estandarización mundial.

3.3.2. Tecnología de Acceso Inalámbrico

Existen distintos estándares de acceso inalámbricos que pueden usarse en las redes vehiculares, tales como Bluetooth, WAVE, redes móviles celulares. Pero todos estos estándares tienen sus ventajas y desventajas de acuerdo al tipo de aplicación y escenario considerado:

3.3.2.1. Bluetooth

Si se utiliza la tecnología de Bluetooth en un vehículo hay que considerar las ventajas del estándar: El ancho de banda de 1Mb/s permitido por este estándar es suficiente para algunas aplicaciones. Otra ventaja es que muchos vehículos hoy en día ya tienen integrada esta tecnología. Además de que es una tecnología de bajo costo y con mucha facilidad de usar. Sin embargo, entre sus desventajas, Bluetooth impone una estructura piconet (solamente ocho dispositivos pueden estar activos al mismo tiempo y hasta 255 dispositivos pueden estar inactivos. Uno de estos dispositivos es el maestro y tiene la capacidad de activar cualquier dispositivo dentro de la red), la cual es difícil de mantener en una red vehicular debido a que son más dinámicas que las redes estacionarias para las que Bluetooth fue diseñado. A pesar de que los dispositivos más modernos de Bluetooth permiten hasta un rango de 100 m, es considerablemente menor comparado a otros estándares.

3.3.2.2. Red Celular

Las redes celulares cobren áreas muy extensas y pueden resultar como una solución óptima cuando los vehículos se encuentran fuera de ciudades y carreteras donde la densidad de vehículos es mayor. Sin embargo, los sistemas celulares no fueron diseñados para su utilización simultánea por un número grande de usuarios por largos períodos de tiempo con alto volumen de tráfico. Estas redes además dependen en gran medida de una infraestructura centralizada que coordina las transmisiones de los nodos móviles. El argumento principal para usar este tipo de redes en VANETs es que la infraestructura necesaria para mantener una red celular ya está ahí. Además, los sistemas 3G soportan comunicaciones de largo alcance y fueron diseñados para movilidad a altas velocidades.

3.3.2.3. WAVE/DSRC

De acuerdo a [18], la mejor tecnología disponible para la comunicación en el rango designado para los DSRC sería un derivado del estándar IEEE 802.11. Por ello se ha desarrollado el protocolo IEEE 802.11p el cual es el estándar de la capa física para la tecnología WAVE. DSRC/WAVE está considerada como la única tecnología inalámbrica con el potencial de satisfacer los requerimientos de una latencia muy baja para mensajes de seguridad y control en las carreteras.

El protocolo IEEE 802.11p introduce una modificación al protocolo **IEEE 802.11a** para poder adaptarse al ambiente de propagación de rápido desvanecimiento en el cual los nodos pueden alcanzar velocidades de hasta 200 km/hr, manteniendo rangos de comunicación de hasta 1000 metros. Entre las principales diferencias entre los protocolos 802.11a y 802.11p se encuentran:

- La banda de frecuencia a la que operan: Siendo 802.11a de 2.4 GHz y 802.11p de 5.9 GHz.
- El ancho de banda de cada protocolo: 802.11a es de 20 MHz y 802.11p de 10 MHz.
- La velocidad de datos soportados, siendo los del protocolo 802.11p ligeramente menores a los de 802.11a.

Como ya se mencionó con anterioridad, este tipo de tecnología utiliza una arquitectura de múltiples canales para soportar las comunicaciones V2I y V2V. Estos múltiples canales consisten en seis canales **SCH**, por los cuales se transmiten mensajes que no tienen relación alguna con la seguridad. Y un canal **CCH**, encargado de diseminar mensajes de seguridad y de control. En la figura 3.6 podemos ver el modelo propuesto del protocolo WAVE y demás protocolos asociados [21].

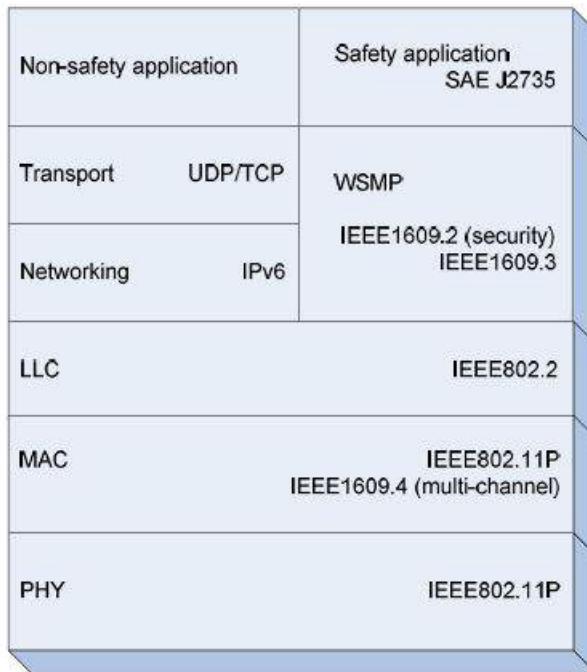


Figura 3.6: Modelo del protocolo WAVE.

3.3.3. Direcciónamiento

En lo que concierne a las aplicaciones de las redes vehiculares, se han considerados varios esquemas de direcciónamiento [32]:

- Uno de ellos es el direcciónamiento fijo donde cada nodo tiene una dirección fija asignada de una u otra forma en el momento que se une a la red, el nodo usa esta dirección mientras es parte de la red. Muchas aplicaciones basadas en redes ad hoc asumen el esquema de direcciónamiento fijo.
- Otro es el direcciónamiento geográfico, donde cada nodo es caracterizado por su posición geográfica. Si el nodo se mueve, su dirección cambia. Otros atributos pueden ser considerados, como: La dirección de movimiento del vehículo, la identificación de la calle, el tipo de vehículo, características del conductor, etc.

3.3.4. Enrutamiento

Como se vio en el capítulo anterior, las peculiaridades de una red MANET requieren protocolos de enrutamiento distintos a los convencionales, en las redes

vehiculares sucede lo mismo. Debido a las características de estas los protocolos de enrutamiento deben de cumplir ciertos requerimientos y funcionar bajo ciertos escenarios. Deben de ser capaces de funcionar a pesar de las altas velocidades alcanzadas por los nodos, las constantes variaciones en su topología, la densidad de nodos en la red, y otros más. Los protocolos de enrutamiento se clasifican en cinco categorías propuestas: Basados en topología, basados en la posición, basados en Cluster, basados en Geo cast y basados en Broadcast [20]. Todos estos protocolos propuestos cuentan con sus respectivas ventajas y desventajas.

3.3.4.1. Protocolos de enrutamiento basados en su topología

Estos protocolos de enrutamiento usan la información de los enlaces existentes en la red para transmitir los paquetes. Estos se dividen en proactivos y reactivos. Algunos ejemplos de este tipo de protocolos ya fueron descritos en el capítulo anterior.

- Entre los protocolos proactivos se encuentra: DSDV
- Entre los protocolos reactivos se encuentra: AODV y DSR.

3.3.4.2. Protocolos de enrutamiento basados en posición

Este tipo de protocolos usan la información de la posición geográfica del nodo para poder determinar los siguientes saltos que va a realizar entre nodos con el fin de llegar a su objetivo. El paquete es enviado sin ningún conocimiento de la topología de red al vecino siguiente, el cual se encuentra más cerca del destino que el origen. El enrutamiento basado en la posición tiene como ventaja el hecho de que no es necesaria la creación y mantenimiento de una ruta global desde el nodo fuente al nodo destino. Este tipo de protocolos se dividen en dos tipos: Protocolos V2V codiciosos basados en posición y Protocolos tolerantes de retrasos.

- **Protocolos V2V codiciosos basados en posición:** Este tipo de protocolos trata de transmitir el mensaje al vecino más lejano en dirección de su siguiente destino. El enfoque de los protocolos codiciosos requiere que un nodo intermedio conozca su propia posición, la posición de su vecino y la posición del destino. El objetivo es transmitir paquetes al destino tan pronto como sea posible. Existen varios tipos de protocolos V2V codiciosos basados en posición: GPCR y CAR.

- **Enrutamiento coordinador codicioso de perímetro** (Greedy Perimeter Coordinator Routing, GPCR): Se basa en el hecho de que las calles de una ciudad forman naturalmente una ruta planeable. No requiere información sobre mapas de calles para su operación. GPCR guía a los mensajes a los nodos que se encuentran en intersecciones de calles, ya que este protocolo no usa ninguna fuente externa que le ayude a identificar la geografía de la zona, usa un método heurístico

para encontrar a los nodos localizados en intersecciones y designándolos como coordinadores. Un coordinador tiene la responsabilidad de tomar decisiones con respecto a rutas. Esto se logra de dos formas: Una es por medio de una tabla de vecinos: En la cual los nodos transmiten de forma periódica mensajes que contienen información sobre su posición actual y la última posición conocida de todos los nodos vecinos. Un nodo, al recibir este mensaje con información sobre su propia posición, la de sus vecinos y la de los vecinos de sus vecinos puede determinar que se encuentra en una intersección. La otra forma, por medio de un coeficiente de correlación el cuál es determinado cuando un nodo usa la información de su posición y la de sus vecinos inmediatos. Este método tiene mejor desempeño que el de la tabla de vecinos.

- **Enrutamiento consciente de la conectividad (Connectivity Aware Routing Protocols CAR):** Como característica principal, este protocolo mantiene el caché de las rutas exitosas entre varios pares de fuentes y destinos. Además de predecir la posición del vehículo destino y de reparar las rutas conforme va cambiando la posición. Los nodos que usan este protocolo envían mensajes que contienen información sobre su vector de velocidad. Al recibir este mensaje, un nodo almacenará al nodo que lo envió en su tabla de vecino y calculará su propio vector de velocidad y el del vecino. Las entradas de las tablas expiran cuando la distancia entre nodos excede un umbral.
- **Protocolos tolerantes de retrasos** Estos protocolos se ajustan a escenarios de baja densidad vehicular como caminos rurales u horas de poco flujo vehicular. Entre este tipo de protocolos se encuentran The MOVE, VADD, y SADV.
 - **Algoritmo de enrutamiento de Vector de Movimiento (Motion Vector Routing Algorithm, MOVE):** El algoritmo MOVE como ya se mencionó es para escenarios donde los nodos se encuentran muy dispersos. En estos escenarios los nodos actúan como ruteadores móviles que tienen conexión intermitente con otros nodos. Estas oportunidades de conexión deben de ser revisadas con calma pues ocurren de manera poco frecuente y la topología cambia rápidamente. El algoritmo debe predecir si el hecho de transmitir el mensaje realmente hará que este esté más cerca de su destino. MOVE asume que cada nodo conoce su posición, dirección y destino. Con esta información el nodo actual puede calcular la distancia entre el nodo más cercano y el destino del mensaje. Este protocolo está diseñado específicamente para redes dispersas y para que los vehículos transmitan datos a estaciones fijas.
 - **Entrega Asistida de Datos para Vehículos (Vehicle Assisted Data Delivery, VADD):** Este protocolo satisface las necesidades que exige una red dispersa, pues además de permitir a los nodos

transmitir paquetes, también pueden acarrearse. Estos paquetes acareados son transmitidos una vez que el nodo se encuentra dentro de un rango de transmisión. VADD requiere que cada vehículo conozca su posición, además de un mapa estático externo. Cada paquete tiene tres modalidades: Intersección, camino derecho y destino, cada modo se basa en la localización del nodo que acarrea el paquete. El modo intersección se utiliza cuando el paquete ha llegado a una intersección en la cual se toman decisiones de ruta, ya sea transmitir el paquete a un vehículo a lo largo de cualquier dirección disponible en la intersección. En el modo camino derecho, el nodo se encuentra en un camino donde solamente existen dos posibles direcciones para que el paquete viaje, la dirección del nodo actual o en sentido contrario. El modo destino es aquel en el que el paquete se encuentra cerca de su destino final.

- **Enrutamiento de nodo estático adaptativo asistido (Static Node Assisted Adaptive Routing Protocol, SADV):** Se enfoca en reducir el retraso existente en la entrega de mensajes en redes dispersas. El protocolo se adapta de manera dinámica a la variación de densidad de tráfico permitiéndole a cada nodo medir el tiempo de entrega de mensajes. SADV asume que cada vehículo sabe su posición a través de GPS y que cada vehículo tiene acceso a un mapa estático externo. SADV tiene tres módulos: Enrutamiento asistido de nodo estático (Static Node Assisted Routing, SNAR), Actualización de Retardo de Enlace (Link Delay Update, LDU) y Diseminación de Datos por caminos múltiples (Multipath Data Dissemination, MPDD).

3.3.4.3. Enrutamiento basado en clusters

En este tipo de enrutamiento, un grupo de nodos se identifican entre si como miembros de un cluster y un nodo es nombrado como líder del cluster el cual diseminará el paquete a otro cluster. En redes muy grandes se puede alcanzar una buena escalabilidad, pero los retrasos y gasto grande de recursos que resultan al formar clusters en redes vehiculares donde existe mucha movilidad. En el enrutamiento basado en clusters se debe crear una infraestructura de red virtual a través de los clusters de nodos para poder proveer escalabilidad. Algunos enrutamientos basados en cluster son: COIN y LORA_CBF [27].

- **Agrupación para Redes Abiertas de Comunicación entre Vehículos (Clustering for Open Inter-Vehicular Communication Networks, COIN):** Este protocolo cuenta con la peculiaridad de que la selección del líder de un cluster en este protocolo se basa en la dinámica del vehículo (control del volante, especificaciones de las ruedas, frenado, etc) y las intenciones del conductor, contrario a otros protocolos que usan una identificación o datos sobre el movimiento relativo de los vehículos. La movilidad relativa entre el líder de un cluster y un nodo miembro debe ser baja, de tal forma que se mantengan conectados tanto tiempo como

sea posible.

- **Algoritmo de Enrutamiento basado en posición con inundación basada en clusters (Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding, LORA_CBF):** En este protocolo, cada cluster se encuentra compuesto por un líder de cluster, una puerta de enlace para la comunicación con otros clusters y nodos miembros. El líder del cluster mantiene información acerca de sus miembros y puertas de enlace. De la misma forma que los algoritmos de enrutamiento basados en posición, cada nodo debe tener información sobre su propia localización y de sus vecinos. Cuando un nodo trata de enviar un paquete, revisa en su tabla si conoce la localización del destino. Si es así, envía el paquete al vecino más cercano al destino. De lo contrario, el nodo fuente disemina un paquete de petición de posición (**LREQ, Location Request**). Solo los líderes de cluster y puertas de enlace pueden retransmitir el **LREQ**. Las puertas de enlace solo retransmiten un paquete a otras puertas de enlace solamente si estás últimas pertenecen a otro cluster. Una vez que un líder de cluster recibe la petición de posición y el destino es miembro de su cluster. Se envía al origen un paquete de respuesta de posición (**Location Reply, LREP**). Para este entonces, cada nodo conoce la posición de la fuente y su vecino más cercano, basado en la información recibida en el **LREQ**. Una vez que el nodo origen recibe el **LREP**, envía el paquete al vecino más cercano a su destino [29].

3.3.4.4. Enrutamiento basado en broadcast

Se usa frecuentemente en redes vehiculares para transmitir información sobre el tráfico, clima, situaciones de emergencia y condiciones del camino entre vehículos así como para enviar avisos y anuncios publicitarios. La disseminación de mensajes se emplea cuando un mensaje necesita llegar a un nodo que se encuentra fuera del rango de transmisión. El broadcast envía el mensaje a todos los miembros de la red, esto asegura la entrega del paquete, a costa de desperdiciar el ancho de banda y de paquetes duplicados. Este tipo de protocolos funcionan mejor para redes con una pequeña cantidad de nodos. Algunos enrutamientos basados en protocolo son: V-TRADE, y DV-CAST [27].

- **V-TRADE:** Es un protocolo de disseminación basado en GPS. **V-TRADE** clasifica los nodos vecinos en diferentes grupos de transmisión dependiendo de la posición y movimiento de estos. Para cada grupo, solo un pequeño subconjunto de vehículos es elegido para volver a diseminar el mensaje. Esto permite un mejor aprovechamiento del ancho de banda, pero a veces se desperdician muchos recursos al seleccionar la siguiente transmisión con cada salto.
- **DV-BCAST:** Por medio de mensajes de broadcast obtiene información sobre la topología de la red. Cada nodo usa una variable de bandera para determinar si un paquete es redundante o no. Este protocolo divide a

los nodos en tres tipos dependiendo de la conectividad local como: Vecindario bien conectado, vecindario dispersamente conectado y vecindario totalmente desconectado.

- En un vecindario bien conectado se utiliza un esquema de persistencia.
- En un vecindario dispersamente conectado, después de recibir un mensaje broadcast, los vehículos pueden retransmitirlo a los vehículos que se mueven en la misma dirección.
- En un vecindario totalmente desconectado, los nodos suelen almacenar el mensaje broadcast hasta que otro nodo entra en su rango de transmisión, de lo contrario si pasa determinado tiempo el mensaje es eliminado.

3.3.4.5. Enrutamiento Geo Cast

Es un enrutamiento multicast basado en ubicación. Su objetivo es enviar el paquete del nodo fuente a todos los otros nodos que se encuentran dentro de una región geográfica específica (**Zona de Relevancia, ZOR**). En el enrutamiento Geo cast, los vehículos que se encuentran fuera de la ZOR no son alertados para evitar reacciones apresuradas innecesarias. Normalmente se define una zona de transmisión a donde se dirige la inundación de paquetes con el fin de disminuir la sobrecarga y congestión de la red. Una desventaja del enrutamiento Geo cast es la partición de la red y vecino no considerados. IVG es uno de varios protocolos geo cast.

- **Inter-Vehicular Geo cast, IVG:** El propósito de este protocolo es enviar un mensaje a los vehículos que se encuentran en un área de riesgo sobre cualquier peligro en la carretera. Para esto, se determina el área de riesgo considerando área específica considerando la posición precisa de los obstáculos en el camino y de las direcciones de maneja que pueden ser afectadas. El vehículo dañado disemina un mensaje al grupo multicast. Los nodos que recibieron el mensaje determinan la importancia de este de acuerdo a su localización de acuerdo al área de riesgo. Todos los miembros del área de riesgo por medio de cálculos promueven al nodo más lejano para que se encargue de retransmitir la señal broadcast (A mayor distancia, mejor).

Estos no son los únicos protocolos de enrutamiento existente, son solo algunas soluciones de muchas otras que hay. Y como se puede ver, ciertos protocolos funcionan eficientemente para ciertos escenarios específicos y otros que son capaces de adaptarse a los distintos escenarios presentes en las redes vehiculares.

3.3.5. Retos socioeconómicos

De acuerdo a [13] la introducción de las redes vehiculares sufre del siguiente efecto: El valor agregado para cada cliente depende del número de clientes en

total que tienen equipados en su vehículo con tecnología VANET. Es decir, el éxito de la implementación de una red vehicular depende del número de usuarios. Muchas aplicaciones y propuestas no funcionarían de forma correcta hasta que esta tecnología alcance un grado de penetración muy avanzado. En varios estudios se considera como problema el cómo convencer a los primeros usuarios en comprar o pagar extra por un equipo VANET para sus vehículos. Hay que atraerlos a la idea convencerlos del costo-beneficio que proporciona este tipo de tecnología. Se han propuesto diversas opciones, desde la implementación obligatoria por parte de la ley, bonificaciones en el seguro del vehículo y ofrecer aplicaciones de gran atractivo para los usuarios.

Se mencionó que hay gobiernos que están interesados en la implementación de las redes vehiculares, sin embargo, países en vías de desarrollo como México puede que el gasto en la instalación y mantenimiento de la infraestructura necesaria para una VANET no sea tan atractivo para el gobierno como los beneficios a mediano y largo plazo.

Muchas de las aplicaciones propuestas son sumamente costosas, algunas por tratarse de temas experimentales y que de acuerdo con el grado de penetración es seguro que disminuya su costo. Pero existen otras que utilizan tecnología de muy alto costo y que de plano no son viables económicamente.

El objetivo principal es ofrecer aplicaciones viables y que sean beneficiosas para los usuarios de los vehículos, otros usuarios, empresas y entidades de gobierno.

Capítulo 4

Detección de Peatones

Dentro del paradigma de los **ITS**, existen dos grupos de usuarios. Uno de ellos son los que se encuentran en el control de cualquier vehículo motriz. El otro grupo de usuarios, el cual sufre de un riesgo considerable cada vez que transita por los caminos no viaja en vehículos motorizados y se considera como la parte más vulnerable del sistema. Debido a la vulnerabilidad que presentan, a lo largo de la historia automotriz se han realizado esfuerzos constantes con el objetivo de proteger su integridad física.

Hoy en día, con la tecnología presente en cuanto a **ITS** y **VANETs** concierne, no hay que relegar la importancia del papel que desempeñan los usuarios vulnerables en el tránsito terrestre; por el contrario... el esfuerzo debe ser más grande. Según [8], la mejora en la eficiencia del flujo de tránsito puede afectar de forma negativa a los usuarios vulnerables. Muchas aplicaciones propuestas en la investigación de redes vehiculares se enfocan en la eficiencia del flujo de tráfico, lo cual incitaría a que los usuarios de vehículos aumenten sus velocidades de viaje. Estos aumentos de velocidad, por más leves que sean pueden traer como resultado un incremento en la velocidad de impacto de un vehículo y riesgo de una lesión fatal para los usuarios [22].



Figura 4.1: Dos automóviles lado a lado.

Dos automóviles viajando lado a lado en un instante dado, uno de ellos se encuentra viajando a 50km/hr y el otro a 60km/hr. Si un niño atravesara la calle en un punto localizado un poco más allá del punto en el que el vehículo que viaja a 50km/hr puede detenerse. El otro vehículo aún se encontraría viajando a 44km/hr en ese punto.

4.1. Usuarios Vulnerables de los Caminos

Todos aquellos usuarios que se desplazan por las calles empleando cualquier medio son considerados como usuarios del camino (Road Users), pero entre ellos existe un grupo definido como vulnerable por varias razones de suma importancia: la escasa protección contra el tráfico, las diferentes capacidades al viajar y la resiliencia (La capacidad de reponerse y reaccionar ante situaciones desastrosas). Estos usuarios generalmente no cuentan con una cubierta que los proteja (a diferencia de los conductores, que son protegidos por la carcasa del vehículo motriz) y las consecuencias de una colisión contra todo tipo de vehículos son más severas.

Los usuarios del camino que presentan una alta tasa de víctimas causadas por accidentes de tráfico, comúnmente son llamados **VRU (Vulnerable Road Users)** [12].

Los peatones de todo tipo, ciclistas, motociclistas y ancianos conduciendo automóviles son considerados VRU. Comúnmente la clasificación de VRUs suele dividirse en dos subsecciones: Por método de transporte o por edad. En la clasificación de VRUs por métodos de transporte se incluyen aquellos usuarios que carecen de la misma protección que ofrecen los vehículos motorizados; mientras que en la clasificación por edades se compone de aquellos usuarios que (dejando en segundo término si conducen o no un vehículo motorizado) pueden encontrarse en riesgo debido a las limitaciones que sufren de acuerdo a su edad.

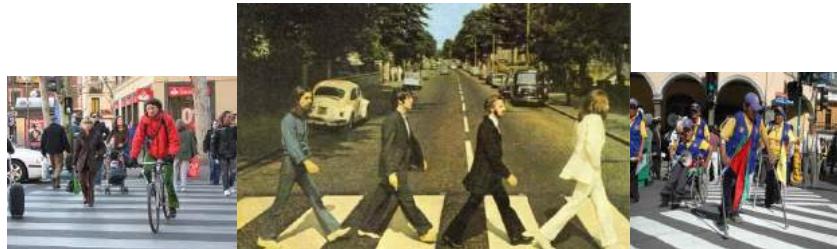


Figura 4.2: Vulnerable Road Users

En cuanto a medios de transporte concierne, los peatones y ciclistas son los usuarios más vulnerables. Pues la diferencia de protección que existe entre un usuario de un vehículo motorizado y los demás es enorme. A lo mucho, los ciclistas solo cuentan con cascos y equipo de protección ligero para sus extremidades. En la literatura relacionada con los usuarios vulnerables, varios investigadores consideran a los motociclistas de todo tipo como VRU dentro de la categoría de medio de transporte, esto es debido a la escasa protección que portan (Uso obligatorio de casco y demás accesorios). Pero a pesar de ser la parte más débil en accidentes de tráfico con otros vehículos que si cuentan con protección. Ya que pueden alcanzar e incluso sobrepasar las velocidades de viaje de los vehículos motorizados se consideran como parte de este último grupo... el cual en comparación con aquellos usuarios que no viajan en vehículos motorizados crean situaciones de riesgo más grandes en el tráfico [3].

En la categoría de edad se incluyen como usuarios vulnerables a aquellas personas cuyas acciones pueden verse afectadas por distintas discapacidades; ya sean niños que no son totalmente capaces de entender el papel que desempeñan en los caminos, jóvenes inexpertos que requieren de supervisión adulta y ancianos cuyas capacidades físicas se han visto reducidas. Por razones similares, muchos consideran a los jóvenes y ancianos al volante como VRU; los jóvenes carecen de experiencia al volante y la resiliencia de los ancianos es mucho menor que la de los demás conductores. Pero debido a que siguen representando una mayor amenaza hacia los demás usuarios que hacia ellos mismos, son excluidos del grupo de los VRUs [24].

Como ya se mencionó, de acuerdo a lo propuesto en [24], de ahora en adelante y para fines de esta tesis, todos aquellos usuarios del camino que representan un riesgo y cuyas acciones pueden traer consecuencias negativas para los demás usuarios a pesar de conducir vehículos ligeros (motocicletas) o de sus capacidades (jóvenes y ancianos al volante) no son considerados como VRU.

Se referirá como VRU al grupo más vulnerable de las calles y que siempre está en riesgo: peatones y ciclistas; incluyendo niños, ancianos, personas con discapacidades tanto físicas como mentales, patinadores, etc.

Teniendo en claro quiénes son y quienes no son VRU, sigamos con las razones por las cuales los VRUs se consideran vulnerables [3]:

- Los VRU pueden recibir daño físico considerable, aun si el impacto recibido

fue debido a un vehículo a baja velocidad.

- Sus acciones y reacciones son impredecibles para los demás usuarios. Pueden cruzar la calle de forma repentina o en zonas donde no está autorizado el cruce peatonal.
- Son inestables. Al cruzar la calle podrían tropezarse, desmayarse, caerse de la bicicleta, etc.
- Los VRUs son más pequeños que un automóvil por lo cual, en un ambiente donde solo se perciben otros vehículos, pueden ser ignorados. También pueden ser ocultados por otros vehículos. Son difíciles de avistar en la noche, además de que bajo ciertas condiciones meteorológicas, tales como neblina, lluvia intensa, nevadas; son aún más difíciles de ver.



Figura 4.3: Dummy siendo impactado por vehículo.

La gravedad de las heridas sufridas por los peatones durante una colisión contra un automóvil se encuentra relacionada de forma directa a la velocidad de impacto del vehículo. A 30kmph, la probabilidad de que un peatón fallezca en un accidente es del 5 %. A 50kmph la probabilidad incrementa hasta un 37%; a 70kmph esta es del 83 %.

Es muy difícil generalizar el comportamiento de los VRUs, ya que a pesar de ser considerado como el grupo de usuarios del camino más grande, también es considerado como el grupo más heterogéneo de ellos. Esto quiere decir que no hay algo como un peatón promedio, ya que su tamaño, velocidad, fuerza y juicio puede variar de forma significativa entre individuos, dependiendo de su edad, género, movilidad, nivel de conciencia y agresividad [39].

En la figura 4.1 se puede observar una tabla que fue propuesta por [1] en la cual menciona algunas características físicas de los peatones y de qué forma afectan su interacción con el tráfico alterando tanto de forma positiva como negativa a la vulnerabilidad de los usuarios.

Variaciones físicas en peatones	Afecta:
Altura	La habilidad de ver sobre objetos La habilidad de ser visto por otros
Velocidad de reflejos	Habilidad de evitar situaciones peligrosas con rapidez
Aguante	Distancias recorridas entre descansos
Percepción visual	Habilidad de explorar el ambiente y de tolerar el deslumbramiento
Capacidad de atención y habilidades cognitivas	Tiempo requerido para tomar acciones Dificultades en ambientes desconocidos Habilidad de leer o comprender señales de advertencia Dificultad en juzgar intervalos en el tráfico
Tolerancia a temperaturas y ambientes adversos	Preferencia por condiciones de refugio
Balance y estabilidad	Potencial de perder el equilibrio
Miedo por la seguridad personal	Disposición de usar una ruta, parte de ella, etc
Destreza manual y coordinación	Habilidad de operar mecanismos complejos
Precisión al juzgar velocidad y distancia	Movimientos de cruce inopportunos
Dificultad localizando el origen de sonidos	La posibilidad de perder pistas audibles de tráfico
Energía utilizada al moverse	Velocidad al caminar

Cuadro 4.1: Características físicas de peatones.

El incremento en el precio del combustible para los vehículos motorizados, la preocupación de la sociedad por el medio ambiente, la fomentación de un estilo de vida más saludable para las personas, son algunas circunstancias que impulsan en los usuarios a cambiar sus formas de transportarse. En países desarrollados se encuentran ciudades con densidades poblacionales altas en las cuales se ofrecen las condiciones óptimas para el flujo eficiente de VRUs (Caminos exclusivos para ciclistas, alternativas de transporte público, ambientes más amigables para este tipo de usuarios, etc). Sin embargo, aun en países desarrollados y en gran cantidad en países en vías de desarrollo, la infraestructura de tránsito está diseñada principalmente para el flujo de vehículos motorizados, a veces excluyendo por completo las necesidades de los VRU haciéndolos aún más vulnerables ante el resto de elementos de tránsito.

4.2. Situación de los VRUs en México

México es un país que se encuentra en pleno desarrollo, poco a poco se ven los reflejos de las investigaciones científicas y tecnológicas que se realizan día a día en los centro de investigación de varias Universidades, Institutos y Empresas a lo largo y ancho del país. El área de los ITS es relativamente un tema nuevo para el mundo, aún más para México... esto no quiere decir que no exista interés algo, todo lo contrario, el interés es grande y se ha demostrado con la implementación de las carreteras inteligentes, tales como el Libramiento Arco Norte, considerada como la primera en su tipo y un ejemplo de la futura estandarización de 74 carreteras inteligentes federales para el año 2025.



Figura 4.4: Autopista Arco Norte

La autopista del Arco Norte, localizada en el Noreste de la Ciudad de México es la primera carretera inteligente en todo México. Ofrece a los usuarios información en tiempo real sobre condiciones del clima, carretera y tráfico. Además de contar con video-vigilancia, sistemas de detección de placas vehiculares

Como se mencionó anteriormente, los países que se encuentran en vías del desarrollo comúnmente no cuentan con la infraestructura de tránsito que se adapte a las necesidades de los VRU. La poca atención que reciben los peatones, tanto por los diseñadores de las vías como por los conductores que las transitan es causa de una gran cantidad de tragedias, las cuales a veces resultan letales para los usuarios más vulnerables. Para comprender la importancia de proteger a los VRU, veamos algunas estadísticas obtenidas de la base de datos del INEGI, que van del año 1997 al 2011.

En los 14 años de información de tránsito terrestre obtenida por el INEGI se han registrado cerca de 6 millones de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y rurales. Es decir, en promedio se registran 389,956 accidentes de tránsito terrestre al año en México. En la figura 4.5 se puede observar la cantidad de accidentes de tránsito terrestre que ocurrieron cada año desde 1997 hasta 2011 en México.

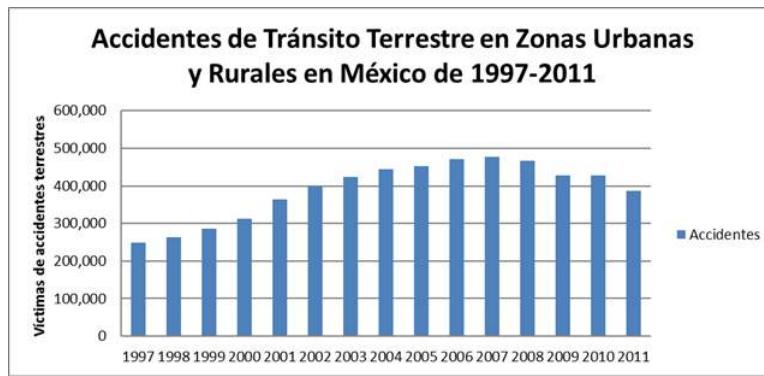


Figura 4.5: Cantidad de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011.

Cabe mencionar que entre los accidentes automovilísticos se encuentran: colisiones entre vehículos motrices, colisiones con peatones (atropellamientos),

colisiones con animales, colisiones con objetos fijos, volcaduras, caídas del pasajero, salida del camino, incendios, colisiones con ferrocarril, colisiones con motocicletas, colisiones con ciclistas y otros tipos de accidente cuya cantidad es tan pequeña individualmente que por practicidad se decidió colocarlos en un solo grupo.

Las colisiones con vehículos motorizados son los accidentes automovilísticos más comunes registrados en México de 1997-2011 con un 71% de ocurrencia, seguidos de los atropellamientos con una frecuencia aproximada del 6% y colisiones con ciclistas con 2%. Estos dos tipos de accidentes involucran VRU, por ello se puede decir que se suma un total de un 8% de los accidentes terrestres, figura 4.6.

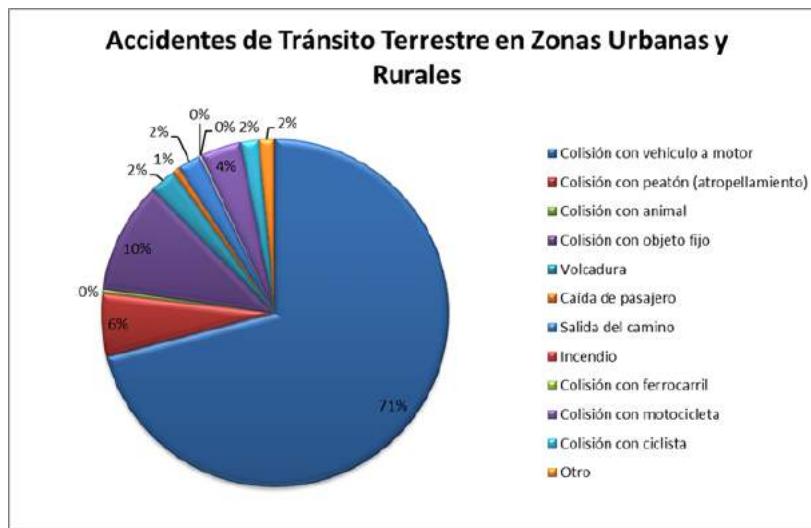


Figura 4.6: Tipos de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011.

Como consecuencia de todos los accidentes automovilísticos ocurridos se registró un promedio de 138,692 víctimas cada año. No está de más señalar que cuando se habla de víctimas se refiere a que personas resultaron heridas o fallecidas. De este número de víctimas, menos del 4% fallecieron, es decir: en promedio se registraron 5,694 muertes al año. En estos datos no se discrimina a las víctimas por el tipo de accidente.

De los 389,956 accidentes de tránsito que ocurren al año en promedio en México, el 71% consisten en colisiones entre vehículos y el 8% en atropellamientos y colisiones con VRU. Es decir, de la suma total de accidentes, 276 868 de estos son colisiones entre vehículos y 29 526 son accidentes con VRUs envueltos. Ahora considerando el número de víctimas y relacionándolo con la cantidad de accidentes se obtiene la siguiente gráfica:



Figura 4.7: Víctimas de accidentes de tránsito terrestre en México 1997-2011.

Como se puede observar en la figura 4.7, la mayor parte de las víctimas de accidentes de tránsito son a consecuencia de colisiones entre vehículos. Mientras que los atropellamientos sumados con las colisiones con ciclistas, que ya habíamos dejado en claro pertenecen al mismo grupo. Suman el 22 %, es decir, al año aproximadamente 30 862 VRUs son víctimas de accidentes de tráfico en México.

Considerando la información anterior, de 138,692 víctimas de accidentes de tránsito en general, 71,141 son víctimas de colisiones entre vehículos y 30 512 son VRUs. Comparando los datos recabados, hay una cifra preocupante. De 276 660 colisiones entre vehículos que se registran al año existe una consecuencia de 71 141 víctimas con una tasa de mortalidad del 2.6 %. Mientras que de los accidentes relacionados con VRU, los cuales resultan en promedio 29,526 por año, se registra un total de 30,862 víctimas con una tasa de mortalidad del 5.2 %. Esto significa que, proporcionalmente existe un número mayor de víctimas en accidentes relacionados con VRU comparándolos con otros tipos de accidentes y víctimas.

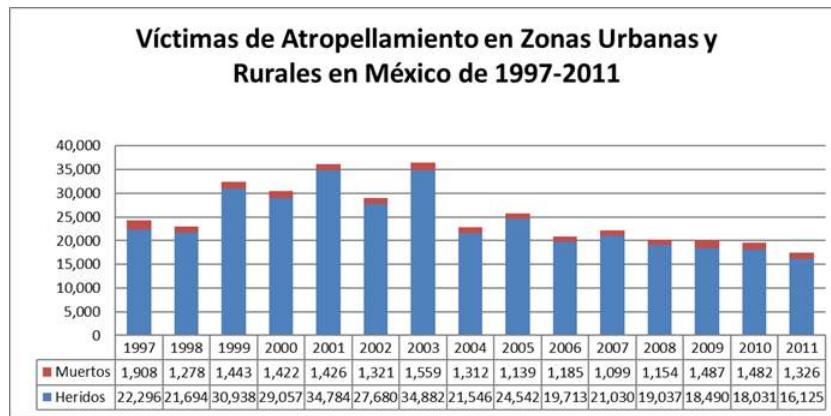


Figura 4.8: Cantidad de víctimas de atropellamientos en México 1997-2011.

En la figura 4.8 es posible observar la cantidad de víctimas de atropellamientos que han ocurrido en México en los años 1997 a 2011. Dada estas cifras, se estima que aproximadamente el 5.2 % de los peatones envueltos en un accidente reciben heridas fatales.

En cuanto a los causantes de los accidentes, el INEGI considera a los siguientes: Culpa del peatón, culpa del conductor, falla del vehículo, mala condición del camino y otras que son tan poco comunes que se agruparon.

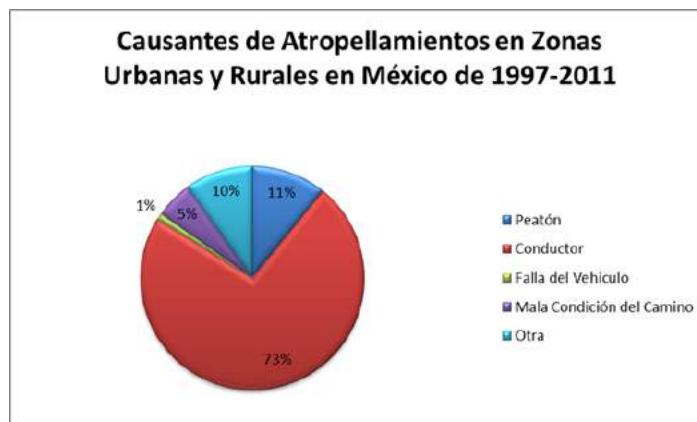


Figura 4.9: Causantes de atropellamientos en México 1997-2011.

Como se puede observar en la figura 4.9, los causantes más comunes de atropellamientos en México son los conductores con un 73 % de frecuencias. La segunda causa más común son los mismos peatones, ya sea por cruzar en zonas de alto riesgo o por no prestar atención al tráfico. Al año, se registra un promedio de 16 679 atropellamientos donde el causante es el conductor y 2 467 donde el accidente es debido al peatón.

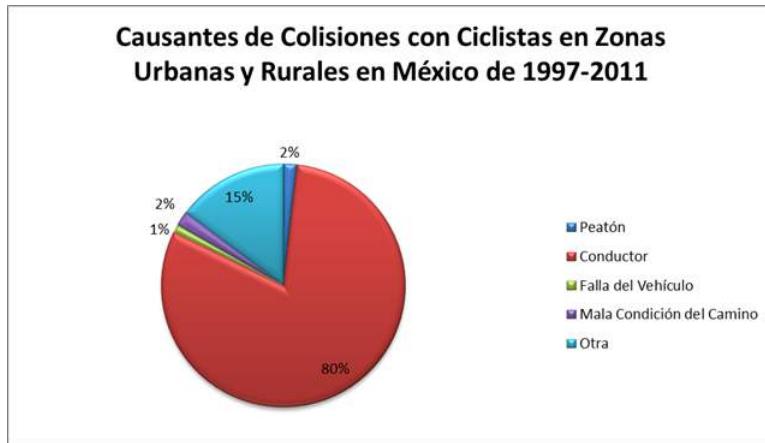


Figura 4.10: Causantes de colisiones con ciclistas en México 1997-2011.

En el caso de los ciclistas es distinto, los conductores siguen siendo la principal fuente de accidentes de colisión con ciclistas. Pero a diferencia de los atropellos, la segunda causa de los accidentes no son los mismos ciclistas, figura 4.10.

De acuerdo a la información obtenida y de las gráficas empleadas para representarla. Los peatones y ciclistas, quienes forman parte del grupo de usuarios vulnerables son los que más se ven afectados durante los accidentes. Tal vez no se ve reflejado en cuanto a cantidad de accidentes... si no en las consecuencias de estos.

4.3. Detección de VRU

Muchos de los esfuerzos realizados en la investigación, desarrollo e implementación de los ITS se concentran en los vehículos, no en los peatones. Los usuarios de vehículos a pesar de encontrarse protegidos por la carcasa exterior se encuentran en mayor riesgo que los peatones. Un usuario de vehículo se encuentra en riesgo desde que sube a su vehículo, se encuentra en riesgo durante su viaje y se encuentra en riesgo incluso cuando está detenido y todo es debido a que son una parte constante del tráfico vehicular. En el caso de los peatones (excluyendo a los ciclistas), el tiempo en que se encuentran en riesgo por ser atropellados es muy pequeño. Ya que no son parte del tráfico y tienen sus zonas designadas para transitarse. El problema existe y es muy grande cuando los peatones requieren cruzar la calle, que es el momento en el que se ven forzados a interactuar con el tráfico. Es decir, el riesgo para los peatones es muy alto en muy pequeños intervalos de tiempo.

En el caso de los ciclistas, mientras sea menor la densidad de estos, mayor es el riesgo para ellos. Esto es debido a que los vehículos y ciclistas compiten por espacio en la carretera en Ciudades donde no hay caminos exclusivos para

estos, los vehículos, al representar la mayoría de métodos de transporte son los que dominan el camino. Sin embargo, en Ciudades donde hay más ciclistas que vehículos, el riesgo disminuye considerablemente, pues el dominio sobre las carreteras lo ejercen los ciclistas [8].

Durante una investigación del proyecto DRIVE en algunas ciudades pertenecientes a la Unión Europea, Bradford y Groningen, se determinó que la mayoría de los accidentes relacionados con peatones se dan en zonas donde no existe un cruce o donde no hay señalamientos para cruzar.

Para proteger a los VRUs en esos pequeños instantes de tiempo en los que interactúan con el tráfico se han desarrollado varios proyectos en el ámbito de los ITS. En [8] se proponen tres tipos de sistemas para incrementar la seguridad para VRU:

- Un sistema dentro del vehículo con la capacidad de detectar peatones y en su debido caso, realizar de manera automática las maniobras requeridas para evadir la colisión.
- Un sistema llevado por el VRU el cual detectaría vehículos que se aproximan y alertaría a los primeros cuando es seguro cruzar la calle.
- Un sistema externo que regule la interacción entre VRUs y peatones.

4.3.1. Sistemas en el Vehículo

Estos sistemas consisten en la utilización de sensores instalados (cámaras de video, sensores infrarrojos, ultrasónicos, etc) en el vehículo con el fin de detectar VRUs, advertir al usuario del vehículo del riesgo o de tomar alguna acción correctiva en caso de que sea necesario. Es una propuesta factible, sin embargo existen muchos problemas. Uno de ellos es el corto alcance de muchos sensores, lo cual acortaría la distancia que debe existir entre el vehículo y el VRU para que este último pueda ser detectado, siendo riesgoso para ambos. También es probable que las mediciones de los sensores se vean afectadas por otros vehículos, los cuales pueden ser considerados como obstáculos. Los sistemas en los vehículos no tienen la posibilidad de predecir el comportamiento de los VRUs.

Por medios visuales, es difícil detectar y reconocer objetos si la cámara no está fija, esto se debe a las velocidades de los vehículos y los escenarios cambiantes captados por esta harían sumamente compleja la detección. Además de que las distancias, las cuales no pueden ser captadas tan fácilmente por una cámara, también limitan las capacidades de esta.

Dispositivos que tomen maniobras de acuerdo a las circunstancias, por ejemplo: frenado automático, debido a la reacción tan súbita pondrían en riesgo no solo al usuario del vehículo, sino a otros usuarios. Además, hay que considerar las restricciones de tiempo y de que debido a lo crítico de la situación, no se debe permitir ningún falso positivo.

4.3.2. Sistemas llevados por VRUs

En esta categoría entran los sistemas que requieren que los VRUs los lleven consigo para hacer más seguro su viaje. Entre estos podemos encontrar sistemas que les brindan a los VRUs la capacidad de advertir a los vehículos cuando se encuentran en riesgo o de recibir información sobre cuando y donde es más seguro cruzar la calle. Actualmente este tipo de tecnología es factible, por medio de etiquetas RFID o los actualmente populares smartphones.

Sin embargo, no podemos contar con que todos los VRUs lleven consigo el dispositivo cada vez que salgan a la calle. A pesar de la popularidad de los smartphones, aún hay personas que no están acostumbrados a usar este tipo de tecnología, por ejemplo personas de la tercera edad o niños que aún no utilizan estos aparatos.

4.3.3. Sistemas externos

Este tipo de sistemas buscan la forma de mejorar la interacción entre los VRUs y el tráfico por medio de sistemas de detección conectados a la infraestructura de tránsito. Pueden ser sistemas que emiten advertencias sobre las posibles situaciones de riesgo para los VRUs a los vehículos que se aproximan a la zona y de alguna forma comunicarse con otros sistemas de tránsito, como semáforos, señales, etc.

Una desventaja de este sistema es la modificación y mantenimiento de la infraestructura requerida, además de que las zonas de detección se verían limitadas por las capacidades y cantidades de los sistemas.

Como ya se mencionó, los VRU requieren atención especial en este tema, pues son considerados una parte muy importante en lo que se refiere a ITS (Intelligent Transportation Systems). Y debido a la vulnerabilidad que presentan, se han desarrollado varias investigaciones y proyectos para disminuir el grado de peligrosidad que los rodea.

Capítulo 5

Trabajo relacionado

A continuación se hablará sobre algunos trabajos de relevancia en el área de **ITS** para la detección y seguridad de VRUs, principalmente peatones. Los proyectos se clasificarán de acuerdo a la categorización propuesta en [8].

5.1. Sistemas en Vehículo

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los sistemas en vehículo consisten en conjuntos de sensores o cámaras y unidades de procesamiento integradas en el vehículo para la detección de VRUs. Estos con el fin de alertar al conductor, alertar a otros vehículos o tomar medidas evasivas de forma automática.

5.1.1. Sistemas en Vehículo para detectar peatones por medio de visión

En estos sistemas, se emplean cámaras para asistir al conductor en la detección de peatones. Ya sea utilizando algoritmos de detección y clasificación o simplemente al reducir los puntos ciegos a los que se enfrenta un usuario de vehículo.

5.1.1.1. Tecnología de Cámara de Lente Amplio para aplicaciones automotrices

En este proyecto se reunieron varios investigadores de la Universidad Nacional de Irlanda y de una compañía especializada en sistemas de visión: Valeo Vision Systems [16]. Se menciona que la principal causa de colisiones entre vehículos y VRU cuando los primeros viajan en reversa, son los puntos ciegos del conductor. Los cuales, se sugiere que deben ser llamados zonas ciegas, pues su área es mucho mayor.

En la figura 5.1 se puede observar a la izquierda un vehículo estándar conducido por la izquierda cuenta con cinco zonas ciegas para los conductores. Cabe mencionar que las áreas de las zonas ciegas dependen del tamaño del vehículo.

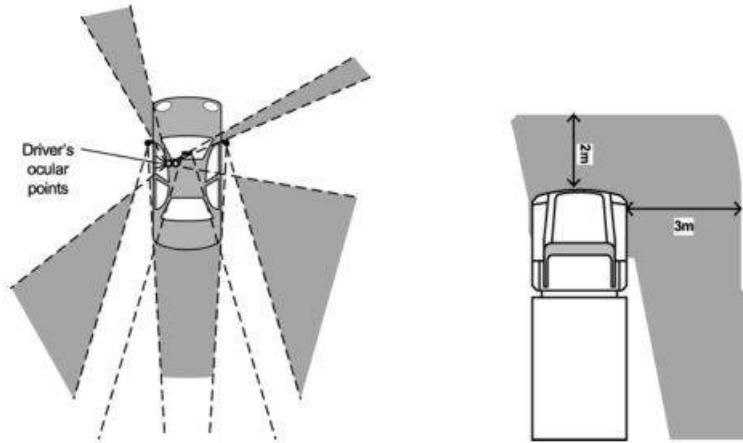


Figura 5.1: Zonas ciegas para los conductores en vehículos.

En la derecha, un vehículo grande tiene una zona ciega con mayor área, ya que debido a su tamaño, algunos espacios por la parte de enfrente no son visibles para los conductores.

Se menciona el uso de cámaras de video para asistir a los usuarios de vehículos al momento de estacionarse, viajar en reversa o cualquier situación en la que la existencia de una zona ciega pueda poner en riesgo la integridad de un VRU, proponen el uso de cámaras de lente amplio para poder ofrecer una visión más extensa del panorama. Sin embargo, las cámaras de lente amplio generan distorsión en las imágenes captadas, la cual puede alterar la percepción para el usuario del vehículo. El proyecto tiene como objetivo demostrar que una cámara de lente amplio puede ofrecer una imagen de video no distorsionada y de buena calidad para el usuario del vehículo por medio de algoritmos de corrección de imágenes.



Figura 5.2: Distorsión de imágenes debido a cámaras de lente amplio.

En la figura 5.2 a la izquierda se puede ver como una imagen es distorsionada al emplear cámaras de lente amplio. A la derecha se muestra como una imagen ya procesada por un algoritmo de corrección ofrece una mejor perspectiva para el usuario.

5.1.1.2. Detección de obstáculos y reconocimiento de peatones usando una cámara 3D PMD

Los peatones son capaces de cambiar la dirección y aceleración de su movimiento muy rápidamente. Por ello, las aplicaciones para la protección de peatones requieren sistemas rápidos capaces de determinar la posición de los objetos a detectar en tiempo real y tan preciso como sea posible [10]. Para ello, los investigadores de la Universidad Tecnológica de Chemnitz en Alemania y del departamento de investigación de Audi Electronicos Venture, proponen el uso de la tecnología 3D PMD (Photonic Mixer Device). La cual consiste en uso de sensores capaces de capturar escenas completamente tridimensionales en tiempo real. Un sensor PMD es una cámara especial con una velocidad de cuadro de hasta 100 cuadros por segundo. La principal característica de esta cámara y la que la diferencia de una cámara regular, es que el sensor PMD es capaz de medir la distancia existente entre la cámara y un objeto. Esto se hace para cada pixel de forma individual y en tiempo real. El sensor calcula la distancia por medio de una señal reflejada y es capaz de detectar a peatones a una distancia aproximada de 15 metros y 30 metros para objetos con alta reflectividad.

Por medio de un algoritmo de clasificación, es capaz de diferenciar personas de otros objetos. Esta es una propuesta que funciona a pesar de las velocidades alcanzadas por los vehículos, sin embargo, el costo de esta tecnología es muy alto.

5.1.1.3. Detección de cruces de peatones

Para evadir una colisión, una acción debe ser iniciada, ya sea frenar o girar el volante. El dilema en este tipo de sistemas es que tienen que intervenir lo más rápido posible, sin embargo, un peatón puede en un lapso muy pequeño de tiempo puede tomar alguna acción que cambie el desenvolvimiento de todo [31]. En la Universidad de Wuppertal en Alemania y en Audi Electronics Venture se definió que un análisis complejo de situaciones es requerido para crear una base razonable para decisiones específicas y disminuir al mínimo las falsas alarmas. El conocimiento de la localización de un cruce peatonal es de vital importancia en los escenarios de detección de peatones.

Se propone la implementación de un algoritmo de detección de cruces peatonales para complementar otros sistemas existentes.

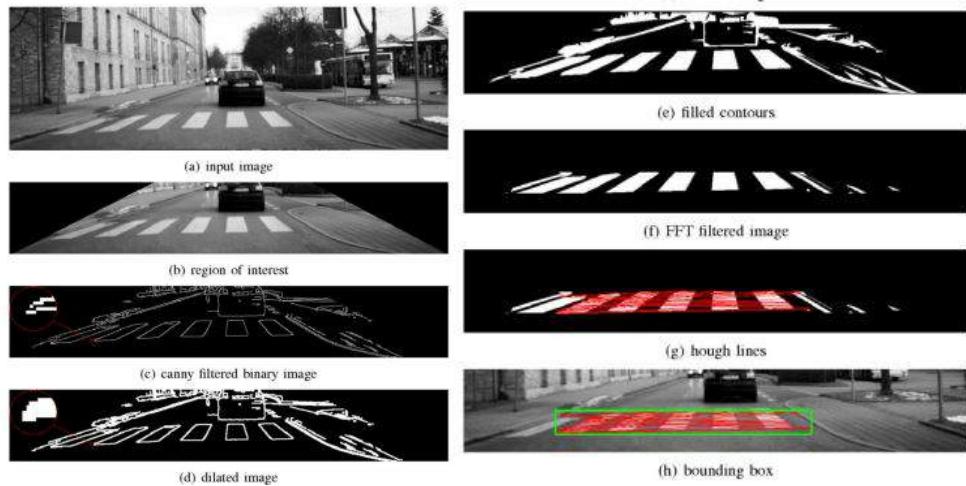


Figura 5.3: Proceso de segmentación en la detección de cruces peatonales.

5.1.2. Sistemas en Vehículo para detectar peatones por medio de sensores

Para poder detectar VRUs, estos sistemas se valen de un conjunto de sensores instalados en el vehículo.

5.1.2.1. Detección y clasificación de peatones usando Escáneres Laser

Este esfuerzo de la Universidad de Ulm en Alemania propone el uso de sensores laserscanner, los cuales permiten un campo de visión horizontal de 180 grados de alta resolución. Estos permiten visualizar lo que se encuentra frente al vehículo. Basándose en las imágenes captadas por los escáneres laser, se propusieron varios algoritmos de reconocimiento de peatones. Al usar esos algoritmos, los cuales son capaces de procesar señales de objetos que se mueven a altas velocidades es posible clasificar y seguir el movimiento de los peatones cada vez que se realice un escaneo aun a largas distancias. El movimiento de los peatones puede ser predicho para determinar si se generará o no una situación de riesgo. A pesar de la eficiencia de este sistema, cabe mencionar que el costo de los escáner laser es muy elevado actualmente, lo cual podría convertirse en un obstáculo para su implementación.

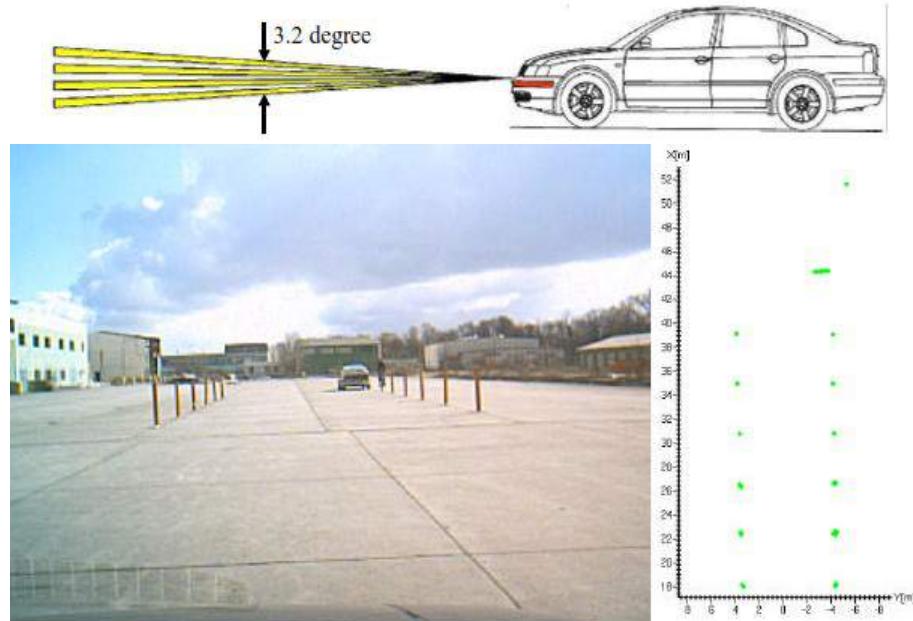


Figura 5.4: Detección por medio de escáneres láser.

En la figura 5.4 en la imagen de arriba el acomodo de los sensores, los escáner laser empleados ofrecen una vista de 180 grados horizontalmente de todo lo que se encuentra frente al vehículo. Abajo, una muestra de los experimentos realizados con los escáneres laser, a la izquierda se muestra una imagen de lo que se encuentra frente al vehículo, a la derecha, es la representación ofrecida por los escáneres.

5.1.2.2. Modelado numérico de un sistema ADA para la protección de VRU basado en la medición por radar y visión

Este proyecto propone un sistema de asistencia para los conductores usando fusión de sensores entre un sistema de radar de corto alcance y la imagen monocromática capturada por una cámara [37]. El sistema de radar es colocado en el centro en la parte de enfrente del vehículo y tiene un solo haz con un alcance de 40 metros, una apertura horizontal de 50 grados y trabaja a una frecuencia de 100 Hz con la capacidad de detectar hasta 32 objetos. Con la información obtenida por el radar (distancia y ángulo de posición respecto al vehículo) y la velocidad del vehículo es posible determinar si el objeto detectado se encuentra en peligro de una colisión. Si no es así, se emite una advertencia. De lo contrario, la información recabada por el radar se envía al controlador de la cámara, el cual realiza el procesamiento requerido.

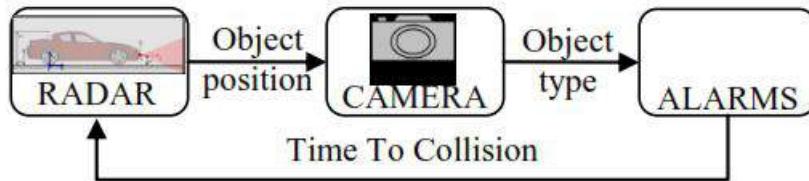


Figura 5.5: Esquema del funcionamiento del sistema.

La fusión de datos implementada en el sistema, figura 5.5. El radar se encarga de detectar objetos, filtrando a aquellos que no tienen posibilidad de colisionar con el vehículo y de advertir cuando una colisión es inminente. El sistema de control de la cámara usa esta información para seleccionar el área del cuadro de imagen para procesarla y encontrar VRUs en esa sección. Cuando la colisión contra un objeto es inminente se activa una alarma.

5.2. Sistemas llevados por VRUs

Consisten en sistemas que como su nombre indica, deben de ser llevados por los VRUs cada vez que salgan a la calle, para que en el momento que requieran interactuar con el tráfico puedan ser detectados y por lo tanto alejarlos del riesgo.

5.2.1. WATCH-OVER

De nuevo en Alemania, en la Universidad de Chemnitz para ser precisos se presentó una solución para la detección de peatones [11]. La solución consiste en sistema cooperativo de sensores, compuesto de una cámara infrarroja colocada dentro del vehículo y módulos WPAN utilizados para determinar la posición relativa de los usuarios de la carretera. Tanto el vehículo como los VRUs están equipados con estos módulos. Los datos recabados por los sensores son procesados por medio de algunos métodos de fusión de datos, con el objetivo de alcanzar una detección confiable en tiempo real de los VRUs en los alrededores del vehículo. Los resultados de esta detección generaron una señal de advertencia para el conductor y para los VRUs.

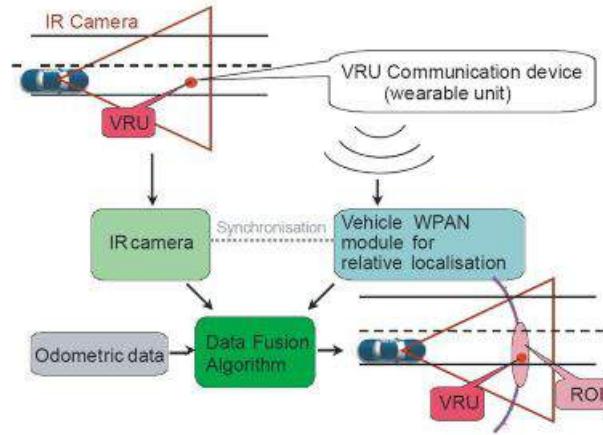


Figura 5.6: WATCH-OVER.

En la figura 5.6 podemos ver el esquema bajo el que funciona la fusión de datos de WATCH-OVER. El dispositivo WPAN del VRU se comunica con el dispositivo localizado con el vehículo, la información obtenida se complementa con la cámara infrarroja colocada en el vehículo

5.2.2. Técnica de filtrado basado en colaboración para detectar proactivamente peatones en riesgo

La protección pasiva de VRUs es el primer paso para la seguridad de los VRUs, sin embargo la mejor solución es evitar los accidentes. En este trabajo se presenta un método proactivo para diferenciar que peatones están a un paso de aproximarse peligrosamente a la calle, así como proveer una ventaja crucial de tiempo extra para un sistema de evasión de colisiones [38]. Para predecir el siguiente paso de un peatón se utilizan patrones de comportamiento de colaboración, en este caso patrones de movimiento de peatones, los cuales son almacenados en una base de datos para en un futuro compararlos con los datos de movimiento recabados en tiempo real por los sensores de un smartphone llevado por un usuario en su bolsillo. Estos sensores proveen información sobre el movimiento y orientación del VRU y en base a esto, determinar si el VRU se acerca a una zona de riesgo.

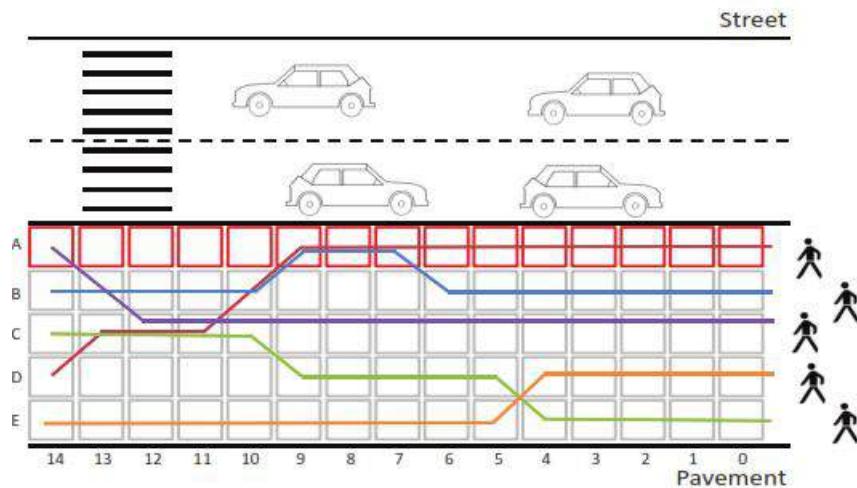


Figura 5.7: Detección proactiva de peatones en riesgo.

El escenario en el que se desenvuelve esta aplicación consiste en segmentar la acera en varias secciones, siendo las más cercanas a la calle las más peligrosas, marcadas por rojo en la figura 5.7.

5.3. Sistemas indirectos

5.3.1. Ko-PER: Detección y rastreo de peatones en intersecciones usando una red de escáneres láser

En la Universidad de Ulm mencionan que más del 50 % de los accidentes con VRUs ocurren en intersecciones [23]. Los escenarios de accidentes en intersecciones se encuentran entre los más complejos debido al número y variedad de usuarios involucrados, diseño de la intersección, límites de velocidad y las distintas direcciones de las que puede provenir el tráfico. Debido a esto y a la alta densidad de tráfico, los peatones pueden ser obstruidos por vehículos o de plano no vistos. Su propuesta consiste en mejorar la seguridad en intersecciones a través de la percepción de VRU desde infraestructura. Para reconocer y seguir objetos en movimiento, se utiliza una red de escáneres láser localizada a varios metros sobre el suelo permitiendo una vista aerea del área y la cual se encuentra observando la intersección proveyendo con un perfil tridimensional de la escena actual independientemente de las condiciones de luz existentes. Por medio de las medidas tridimensionales un robusto y adaptativo modelo Gaussiano de mezcla de imagen de fondo es entrenado para segmentar las dimensiones de los objetos dinámicos de los objetos estáticos. Despues, los peatones son identificados por medio de la densidad y dimensiones de los puntos detectados por los sensores. Una vez que el sistema ha detectado un peaton, la información res-

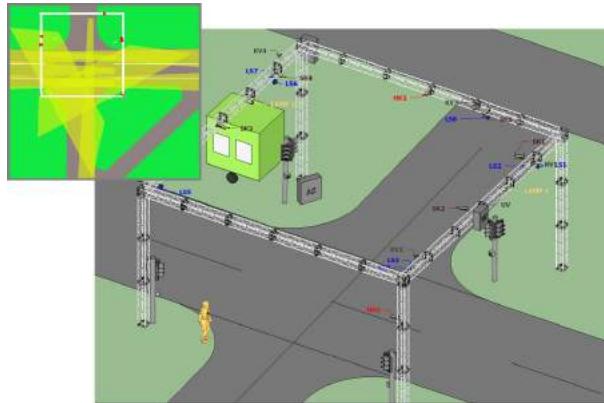


Figura 5.8: Ko-PER.

pecido a la dinámica y posición son transmitidas a los vehículos por medio de comunicación V2I. Los sensores y algoritmos empleados permiten la detección y seguimiento de varios peatones al mismo tiempo.

En la figura 5.8 se puede observar el despliegue de los escáneres láser. En la imagen superior izquierda, las zonas amarillas representan los campos de visión abarcados por la red de sensores.

5.3.2. DRIVE, V1031

En este proyecto inglés se utilizaron detectores de microondas colocados en las señales para identificar peatones en el momento en el que estos se acercaban al cruce [30]. Las respuestas generadas por los sensores se utilizaron para realizar alteraciones en los tiempos de las señales de tránsito para los vehículos, todo con el fin de mejorar la seguridad y movilidad para los peatones. Se realizaron dos pruebas, una en Inglaterra y otra en Suiza. Los resultados demostraron que este es un método viable ya que el sensor de microondas es capaz de detectar un objeto en movimiento por lo que le permitía al sistema tomar decisiones de forma rápida. La detección de microondas se basa en el principio del Radar Doppler. El sensor genera un haz de energía microondas a una frecuencia en particular. Un objetivo en movimiento refleja las ondas a una frecuencia ligeramente distinta. Lo que permite la comparación de información para determinar distancias y dirección del movimiento. Existe la posibilidad de detectar a más de un peatón y determinar el número de ellos. Sin embargo, en el uso de microondas debe existir una gran precisión al dirigir los haces de microondas, ya que si un objetivo es más pequeño que otros objetos en movimiento, el primero puede llegar a ser ignorado generando información errónea.

5.3.3. DRIVE, V1061

El proyecto consistía en probar dos métodos de detección en dos lugares en Inglaterra [30]. El primer método consiste en un tapete que es capaz de medir la presión colocado de manera adyacente al punto de cruce. El segundo método consiste en el uso de un sensor infrarrojo que detectaría la presencia tanto de peatones como de vehículos que pasaran por el cruce.

El concepto básico del sistema que empleaba un tapete de presión consistía en que el peaton debería de usar un botón para solicitar oportunidad de cruzar la calle, el tapete de presión almacenaría la información sobre la presencia del peatón. Si no había algún peatón sobre el tapete, no se realizaban peticiones de cruce. El tapete se instaló de forma permanente, por lo cual los peatones no se percataron de su presencia, por lo cual no era objeto de actos vandálicos. El hecho de que un peatón dejara el tapete, permitía al sistema saber si un usuario estaba cruzando la calle. Entre sus desventajas se encuentra: las modificaciones de infraestructura y futuro mantenimiento requeridos para su instalación pueden resultar costosos, no es capaz de identificar a los peatones antes de llegar al cruce y si no están sobre el tapete.

El concepto consistía en la detección de movimiento por medio de un sensor infrarrojo en un área determinada. Existen ciertas limitaciones al usar este sensor, pues si un objeto de repente se quedara fijo ya no sería detectado, pero en la situación en la que un peatón se acerca al área de cruce no hay problema pues se mantiene en movimiento. La limitación con respecto al área de detección se consideró como una ventaja pues existía una respuesta de detección más específica. Sin embargo, no es posible detectar la dirección del movimiento así como el número de peatones.

El Departamento de Transporte de los Estados Unidos, en el año 2001 evaluó los resultados obtenidos al implementar las mismas técnicas en la detección de peatones con intenciones de utilizar cruces peatonales. Los resultados fueron muy similares [17].

De igual manera en Estados Unidos, en la Ciudad de Portland para ser más específicos se implementaron técnicas similares con la diferencia de que emplearon un sensor ultrasónico y un sensor infrarrojo pasivo (PIR) [5]. Para el caso de los sensores ultrasónicos, estos fueron colocados en señales de tránsito de tal forma que detectaran a los peatones que pasaban por la acera. Una característica importante de un sensor ultrasónico es la necesidad de colocarlo en una posición horizontal o una posición vertical al objetivo, de lo contrario el sensor puede llegar a perder la señal de regreso. También, el tipo de ropa afecta la detección de peatones, los que llevaban ropas sintéticas o de nylon fueron detectados fácilmente, mientras que los que llevaban ropa de algodón o fibras naturales no siempre eran detectados.

El sensor PIR puede ser colocado en cualquier ángulo sin perder eficiencia. Una limitación presente en este tipo de sensores es que estos buscan un cambio de temperatura que sea contrastante con la temperatura de fondo del área que está monitoreando. Si un peatón se mueve en el campo de visión del sensor de una forma muy lenta, podría no ser detectado ya que el contraste

de temperatura es menor del que el sensor puede detectar. Este efecto puede verse incrementado a distancias mayores. También es posible que la detección no se de si la temperatura ambiente y la temperatura del cuerpo de un peatón fuesen iguales. Sin embargo, esto es poco probable ya que la ropa y la actividad física del peatón provocan que la temperatura del cuerpo varíe con respecto a la temperatura ambiente.

Capítulo 6

Sistema Propuesto

Después de haber estudiado los diversos trabajos realizados sobre la detección de peatones se propone un sistema de detección, el cual se basará en las ventajas y desventajas de los sistemas propuestos para que sea lo más óptimo posible.

Primero que nada, recordando los tipos de detección existentes tomaremos como base del proyecto los siguientes puntos:

- Que sea un Sistema Indirecto. Esto más que nada para asegurarnos que el peatón sea detectado sin necesidad de que lleve algún dispositivo consigo, ya sea por haberlo olvidado o por no contar con este. La diferencia con los Sistemas en el Vehículo, es que los sistemas indirectos ofrecen una mejor perspectiva de la situación y podrían alertar a los vehículos mucho antes de que estos lleguen a la zona de riesgo y evitar que los usuarios de estos tomen decisiones y acciones evasivas de último momento. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de trabajar en conjunto con este tipo de sistemas, ya que si se llegaran a implementar para los mismos fines, podrían complementarse entre sí y funcionar de una forma óptima.
- Ya que consiste en un Sistema Indirecto, podemos asegurar que funcionará bajo la arquitectura V2I. La comunicación se dará entre infraestructura y vehículo. Es decir, el sistema indirecto propuesto enviará información a los vehículos sobre la situación de los VRUs.
- Que el sistema sea costeable. Muchos de los proyectos propuestos utilizan sensores con costos bastante elevados, a pesar de ser propuestas muy interesantes, viables y eficientes; su implementación en cada cruce podría llegar a resultar bastante costoso. Lo mismo ocurre con los trabajos que proponen modificaciones muy notorias a la infraestructura de tránsito.
- Que el sistema sea capaz de detectar, seguir y determinar las intenciones de los peatones. Esto para poder emitir señales de alerta lo más rápido posible.

Tomando en base todo lo mencionado sobre la protección de VRUs, en cuanto a detección y seguimiento de estos se propone lo siguiente:

Un sistema V2I de detección y seguimiento de VRUs en zonas de riesgo con la finalidad de emitir señales de alerta a los usuarios de vehículos que se aproximan al punto en el que un peatón tiene intención de cruzar la calle. El sistema debe de ser capaz de diferenciar un VRU de cualquier otro objeto móvil, de determinar la dirección de movimiento y las intenciones del peatón, es decir, si intenta o no cruzar la calle.

De acuerdo a [30] en cuanto a la detección de peatones en cruces desde infraestructura existen diferentes situaciones que se dan en el momento de la interacción entre un VRU y el tráfico. Un sistema de detección de peatones en cruces debe ser capaz de:

- Identificar a los peatones que se acercan al punto de cruce.
- Identificar a los peatones que están esperando cruzar la calle.
- Medir cuantos peatones tienen intención de cruzar la calle.
- Identificar la situación cuando los peatones ya no desean cruzar la calle.
- Identificar la situación cuando todos los peatones ya han cruzado la calle.

6.1. Arquitectura Propuesta

Considerando todos los puntos anteriores se propone la siguiente arquitectura para el sistema:

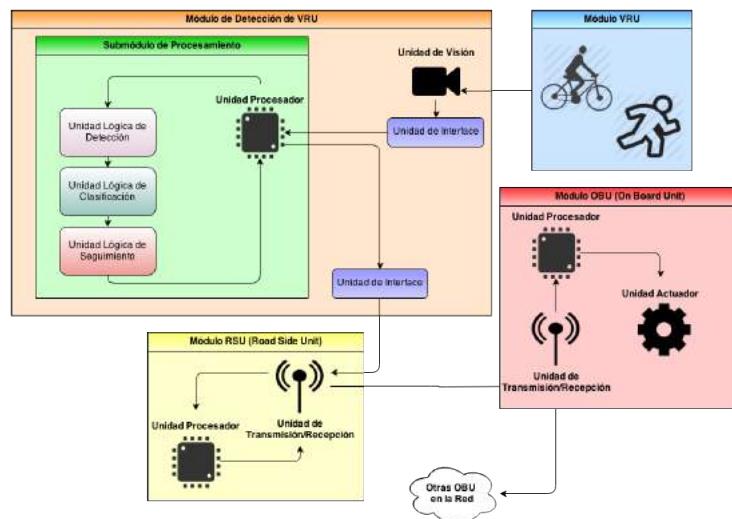


Figura 6.1: Arquitectura propuesta

En la arquitectura, se cuentan con cuatro módulos: El módulo de detección de VRUs, el módulo RSU, el módulo VRU y el módulo OBU

6.1.1. Módulo de detección de VRUs

Como su nombre lo indica, este módulo es el encargado de realizar las funciones de detección de VRUs, así como también las funciones de clasificación y seguimiento de estos. El módulo se compone de una unidad de visión, dos unidades de interfaz de comunicación y un submódulo procesador.

6.1.1.1. Unidad de visión

Simplemente consiste en uno o varios sensores trabajando entre sí cuyas mediciones realizadas podrían ayudar a determinar si hay o no uno o más VRU presentes en la zona de detección. Según lo investigado, el sensor o los sensores deben de permitirle al sistema en base a las mediciones adquiridas poder determinar si un objeto se encuentra en movimiento, la dirección de movimiento de los objetos detectados y si se trata o no de una persona.

6.1.1.2. Submódulo procesador

Este submódulo se compone de los elementos tanto físicos como lógicos que se encargan del procesamiento y de la toma de decisiones de acuerdo a las mediciones obtenidas por la unidad de visión. Se compone de una unidad procesador y tres unidades lógicas: un algoritmo de detección, un algoritmo de clasificación y un algoritmo de movimiento.

- La unidad procesador consiste en el hardware que se encarga de procesar los datos recibidos por el sensor, es decir un microprocesador o una computadora.
- El algoritmo de detección es un conjunto de pasos que debe seguir la unidad procesador para que en base a la información recibida por esta última determinar si hay o no un objeto en movimiento en la zona de detección vigilada por la unidad de visión.
- El algoritmo de clasificación toma los resultados arrojados por el algoritmo de detección, los compara entre si y determina si el objeto en movimiento es o no un VRU.
- El algoritmo de movimiento, una vez que se ha determinado con anterioridad que el objeto en movimiento es un VRU, comienza a seguir el movimiento de este con el fin de determinar si se dirige hacia una zona de riesgo (la orilla de carretera) si se aleja de la zona de riesgo o si salió del área de detección. Con esta información, la unidad procesador toma la decisión de generar o no una señal de advertencia para ser transmitida.

6.1.1.3. Unidades de interface

Consisten en los medios físicos y lógicos que les permiten a las unidades conectarse entre si. Para este módulo, una unidad de interface está presente entre la unidad de visión y el submódulo procesador. La otra unidad de interface conecta el submódulo procesador con el módulo RSU.

6.1.2. Módulo RSU

El módulo RSU es una unidad de infraestructura de tránsito con el objetivo de recibir, procesar y transmitir datos a los vehículos. Una vez que el módulo de detección ha generado una advertencia, es enviada al módulo RSU para que este determine a qué vehículos debe de ser transmitida, información sobre la posición del cruce donde se generó la advertencia y demás datos que son de relevancia para las OBUs. La advertencia, junto con la información del RSU y otro tipo de información que también puede resultar de interés son encapsulados en un paquete y transmitidos.

6.1.3. Módulo OBU

Es la unidad que se encuentra dentro del vehículo que se encarga de recibir información enviada desde otras OBUs o de RSUs. El módulo OBU se compone de una unidad transmisora/receptora de información, un submódulo procesador y de varias unidades o submódulos actuadores, los cuales se encargarán de tomar decisiones, informar al usuario o de tomar las acciones correctivas necesarias. Para el caso de detección de VRUs, el módulo OBU le informará al usuario sobre la situación y demás información sobre VRUs.

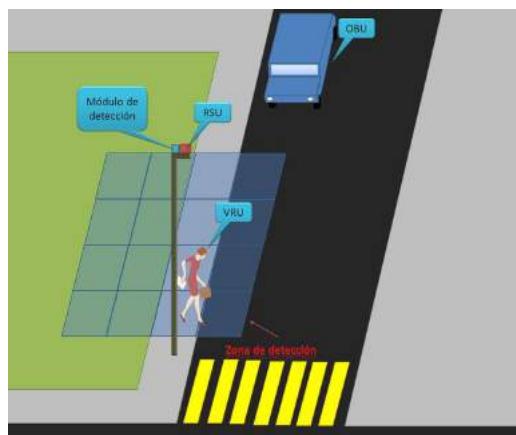


Figura 6.2: Ejemplo del despliegue del sistema propuesto.

En esta figura 6.2 se muestra un ejemplo de como puede estar implementada la arquitectura propuesta. La presencia de un VRU en la zona de detección

activa el módulo de detección el cuál gracias a sus componentes es capaz de generar información y tomar decisiones. Estas son enviadas al módulo RSU que se encarga de transmitir la información de relevancia por medios inalámbricos a la OBU dentro del vehículo para que el conductor tome las debidas precauciones.

6.2. Algoritmos Propuestos

En el submódulo procesador, la unidad de procesador se apoya de tres algoritmos los cuales determinarán la presencia y dirección de movimiento de un VRU. Antes de explicar en qué consiste cada algoritmo, hay que dejar en claro que este algoritmo fue desarrollado de acuerdo al funcionamiento y especificaciones de un arreglo matricial de sensores de temperatura de no contacto, es decir un arreglo de sensores capaces de medir la temperatura de superficie de manera independiente entre si. Este algoritmo solo es funcional para aquellos sensores cuyos arreglos de sensores son más grandes que 3×3 hasta $n \times n$.

Para ayudarle al lector a visualizar el área de detección, refiérase al ejemplo de la figura 6.3 donde el área de detección para un arreglo de sensores de 4×4 . El punto **a** es en dirección a la calle, el punto **b** es el lado contrario de la calle. **c** y **d** son los laterales de la zona de detección. La numeración de los elementos del arreglo va de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba. La primera fila del arreglo es considerada como Zona 1, la siguiente es Zona 2 y así hasta llegar a la Zona n , la cual para este caso será Zona 4 y para el ejemplo es considerada como la orilla de la calle.

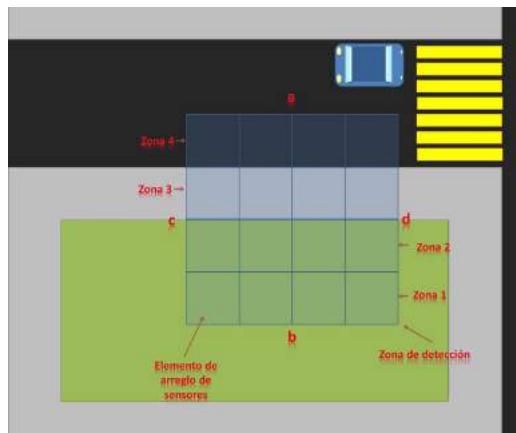


Figura 6.3: Área de detección.

6.2.1. Algoritmo Principal

El algoritmo principal es el que se encarga de la toma de decisiones una vez que se han realizado las medidas por la unidad de visión. Además de la toma de decisiones se encarga de almacenar los datos medidos por el arreglo de sensores.

Mientras no exista una respuesta final por parte del algoritmo, se procede a llamar en un ciclo constante al algoritmo de detección:

Algorithm 6.1 Algoritmo Principal

```

start
{
    tData = data received from the sensor
    Case 1 ((fromA[0] AND fromA[y]) == true)
        print VRU is trying to cross
        wait
        call clear
    Case 2 (fromA[0] AND fromA[1] AND safe) == true
        print VRU is safe
        wait
        call clear
    Case 3 (fromC[0] AND fromC[x] AND safe) == true
        print VRU is safe
        wait
        call clear
    Case 4 (fromD[0] AND fromC[x-(x-1)] AND safe) = true
        print VRU is safe
        wait
        call clear
    Default
        call detection
        pTdata = tData /*stores previous temperatura data
        for future comparisons*/
    End Case
}

```

6.2.2. Algoritmo de Detección

El algoritmo de detección compara las mediciones actuales captadas por el sensor con las mediciones almacenadas del ciclo anterior. Si la diferencia entre la medición actual y la anterior se encuentra dentro de un umbral de detección definido se determina que hay un objeto en movimiento dentro de la zona de detección, de ser así se llama al algoritmo de clasificación. No está de más mencionar que este proceso se realiza para cada sensor perteneciente a la matriz.

Algorithm 6.2 Algoritmo de Detección

```

detection()
{
    for i=1 to i< (n+1)
        double diff = ptData - tData
        if diff >= tempthreshold OR diff <= tempthreshold
            pass out: i
            call movement
        else
            human[i] = false
}

```

6.2.3. Algoritmo de Clasificación

En caso de que se determine que hay movimiento dentro de la zona de detección, el algoritmo de clasificación procede a comparar si la temperatura del objeto en movimiento se encuentra dentro de un rango de temperatura característico de un ser humano. Si es así, se pasa la información al algoritmo de dirección de movimiento.

Algorithm 6.3 Algoritmo de Clasificación

```

movement()
{
    pass in: i
    print there is movement
    if minTemp < tData[i] < maxTemp
        human[i] = true;
        pass out: i
        call warning
    else
        human[i] = false
}

```

6.2.4. Algoritmo de Movimiento

Una vez que se ha detectado movimiento y se ha determinado si es debido a la presencia de un VRU. El algoritmo de movimiento revisa elemento por elemento del arreglo de sensores, comparando mediciones anteriores con las actuales y poder determinar en qué dirección se mueve el VRU. De acuerdo a la figura 6.3 el algoritmo es capaz de registrar las siguientes situaciones:

- Movimiento del punto **b** al punto **a**.
- Movimiento del punto **b** al punto **c** o **d**.
- Movimiento del punto **c** al punto **a**.
- Movimiento del punto **d** al punto **a**.
- Movimiento del punto **c** al punto **b** o **d**.
- Movimiento del punto **d** al punto **b** o **c**.

Para detectar por que lado de la zona de detección entró se utiliza la siguiente parte del algoritmo.

Algorithm 6.4 Algoritmo de Clasificación

```

warning()
{
    pass in: i
    Case 1 i == 1 OR i == 2 OR ... OR i == x AND ((fromC[0]
    AND fromD[0]) == false)
        fromA[0] = true;
        pass out: i
        call movFromA;

    Case 2 i == x+1 OR i == 2x+1 OR ... OR i == x*(y-2)+1
    AND ((fromA[0] AND fromD[0]) == false)
        fromC[0] = true;
        pass out: i
        call movFromC;

    Case 3 i == 2x OR i == 3x ... OR i == x*(y-1) AND ((fromA[0]
    AND fromC[0]) == false)
        fromD[0] = true;
        pass out: i
        call movFromD;

    Case 4 fromA[0] == true
        pass out: i
        call movFromA

    Case 5 fromC[0] == true
        pass out: i
        call movFromC

    Case 6 fromD[0] == true
        pass out: i
        call movFromD

    End Case
}

```

Si se determina que el VRU entró por **a**, se continúa con la siguiente parte del algoritmo el cuál es capaz de seguir los movimientos de este desde el punto de origen hasta los otros tres lados posibles. Suponiendo que un VRU entró al área de detección por el lado b, cada vez que se detecte movimiento humano el algoritmo considerará la posición anterior del peatón y preguntará por la nueva posición, de esta forma se determinará si el usuario avanza hacia enfrente o hacia atrás. Cuando el VRU se encuentra en la zona **n**, es decir la última zona y se detecta de nuevo movimiento humano y no hay actividad en la zona anterior se determina que el usuario está cruzando la calle. Si el usuario entra por **a** y

se dirige hacia **c** o **d** se considera que el peatón está seguro. De igual forma si entra por **c** o **d** y se dirige hacia **a**.

Algorithm 6.5 Algoritmo de Clasificación, VRU entró por b.

```

movFromA
{
    pass in: i
    if i == 1 OR i == 2 OR ... OR i == x
        fromA[1] = true
    else if i == x+2 OR i == x+3 ... OR i == 2x AND fromA[1] == true
        fromA[2] = true
        fromA[1] = false
    ...
    else if i == (x*(y-1)+1) OR i == (x*(y-1)+2) OR ... OR i == x*y
        AND fromA[y-1] = true;
        fromA[y] = true
        fromA[y-1] = false
    else if i == x+1 OR i == 2x+1 ... OR i == x*(y-2)+1
        for j=0 to y
            fromA[j] = false
        fromD[0] = true;
        fromD[x] = true;
        safe = true
    else if i == 2x OR i == 3x ... OR i == x*(y-1)
        for j=0 to y
        fromA[j] = false
        fromC[0] = true;
        fromC[x] = true;
        safe = true
}

```

Si el VRU entró por el lado **c**, se sigue la siguiente parte del algoritmo:

Algorithm 6.6 Algoritmo de Clasificación, VRU entró por c.

```

movFromC
{
    pass in: i
    if i == x+1 OR i == 2x+1 OR ... OR i == x*(y-2)+1
        fromC[1] = true
    else if i == x+2 OR i == 2x+2 OR ... OR i == x*(y-2)+2
        AND fromC[1] = true
        fromC[2] = true
        fromC[1] = false
    ...
    else if i == 2x OR i == 3x OR ... OR i == x*(y-1)
        AND fromC[x-1] = true
        fromC[x] = true
        safe = true;
    else if i == 1 OR i == 2 OR ... OR i == x AND fromC[1] = true
        fromC[1] = false
        fromA[0] AND fromA[1] = true
        safe = true
    else if i == (x*(y-1)+1) OR i == (x*(y-1)+2) OR ... OR i == x*y
        AND fromC[1] = true
        fromC[0] AND fromC[1] = false
        fromA[0] AND fromA[y] = true
}


---



```

El siguiente algoritmo entra en acción cuando el VRU entra por el lado d.

Algorithm 6.7 Algoritmo de Clasificación, VRU entró por d.

```

movFromD
{
    pass in: i
    if i == 2x OR i == 3x ... OR i == x*(y-1)
        fromD[1] = true
    else if i == 2x-1 OR i == 3x-1 OR ... OR i == x*(y-1)-1
        AND fromD[1] = true
        fromD[2] = true
        fromD[1] = false
    ...
    else if x+1 OR i == 2x+1 OR ... OR i == x*(y-2)+1
        AND fromD[x-1] = true
        fromD[x] = true
        safe = true;
    else if i == 1 OR i == 2 OR ... OR i == x AND fromD[1] = true
        fromD[0] AND fromD[1] = false
        fromA[0] AND fromA[1] = true
        safe = true
    else if i == (x*(y-1)+1) OR i == (x*(y-1)+2) OR ... OR i == x*y
        AND fromD[1] = true
        fromD[0] AND fromD[1] = false
        fromA[0] AND fromA[y] = true
}


---



```

Una vez que el VRU llegue de un lado a otro, cualquiera de los algoritmos presentados regresará ciertas variables, las cuales serán tomadas por el algoritmo principal el cuál tomará la decisión sobre si el VRU está fuera de la zona de riesgo y emitir una alerta o si el usuario está seguro.

Capítulo 7

Evaluación y resultados del sistema propuesto

Para la detección de VRUs decidimos evaluar un dispositivo de arreglo de sensores térmicos de no contacto. Los arreglos de sensores son un conjunto de sensores de temperatura distribuidos en forma de un arreglo matricial. Cada elemento del arreglo de sensores tiene un ángulo de visión y es capaz de medir el calor irradiado por la superficie de un objeto de manera independiente de los demás elementos. El calor capturado por el sensor produce una fuerza electromotriz dentro del sensor, cuyo valor en base a una medición de una temperatura de referencia es convertido a un valor medible. La ventaja de este tipo de sensores con los demás sensores infrarrojos los cuales no son capaces de detectar señales de objetos estacionarios pues los sensores se enfocan en detectar contrastantes en los cambios en la temperatura. Los sensores de temperatura de no contacto siguen detectando el rayo infrarrojo de un objeto sin importar si se encuentran o no en movimiento. Se consideró el uso de estos sensores debido a sus capacidades y bajo costo.

7.1. Dispositivo de Detección de VRUs

El hecho de que este tipo de dispositivos se encuentran formados por múltiples sensores la salida producida se asemeja a una imagen termal de baja resolución. Esto les brinda otra ventaja con respecto a los demás, pues les brinda la capacidad de no solo detectar movimiento sino de también ver hacia donde se mueven los objetos detectados y la distancia a la que se encuentran.

Para evaluar este tipo de sensores se optó por el dispositivo D6T-44L, el cuál es un arreglo de 16 sensores térmicos de la compañía OMRON distribuidos de forma matricial a 4x4.

El dispositivo D6T-44L es un arreglo de 16 sensores térmicos distribuidos de la forma mostrada en la figura 7.1. El dispositivo tiene un ángulo de visión horizontal de 44.2° y un ángulo de visión de vertical de 45.7°.

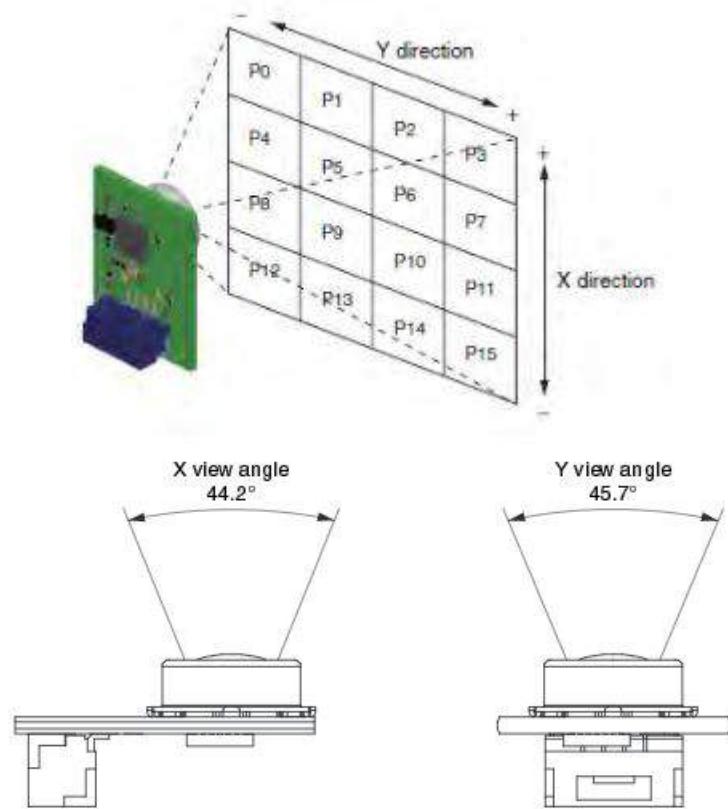


Figura 7.1: Área de visión del dispositivo D6T-44L.

El dispositivo es capaz de detectar hasta una distancia de 10 metros, sin embargo las temperaturas detectadas varían conforme aumenta la temperatura. A una distancia de 1cm la temperatura de superficie del cuerpo humano es de aproximadamente 32° C, sin embargo a una distancia de 5 metros el mismo objeto devuelve una temperatura de 28° C. Por estas razones, el umbral de detección de movimiento y el umbral de presencia humana deben de considerar la distancia entre el sensor y la superficie de detección.

El D6T-44L detecta objetos cuya temperatura se encuentra entre los 5°C y los 50°C y soporta temperaturas de entre -10°C y 60°C. A pesar de que el sensor no fue diseñado para su uso en exteriores, salvo por lluvias, nevadas y demás adversidades climáticas es capaz de resistir el uso en exteriores.

7.2. Interface de comunicación

La interface de comunicación que utiliza el sensor para comunicarse con otros dispositivos o unidades de control es **I²C** (Circuitos Inter-Integrados) , el cual es un bus de comunicación de baja velocidad desarrollado por Phillips para la comunicación entre circuitos integrados. Esta tecnología de comunicación utiliza solamente dos líneas de comunicación: **SCL** (Línea de Reloj Serial) y **SDA** (Línea Serial de Datos). **SCL** se encarga del control de transmisión de datos, proporciona la señal de reloj que determina el inicio y final de una transmisión. **I²C** funciona mediante el esquema de Maestro y Esclavo. El dispositivo maestro se encarga del control de la línea **SCL**. Hasta 255 dispositivos esclavos pueden ser conectados al mismo bus mientras exista un dispositivo maestro que se encargue del control de datos.

Los dispositivos **I²C** se conectan siguiendo el esquema mostrado en la figura 7.2. El bus de comunicación es compartido por todos los dispositivos conectados. El dispositivo maestro se encarga de administrar que dispositivos se van a comunicar.

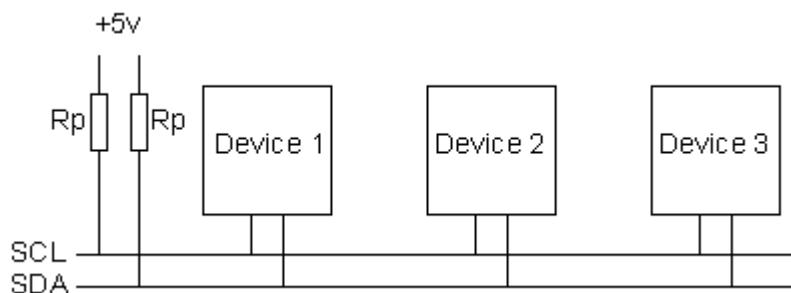


Figura 7.2: Interface I²C.

El control sobre la transmisión de los dispositivos depende de que cada uno que se encuentra conectado con el bus cuenta con su propia dirección y línea

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA PROPUESTO 77

de comando para enviar o recibir órdenes. Los dispositivos que se encuentran conectados al bus **I²C** cuentan con sus propias direcciones y líneas de comando para recibir o enviar órdenes.

Para iniciar la comunicación con un dispositivo **I²C**. El maestro envía una secuencia de inicio. Después se transmite la dirección del dispositivo esclavo con el que desea realizar la comunicación. Se envía el número de registro de comando. Se inicia la transmisión de datos y se termina una vez que se han recibido todos los datos.

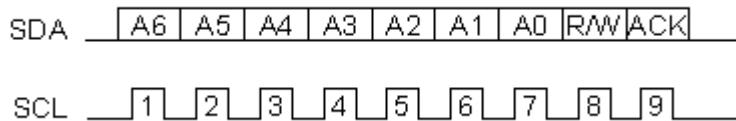


Figura 7.3: Secuencia de un paquete de bits en I²C.

Los datos viajan a través de **I²C** en bytes. Siete bits son utilizados para transmitir datos, un bit se utiliza para definir si se está escribiendo o leyendo el bus. Y un bit se encarga de reconocer si se recibió la información, figura 7.3.

Para las pruebas realizadas, la unidad de procesamiento consistía en una computadora portátil. La interfaz de comunicación entre la computadora y el bus de comunicación **I²C** del dispositivo D6T-44L fue realizada por medio de la plataforma Arduino. Arduino cuenta con una librería que hace transparente para el usuario la comunicación por medio de **I²C**, la librería es llamada Wire y al igual que la plataforma para la que fue creada, es código libre. Sin embargo, la librería Wire solamente soporta máximo 32 bytes a través del bus. El dispositivo D6T-44L transmite 35 bytes por cada ciclo de lectura. Para solucionar este problema se empleó una librería que permite extender las capacidades de Wire, esta librería se conoce como WireExt.

La figura 7.4 muestra el esquema bajo el que se da la comunicación con el dispositivo D6T-44L. Primero se envía un byte con la dirección del dispositivo, después se introduce un byte que indica las instrucciones, esto se hace solo una vez. Despues inicia la transmisión de datos, dos bytes son para la temperatura de referencia del sensor y dos bytes para la información de cada elemento del arreglo, al final un byte conocido como PEC, el cual se encarga de revisar si la información se recibió correctamente.

Los datos recibidos por el sensor son convertidos a grados Celsius y son almacenados junto a la temperatura de referencia dentro de un arreglo de 17 elementos.

Los datos recibidos por la computadora son procesados con Processing V2. El cual es un lenguaje de programación e IDE basado en java pero con una sintaxis más sencilla y un modelo de programación gráfico. Los algoritmos presentados en el capítulo anterior son implementados en Processing V2.

Processing recibe los datos provenientes de Arduino a través del puerto serial

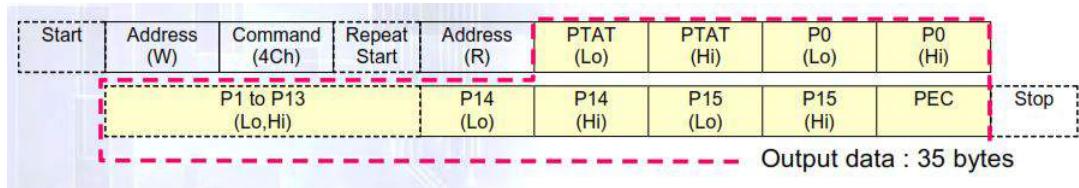


Figura 7.4: Estructura de los datos de salida del dispositivo D6T-44L.

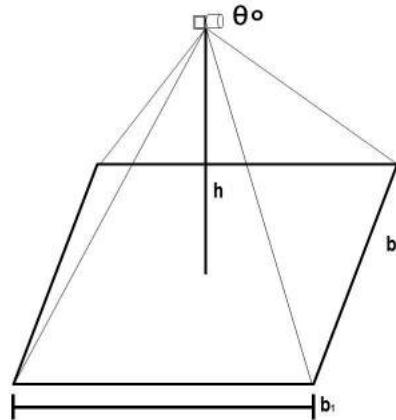


Figura 7.5: Área y posicionamiento vertical del dispositivo D6T-44L.

de la computadora. La lectura se da mientras haya datos disponibles en el puerto serial, los datos son recibidos tal y como salieron del Arduino y son almacenados en un arreglo.

7.3. Evaluación del Sistema de Detección

7.3.1. Posicionamiento del Sensor

A pesar de que es más característica una imagen térmica del perfil de una persona, se decidió colocar el sensor de tal forma que la muestra medida fuera una toma aérea. Esto más que nada para tener una superficie de fondo fija, lo que significa menores variaciones en el escenario por defecto en la zona de detección. Esto también significa una distancia definida y finita. Lo cual afecta a las consideraciones que se deben tomar con respecto los dos umbrales de detección. La decisión de colocar el sistema en una parte superior también es con el fin de evitar que las personas se percaten de su presencia y que no se conviertan en objeto de actos de vandalismo.

El área de detección del sensor ($b_1 \times b_2$) depende de dos variables. La primera

es el ángulo de visión del dispositivo, representado por ϑ . La segunda variable es la distancia existente entre el sensor y el suelo, representada por h , figura 7.5.

7.3.2. Condiciones de la Evaluación.

Para las pruebas de la unidad de detección realizadas y desarrollo y optimización del algoritmo se emplearon las siguientes condiciones en un ambiente controlado:

- Una temperatura de referencia promedio de 25°C. Las mediciones se realizaron en una habitación cerrada con una temperatura ambiental constante de 25°.
- Una temperatura de superficie medida por el sensor que oscila entre los 24.1°C y 24.5°C. Es decir, en condiciones normales y sin presencia de movimiento. Las temperaturas medidas no deben salir de ese rango. Si se llega a medir una temperatura fuera de ese rango, significa que hay movimiento.
- Una temperatura de piel humana cubierta por ropa que oscila entre los 25.5°C y 28°C a una distancia comprobada de hasta 4 metros. Si el sensor llegara a tomar una medida dentro de ese rango, se puede decir que el objeto detectado es humano.
- Una distancia de 2.35m de separación entre el sensor y el suelo, lo que ofrece un área de detección de 1.2 metros cuadrados
- Para las pruebas se consideró el escenario más sencillo: La detección de una sola persona viajando en una dirección.
- Solamente se considera la detección cuando se entra por tres de cuatro lados (lado contrario de la calle y ambos laterales).

El umbral de detección de movimiento utilizado para la evaluación es de 0.5°. La medición previa y la actual son comparadas, si la diferencia es mayor a 0.5°C (Tanto para si es más frío o más caliente) significa que hay movimiento. Se determina si es humano mediante un rango de temperatura acorde a la piel humana, la cual en las condiciones establecidas, oscila entre 25.5°C y 30°C. Para evitar falsos positivos, se modificó el rango de detección humana a 26.5°C - 30°C.

La velocidad con la que el sensor emite información generaba varios falsos positivos que ofrecían información errónea. Para evitar esto, cada vez que se emita una señal final del estado de un VRU (si entra a una zona de riesgo o si está seguro), la recepción de datos se detiene por un segundo.

7.3.3. Resultados de la Evaluación

Las pruebas se realizaron considerando los siguientes escenarios, considere la figura 6.3:

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA PROPUESTO 80

- **Escenario 1:** Un peatón entra por el lado **b** y camina hacia **a**.
- **Escenario 2:** Un peatón entra por **b** y se queda inmóvil.
- **Escenario 3:** Un peatón entra por **b** y se dirige hacia **c** o **d**.
- **Escenario 4:** Un peatón entra por **b, c** o **d** y se queda inmóvil, después de un momento reanuda su movimiento.
- **Escenario 5:** Un peatón entra por **c** o **d** y se dirige hacia **a**.
- **Escenario 6:** Un peatón entra por **c** o **d** y se dirige hacia **b**.
- **Escenario 7:** Un peatón entra por **c** o **d** y se dirige hacia el lado contrario de este.
- **Escenario 8:** Un peatón entra por **b, c** o **d** y se regresa por el mismo lado que entró.

Para las pruebas se le solicitó a un VRU que atravesara la zona de detección al menos veinte veces tratando de satisfacer los escenarios propuestos.

Para el **Escenario 1**, todas las pruebas resultaron exitosas. Salvo en aquellos casos donde la velocidad del VRU era tan alta que el sensor no alcanzaba a realizar las mediciones (El VRU pasó corriendo a su máxima velocidad). En el **Escenario 2**, si un peatón entra por cualquier lado el sistema se queda en espera de que el VRU comience a moverse de nuevo, almacenando su estado y posición donde se había quedado, todas las pruebas resultaron con éxito. El **Escenario 3**, es similar al **Escenario 1**, todas las pruebas resultaron exitosas. En el **Escenario 4**, el cual se encuentra sumamente ligado al **Escenario 2**, una vez que el VRU comenzó a moverse de nuevo, la información siguió actualizándose partiendo de la última posición e información almacenada. Los **Escenarios 5** y **6** son similares entre sí, las pruebas resultaron exitosas. De igual forma, el **Escenario 7** resultó exitoso en todas las pruebas. Sin embargo, en el **Escenario 8**, el sistema falló en el 50% de los casos en los que el VRU entró por **b** y regresó por el mismo lado, esto puede deberse a que a veces el VRU se acercaba tanto al punto **a** que ya era considerado como si el VRU tuviese intenciones de cruzar la calle. En el caso para los que el VRU entraba por **c** o **d** y se regresaba por el mismo lado por el que entró todas las pruebas resultaron exitosas. En la figura 7.6 se puede observar la cantidad total de experimentos realizados y el porcentaje de pruebas exitosas obtenidas.

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN Y RESULTADOS DEL SISTEMA PROPUESTO 81

Escenario	Descripción	Número de pruebas	Número de pruebas exitosas	Porcentaje de éxito
1	Un peatón entra por el lado b y camina hacia a	25	20	80%
2	Un peatón entra por b y se queda inmóvil	20	20	100%
3	Un peatón entra por b y se dirige hacia c o d	40	40	100%
4	Un peatón entra por b, c o d y se queda inmóvil, después de un momento reanuda su movimiento	60	60	100%
5	Un peatón entra por c o d y se dirige hacia a	40	40	100%
6	Un peatón entra por c o d y se dirige hacia b	40	40	100%
7	Un peatón entra por c o d y se dirige hacia el lado contrario	40	40	100%
8	Un peatón entra por b, c o d y se regresa por donde entró	60	50	83%
Total		325	310	95%

Figura 7.6: Tabla de experimentos y pruebas exitosas

El sistema y algoritmos propuestos funcionan de manera óptima con las condiciones establecidas. Esto es más que nada ya que se fue desarrollando y optimizando de acuerdo a los resultados de las pruebas. Como ya se mencionó todo se realizó dentro de un ambiente controlado donde las variaciones de temperatura no eran muy grandes y donde aún no influían condiciones exteriores.

El sistema aun no es capaz de detectar a más de un VRU atravesando la zona de detección en diferentes direcciones. No significa que no sea posible, sin embargo el tamaño del arreglo de sensores es de gran influencia para esto. Ya que si dos VRUs se llegasen a cruzar en un área de detección de 4x4, el sistema los confundiría con un solo VRU e ignoraría los movimientos del otro.

La velocidad de respuesta del sistema es óptima y es capaz de cumplir con las restricciones de tiempo existentes en los sistemas de seguridad requeridos para la protección de VRUs. Las limitaciones del área de detección debido al número de elementos del arreglo son parte vital en la eficiencia del sistema en general, pues alteran la mayoría de las variables... sin embargo, un arreglo más grande de sensores podría complicar en gran forma los algoritmos de movimiento.

En sí, el sistema cumplió con el objetivo de ser una alternativa costeable en la detección de VRUs. A pesar de que el dispositivo D6T-44L no es el único de su tipo, no es una tecnología poco accesible. De igual forma, los demás elementos pertenecientes al sistema no son costosos. Salvo por las OBUs y RSUs, ya que dependiendo de los estándares con los que cumplen, por ejemplo WAVE, debido al estado experimental en el que se encuentran resultan muy caros.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo futuro

Como se ha repetido constantemente a lo largo de esta tesis. El paradigma de los ITS ha crecido enormemente, pero no fue de la noche a la mañana. Se han requerido varios años y el trabajo de cientos de investigadores a lo largo de los años para llegar a lo que existe hoy en día. En el área de protección de VRUs desde infraestructura de tránsito no hay mucha documentación, lo cual refleja el poco interés que existe por los usuarios más vulnerables del sistema.

El desarrollo e implementación de un sistema capaz de proteger a los VRUs no es cosa fácil. Se requiere considerar un gran número de variables: el comportamiento poco predecible de los VRUs, las diversas condiciones de tráfico que se pueden dar en distintos países, regiones... incluso a veces dentro de la misma ciudad.

El sistema propuesto en este trabajo aún tiene mucho camino que recorrer, no porque haya funcionado para los escenarios propuestos significa que vaya a funcionar para otros escenarios existentes en otros lugares. Por ello hay que seguir investigando sobre otros escenarios posibles que tal vez no se han presentado en nuestra zona de confort. Refiriéndose al dispositivo de detección empleado, existen aún más alternativas, este trabajo solamente consistió en la evaluación de un conjunto de módulos y unidades trabajando entre sí, tal vez cambiando una sola de las variables presentes en esta investigación todo el panorama cambie, tanto como para mejorar como para empeorar. Mientras se escribe esto, OMRON, la misma compañía que diseñó el D6T-44L está cerca de sacar al mercado un dispositivo similar con una capacidad de 256 sensores infrarrojos acomodados en un arreglo de 16x16. Esto es un cambio enorme, tal vez el área de detección mejore y sea capaz de tratar con más de un VRU a la vez, los algoritmos propuestos seguirían funcionando de forma correcta, sin embargo la capacidad de cómputo puede verse reducida al trabajar con tanta información.

Como trabajo futuro está pendiente la transmisión de las alertas generadas por el sistema por medio de RSUS hacia las OBUs de los vehículos. Hay que evaluar este sistema trabajando en conjunto con los protocolos ya revisados en esta tesis. Hay que encontrar la forma de poder detectar a más de un VRU atravesando la zona de detección. Y también considerar otros sensores a evaluar

que puedan reemplazar el sensor utilizado en esta propuesta o que trabajen bajo el esquema de fusión de datos.

Hay mucho trabajo por delante y muy poco tiempo.

Bibliografía

- [1] NZ Transport Agency. Pedestrian planning and design guide. *NZ Transport Agency*, 2009.
- [2] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, and Weilin Wang. Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks*, 47, 2005.
- [3] Antonio Avenoso and Jörg Beckmann. The safety of vulnerable road users in the southern, eastern and central european countries (the sec belt). *European Transport Safety Council*, 2005.
- [4] Humayun Bakht, Madjid Merabti, and Robert Askwith. Centralized frame for routing in mobile ad-hoc network. *ICCC2004*, 2004.
- [5] Dana M. Beckwith and Katharine M. Hunter Zaworski. Passive pedestrian detection at unsignalized crossings. 1997.
- [6] B.Kosucu, K.Irgan, G.Küçük, and S.Baydere. Firesensetb: A wireless sensor networks testbed for forest fire detection. *Wireless Communication and Mobile Computing*, 2009.
- [7] Juan-Carlos Cano, Carlos T. Calafate, Pietro Manzoni, Francisco J. Martínez, Manuel Fogue, and Manuel Coll. Assessing the impact of a realistic radio propagation model on vanet scenarios using real maps. *International Symposium on Network Computing and Applications*, 2010.
- [8] O.M.J. Carsten. Can road transport informatics help vulnerable road users? *Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, 1991.
- [9] Carlos de Moraes Cordeiro and Dharma P. Agrawal. Mobile ad hoc networking. *OBR Research Center for Distributed and Mobile Computing*.
- [10] Basel Fardi, Jaroslav Dou'sa, Gerd Wanielik, Bjorn Elias, and Alexander Barke. Obstacle detection and pedestrian recognition using a 3d pmd camera. *Intelligent Vehicles Symposium*, 2006.
- [11] Basel Fardi, Ulrich Neubert, Normen Giesecke, Holger Lietz, and Gerd Wanielik. A fusion concept of video and communication data for vru recognition. *International Conference on Information Fusion*, 2008.

- [12] Institute for Road Safety Research. Vulnerable road users. *SWOV Fact sheet*, 2012.
- [13] Hannes Hartenstein and Kenneth P. Laberteaux. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, page 8, 2008.
- [14] Sarah Hasan and Edwin Yaz. *Intelligent Transportation Systems*. PhD thesis, University of Arkansas, 1999.
- [15] Yasser Kamal Hassan, Mohamed Hashim Abd El-Aziz, and Ahmed Safwat Abd El-Rad. Performance evaluation of mobility speed overmanet routing protocols. *International Journal of Network Security*, 2010.
- [16] C. Hughes, M. Glavin, E. Jones, and P. Denny. Wide-angle camera technology for automotive applications: a review. *IET Intelligent Transport Systems*, 2008.
- [17] Ronald Hughes, Herman Huang, Charles Zegeer, and Michael Cynecki. Evaluation of automated pedestrian detection at signalized intersections. *Research Report, Department of Transportation*, page 27, 2001.
- [18] Jakub Jakubiak and Yevgeni Koucheryavy. State of the art and research challenges for vanets. *IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, page 5, 2008.
- [19] Dongsoo S. Kim and Seok K. Hwang. Swarm group mobility model for ad hoc wireless networks. *Journal of Ubiquitous Convergence Technology*, 1, 2007.
- [20] Rakesh Kumar and Mayank Dave. A comparative study of various routing protocols in vanet. *International Journal of Computer Science Issues*, 2011.
- [21] Yunxin (Jeff) Li. An overview of the dsrc/wave technology. *International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*, 2010.
- [22] A. J. McLean, R. W. G. Anderson, M.J.B. Farmer, B. H. Lee, and C. G. Brooks. Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian collisions. *NHMRC Road Accident Research Unit, The University of Adelaide*, 1994.
- [23] Daniel Meissner, Stephan Reuter, and Klaus Dietmayer. Real-time detection and tracking of pedestrians at intersections using a network of laserscanners. *Intelligent Vehicles Symposium*, 2012.
- [24] R. Methorst. Vulnerable road users: Report on the knowledge base for an effective policy to promote the safe mobility of vulnerable road users. *AVV Transport Research Centre*, 2003.

- [25] Fernando E. Michel, Arnoldo Díaz, and Carlos Calafate. Comparativo entre los protocolos de encaminamiento dsr y aodv. *Segundo Congreso Nacional de Tecnologías Computacionales y Sistemas de Información*, 2007.
- [26] Hassnaa Moustafa, Sidi Mohammed Senouci, and Moez Jerbi. *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*. Auerbach Publications, 2008.
- [27] Uma Nagaraj, Dr. M. U. Kharat, and Poonam Dhamal. Study of various routing protocols in vanet. *International Journal of Computer Science & Technology*, 2011.
- [28] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Royer, Samir R. Das, and Mahesh K. Marina. Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks. *IEEE Personal Communications*, 2001.
- [29] Raúl Aquino Santos, Apolinar González Potes, Luis Armando Villaseñor, and Arthur Edwards. A novel routing algorithm for vehicular ad hoc networks. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2008.
- [30] D. J. Sherborne. Existing techniques for detecting vulnerable road users. *Drive II Project V2005*, 1992.
- [31] Sebastian Sichelschmidt, Anselm Haselhoff, Anton Kummert, Martin Roeder, Björn Elias, and Karsten Berns. Pedestrian crossing detecting as a part of an urban pedestrian safety system. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2010.
- [32] Mihail L. Sichitiu and Maria Kihl. Inter-vehicle communication systems: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 10:18, 2008.
- [33] B. Soujanya, T. Sitamahalakshmi, and Ch. Divakar. Study of routing protocols in mobile ad-hoc networks. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3, 2011.
- [34] William Stallings. *Data and Computer Communications*. Prentice Hall, 8th edition, 2007.
- [35] Sandeep Tayal and Malay Ranjan Tripathy. Vanet-challenges in selection of vehicular mobility model. *International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies*, 2012.
- [36] Andrew S. Tenenbaum. *Redes de Computadoras*. Prentice Hall, 4 edition, 2003.
- [37] Roy Bours Virginia Ruiz Garate and Kajetan Kietlinski. Numerical modeling of ada system for vulnerable road users protection based on radar and vision sensing. *Intelligent Vehicles Symposium*, 2012.

- [38] Christian Voigtmann, Sian Lun Lau, and Klaus David. Evaluation of a collaborative-based filter technique to proactively detect pedestrians at risk. *Vehicular Technology Conference*, 2012.
- [39] Alexandra Willis, Robert Kukla, Julian Hine, and Jon Kerridge. Developing the behavioural rules for an agent-based model of pedestrian movement. *25th European Transport Congress*, 2000.
- [40] Sun Xi and Li Xia-miao. Study of the feasibility of vanet and its routing protocols. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2008.