



Universidad  
Carlos III de Madrid

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

PROYECTO FIN DE CARRERA:

***FUSIÓN DE ESCÁNER LÁSER Y CÁMARA DE  
INFRARROJOS PARA LA DETECCIÓN Y  
SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIA DE  
PEATONES***

Autor: JOSÉ JAVIER ANAYA CATALÁN

Febrero 2011





Universidad  
Carlos III de Madrid

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y  
AUTOMÁTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA:

***FUSIÓN DE ESCÁNER LÁSER Y CÁMARA DE  
INFRARROJOS PARA LA DETECCIÓN Y  
SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIA DE  
PEATONES***

Autor: JOSÉ JAVIER ANAYA CATALÁN

INGENIERÍA INDUSTRIAL. ESPECIALIDAD: AUTOMÁTICA Y  
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Tutor: FERNANDO GARCÍA FERNÁNDEZ

Febrero 2011



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia



## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos.....	5
1.2. Fusión Sensorial.....	6
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>7</b>
2.1. Sistemas ADAS comerciales actuales o de próxima aparición.....	7
2.1.1. Sistema de detección de ángulo muerto.....	8
2.1.2. Asistente para cambios de carril.....	9
2.1.3. Visión Nocturna.....	10
2.1.4. Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (LDWS).....	11
2.1.5. Control de cruce adaptativo (ACC).....	12
2.1.6. Sistemas de control y alerta de detección de somnolencia.....	13
2.1.7. Sistema de detección de señales.....	14
2.1.8. Detección de peatones.....	15
2.1.9. Asistente de Intersecciones.....	16
2.2. Proyecto PReVENT.....	17
2.2.1. Introducción.....	17
2.2.2. Tecnología utilizada.....	19
2.2.3. Objetivos de PReVENT.....	21
2.2.4. Velocidad segura y distancia de seguridad.....	23
2.2.5. Apoyo y vigilancia de los laterales del vehículo.....	26
2.2.6. Seguridad en las intersecciones ( Proyecto Intersafe).....	29



2.2.7. Percepción de los usuarios vulnerables de la vía y reducción de daños en caso de colisión.....	31
2.2.8. Proyectos multifuncionales de PReVENT.....	36
<b>CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO. ....</b>	<b>39</b>
3.1. IvvI 2.0.....	39
3.2. Telémetro láser.....	41
3.3. Adquisición y Procesado. ....	43
3.4. Cámara Infrarroja.....	44
3.5. Visualización y E/S. ....	45
3.6. Alimentación. ....	45
<b>CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO. ....</b>	<b>47</b>
4.1. Microsoft Visual Studio 2008.....	47
4.2. MATLAB.....	47
<b>CAPÍTULO 5: FUSIÓN SENSORIAL PARA LA DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE PEATONES.....</b>	<b>49</b>
5.1. Captura de la secuencia.....	49
5.2. Análisis y obtención de los datos del telémetro láser.....	50
5.2.1. Información proporcionada por Ladar3.....	50
5.2.2. Obstáculo con forma de L.....	52
5.2.3. Borde de carreteras.....	52
5.2.4. Objeto Grande.....	52
5.2.5. Objeto Móvil.....	52
5.2.6. Posible Peatón.....	53
5.2.7. Peatones.....	53
5.2.8. Extracción de los datos recopilados.....	60
5.3. Datos de la cámara infrarroja.....	61

---

5.3.1. Rango de medida de la cámara infrarroja.....	61
5.3.2. Modelo de cámara.....	62
5.3.3. Procesado de las imágenes (Regiones de interés).....	62
5.3.4. Extracción de los datos recopilados.....	65
5.4. Tratamiento de los datos recopilados.....	65
5.5. Fusión de los datos del telémetro láser y de la cámara infrarroja.....	65
5.5.1. Adquisición de los datos.....	67
5.5.2. Filtrado de los datos fuera de rango o defectuosos.....	72
5.5.3. Búsqueda de concordancia entre los datos del láser y la cámara que no han sido previamente emparejados.....	73
5.5.4. Tracking de los peatones ya detectados.....	76
5.5.5. Representación de los peatones detectados.....	85
5.5.6. Almacenamiento de los datos.....	87
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>89</b>
6.1. Introducción.....	89
6.2. Análisis de la secuencia.....	89
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS. ....</b>	<b>99</b>
7.1. Conclusiones.....	99
7.2. Trabajos Futuros. ....	99
<b>CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO. ....</b>	<b>101</b>
8.1. Coste de material.....	101
8.2. Costes de personal. ....	101
8.3. Presupuesto total.....	102
<b>CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>CIII</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Numero de accidentes en España en 2009.....	1
Figura 2: Sistema ADAS.....	7
Figura 3: Sistema de detección de ángulo muerto del Volvo XC90.....	8
Figura 4: Asistente para cambios de carril.....	9
Figura 5: Sistema de visión nocturna de Bosch.....	10
Figura 6: Sistema de alerta de cambio de carril involuntario.....	11
Figura 7: Control de crucero adaptable (ACC) de Volvo.....	12
Figura 8: Sistema antisueño de Siemens.....	14
Figura 9: Sistema de detección de señales en el Opel Insignia.....	14
Figura 10: Sistema de detección de peatones de Volvo.....	15
Figura 11: Asistente de intersecciones.....	16
Figura 12: Fases de una posible colisión.....	17
Figura 13: Base de funcionamiento de un sistema ADA.....	20
Figura 14: Proyecto PReVENT.....	22
Figura 15: Esquema de funcionamiento de SASPENCE.....	24
Figura 16: Funcionamiento del sistema WILLWARN.....	25
Figura 17: Esquema del proyecto SAFELANE.....	27
Figura 18: Sensores instalados en LATERAL SAFE.....	28
Figura 19: Principio de funcionamiento del proyecto Interfase.....	30
Figura 20: Requisitos del sistema UseRCams.....	32
Figura 21: Fases de actuación de COMPOSE.....	33
Figura 22: Sensores instalados en el vehículo.....	34
Figura 23: Sistema para camiones.....	35
Figura 24: Fases de acciones en el momento previo al accidente.....	36
Figura 25: Esquema de ProFusion.....	37
Figura 26: Dispositivos instalados en el Ivvi 2.0.....	40
Figura 27: Telémetro láser SICK LMS 291-S05.....	41
Figura 28: Comportamiento del láser para un escaneo simple de resolución 0,25°.....	42
Figura 29: Configuración final del telémetro láser en el paragolpes delantero.....	43



Figura 30: Cámara Indigo Flir Omega con óptica de 18mm.....	44
Figura 31: Tamaño de la cámara infrarroja.....	44
Figura 32: Configuración final de la cámara infrarroja en el retrovisor izquierdo.....	45
Figura 33: Pantalla táctil Xenarc 7" 700 TSV.....	45
Figura 34: Esquema de posicionamiento del telémetro láser y de la cámara infrarroja..	50
Figura 35: Diferentes patrones dados por el láser. (A) Coche en movimiento. (B) Coche aparcado.(C) Ciclista. (D) Edificio. (E) Arbustos. (F) Póster de luz. (G) Peatón.....	51
Figura 36: Algoritmo de detección del patrón del peatón.....	53
Figura 37: Representación de la toma de coordenadas.....	55
Figura 38: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.....	56
Figura 39: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.....	57
Figura 40: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.....	58
Figura 41: Secuencia de imágenes de un peatón alejándose del láser.....	59
Figura 42: Secuencia de imágenes de un peatón caminando perpendicularmente al telémetro láser.....	60
Figura 43: Estimación de la distancia de detección mínima de la cámara infrarroja.....	62
Figura 44: (a) imagen recibida de la cámara. (b) imagen con la binarización se muestra la cabeza. (c) retorno del cuadro de selección.....	63
Figura 45: Modelos de peatón.....	64
Figura 46: Esquema de la fusión entre telémetro láser y cámara infrarroja.....	66
Figura 47: Descripción de cada fila del archivo laser.matlab.puntos.txt.....	68
Figura 48: Descripción de cada fila del archivo ir.matlab.puntos.txt.....	69
Figura 49: Esquema de la matriz de almacenado de los datos de los peatones encontrados.....	72
Figura 50: Esquema.....	74
Figura 51: Posibles posiciones de los puntos en el eje x.....	75
Figura 52: Algoritmo de clasificación del peatón y diferenciación.....	77
Figura 53: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay detección del láser y del infrarrojo.....	78
Figura 54: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del láser.....	79

Figura 55: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del infrarrojo (1).....	80
Figura 56: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del infrarrojo (2).....	81
Figura 57: A) Zonas de seguimiento, B) Seguimiento de un peatón.....	86
Figura 58: Frecuencia de las detecciones.....	89
Figura 59: Peatón acercándose a la cámara.....	91
Figura 60: Peatón acercándose a la cámara.....	92
Figura 61: Peatones alejándose a la cámara.....	92
Figura 62: Peatón alejándose de la cámara.....	93
Figura 63: Peatones alejándose de la cámara.....	93
Figura 64: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.	94
Figura 65: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de izquierda a derecha.	94
Figura 66: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.	95
Figura 67: Bicicleta moviéndose perpendicularmente a la cámara de izquierda a derecha.....	95
Figura 68: Bicicleta moviéndose perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.....	96
Figura 69: Grupo de tres peatones.....	97
Figura 70: Peatones lejos.....	97



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Accidentes con víctimas en función del tipo de accidente.....	3
Tabla 2: Análisis de trayectorias simples.....	90
Tabla 3: Medias de detecciones de trayectorias simples.....	91
Tabla 4: Resultado del análisis de la secuencia.....	96
Tabla 5: Coste de material.....	101
Tabla 6: Costes de personal.....	101
Tabla 7: Presupuesto total.....	102



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

Este Proyecto parte de una preocupación real de la sociedad, y de su demanda de una mayor seguridad en los automóviles que propicie una reducción en el número de víctimas por accidentes. Durante el año 2009 el número de accidentes con víctimas ascendió hasta un total de 88.251 con un total de 127.680. Del número total de víctimas hay que señalar 2.714 muertes, entre las cuales 470 eran peatones [1] (ver Figura 1).

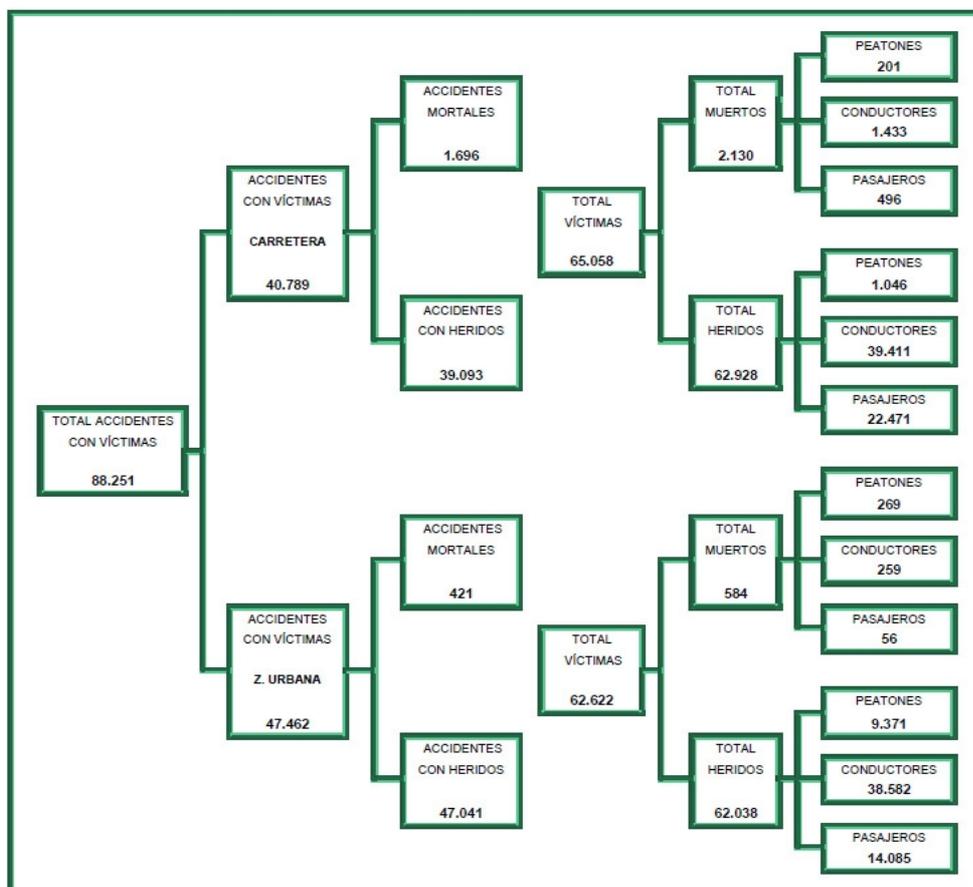


Figura 1: Numero de accidentes en España en 2009.

Estos datos nos dan una visión de por qué actualmente siguen surgiendo una amplia gama de sistemas de ayuda a la conducción, independientes o cooperativos basados en las tecnologías de información y comunicación (TIC), denominados ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción).



Algunos de estos sistemas están ya en el mercado, como veremos en el capítulo del estado del arte (Capítulo 2) y otros están aún en desarrollo o están siendo introducidos en el mercado, todos ellos destinados a obtener una menor siniestralidad y mayor seguridad vial.

Al principio las investigaciones se centraban en la seguridad pasiva, la cual se encarga de minimizar los posibles daños de los ocupantes del vehículo en el caso de que llegue a producirse un accidente. Estas investigaciones produjeron el diseño y desarrollo de estructuras de deformación del vehículo para la mejor absorción de la energía en caso de impacto, la incorporación de los cinturones de seguridad a los automóviles en 1950, el mejor sistema de seguridad pasiva jamás inventado (el primer vehículo que los traía de serie fue el Volvo Amazon de 1959), o el airbag en 1971, dispositivos que necesitaban un menor uso de la electrónica, todavía poco desarrollada entre las décadas de los 50 y 70.

A partir de la década de los 70 y gracias a la introducción de la informática y electrónica, tanto analógica como digital, surgen una serie de sistemas más orientados a la seguridad activa, mecanismos o dispositivos destinados a disminuir el riesgo de que se produzca un accidente. Un ejemplo son los siguientes sistemas: El A.B.S (Bosch 1970) cuya función es evitar que se bloqueen las ruedas al producirse un frenazo intenso, modulando automáticamente la presión sobre los frenos cuando el conductor pisa el pedal a fondo. El ESP (Bosch 1995) son las iniciales en alemán del “Control Electrónico de Estabilidad” que detecta la desviación de la trayectoria del vehículo con respecto a la dirección que se desea llevar, el sistema frena ligeramente cada rueda por separado y así devuelve el vehículo a la trayectoria deseada.

Según un estudio de la revista 'Autopista' (Auto Bild) con la colaboración del grupo automovilístico Ford, si todos los vehículos incorporaran ESP y ABS de serie se podría contribuir a reducir un 30% los accidentes relacionados con frenadas de emergencia y evasión de objetos en la trayectoria del vehículo.

Son tantos los beneficios de este sistema en la reducción de siniestros, que los vehículos de turismo e industriales ligeros, incorporarán como elemento de serie el ESP a partir de noviembre de 2011 para los estados de la Unión Europea. Este dato nos puede dar una idea de la importancia de los sistemas tecnológicos incorporados en los automóviles.

Posteriormente a estos dos dispositivos, surgen multitud de sistemas ADAS que si bien no son tan efectivos en la reducción de víctimas como los presentados anteriormente, sirven de una gran ayuda al conductor para evitar accidentes.

Estos sistemas intentan de manera individual disminuir los tipos de accidentes mortales y no mortales más frecuentes, avisando al conductor o tomando medidas preventivas siendo, según las estadísticas de la DGT (ver Tabla 1 [1]) para el año 2009, la salida de la vía fue el más frecuente, seguido de las colisiones frontal y fronto-lateral y atropellos a peatones, por este orden .

Tabla 1: Accidentes con víctimas en función del tipo de accidente.

<b>TOTAL GENERAL</b>					
<b>TIPO DE ACCIDENTE</b>	<b>Accidentes con víctimas</b>		<b>Víctimas</b>		
	<b>Total</b>	<b>Mortales</b>	<b>Muertos</b>	<b>Heridos graves</b>	<b>Heridos leves</b>
<i>COLISIÓN DE VEHÍCULOS EN MARCHA</i>					
Frontal	3402	289	370	1386	5110
Fronto-lateral	18465	291	390	2714	24507
Lateral	7167	56	81	784	8758
Por alcance	14778	101	135	1097	21166
Múltiple o en caravana	5040	62	88	498	9712
<b>SUBTOTAL</b>	<b>48852</b>	<b>799</b>	<b>1064</b>	<b>6479</b>	<b>69253</b>
<i>COLISIÓN VEHÍCULO-OBSTÁCULO EN CALZADA</i>					
Vehículo estacionado o averiado	602	23	34	120	700
Valla de defensa	299	15	16	88	296
Barrera de paso a nivel	14	1	1	2	16
Otro objeto o material	1920	14	19	174	2318
<b>SUBTOTAL</b>	<b>2835</b>	<b>53</b>	<b>70</b>	<b>384</b>	<b>3330</b>
<i>ATROPELLO DE PERSONAS</i>					
Peatón sosteniendo bicicleta	91	1	1	9	85
Peatón reparando vehículo	33	3	3	7	26
Peatón aislado o grupo	9693	355	454	1922	8726
Conductor de animales	6	1	1	0	8



<b>SUBTOTAL</b>	9823	360	459	1938	8845
<i>ATROPELLO DE ANIMALES</i>					
Conducido o en rebaño	20	0	0	2	26
Animales sueltos	405	7	9	68	443
<b>SUBTOTAL</b>	425	7	9	70	469
<i>VUELCO EN LA CALZADA</i>	3046	54	70	557	2898
<i>SALIDA DE CALZADA (IZDA.)</i>					
Choque con árbol o poste	569	41	51	178	599
Choque con muro o edificio	987	37	46	206	1099
Choque con cuneta o bordillo	961	36	43	232	1045
Otro tipo de choque	1388	62	81	309	1593
Con despeñamiento	255	35	43	88	256
Con vuelco	1517	74	87	384	1846
En llano	304	18	20	63	308
Otra salida	190	2	3	17	213
<b>SUBTOTAL</b>	6171	305	374	1477	6959
<i>SALIDA DE CALZADA (DCHA.)</i>					
Choque con árbol o poste	994	70	84	286	1059
Choque con muro o edificio	983	48	57	213	1141
Choque con cuneta o bordillo	1386	54	69	341	1512
Otro tipo de choque	2014	76	89	401	2276
Con despeñamiento	385	52	64	155	381
Con vuelco	2342	99	123	631	2728
En llano	661	33	41	154	640
Otra salida	3516	1	2	41	4369
<b>SUBTOTAL</b>	12281	433	529	2222	14106
<i>OTRO TIPO DE ACCIDENTE</i>	4818	106	139	796	5183
<b>TOTAL</b>	88251	2117	2714	13923	111043

Esto significa que un sistema como el diseñado para el reconocimiento y seguimiento de peatones se podría utilizar para evitar el cuarto tipo de accidente más habitual, incluso podrían verse reducidos otro tipo de accidentes debido a que algunos se producen por la acción de evitar el atropello de peatones, y de esta forma, mejorar la

reacción de los conductores frente a posibles distracciones.

### **1.1. Objetivos.**

El presente proyecto tiene como fin el diseño de un sistema de detección y seguimiento de la trayectoria de peatones en las vías públicas, a partir de los datos proporcionados por un escáner láser y una cámara infrarroja, para su posterior procesamiento y ejecución de acciones tales como seguimiento y predicción de la trayectoria de los peatones. Esto servirá como base para diversas aplicaciones de seguridad, conducción autónoma, etc., que necesiten conocer la posición y futura situación de los peatones que le rodean.

Los sistemas de fusión sensorial son una de las principales fuentes de investigación en la actualidad, en el campo de los sistemas inteligentes de transporte. La razón de su importancia está en la falta de sensores fiables que cumplan las elevadas exigencias de este tipo de sistemas. De esta forma, combinando varios sistemas, es posible mejorar el comportamiento de los sistemas.

Típicamente los sensores empleados son los telémetros láser (LIDARS) y sistemas de visión artificial en cualquiera de sus diferentes configuraciones. Las razones de elegir estos sistemas de sensores es que se complementan:

- El telémetro láser es capaz de medir las distancias a los objetos cercanos con una alta fiabilidad en las medidas, aunque la información que provee, es limitada.
- Los sistemas de visión artificial, son una fuente de información, aunque la elevada cantidad de datos que provee es el motivo de que su procesamiento sea más tedioso y complejo, y por lo tanto, su fiabilidad sea menor.



De esta forma, combinando ambos sistemas, es posible obtener un sistema sensorial que sea altamente fiable.

## **1.2. Fusión Sensorial.**

Los sistemas de ayuda a la conducción que emplean fusión sensorial se pueden dividir principalmente en tres tipos. Dependiendo del nivel de abstracción en el que se realiza la fusión sensorial.

- Nivel bajo. Consisten en la mezcla de varias fuentes de información sin procesar, para formar un nuevo conjunto de datos que provean una información más completa [2].
- Nivel medio. Consiste en extraer ciertas características de cada uno de los objetos encontrados mediante cada fuente de información por separado, como texturas, esquinas, líneas... Estas características son combinadas en fases superiores para dar una estimación de los tipos de objetos encontrados [3].
- Nivel alto. Consiste en que se realiza una detección diferente para cada uno de los sistemas de adquisición que se están empleando, para finalmente combinar los resultados tomando una decisión del objeto más probable [4].

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.

### 2.1. Sistemas ADAS comerciales actuales o de próxima aparición.

Las primeras generaciones de sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) comenzaron a ser introducidas en el mercado desde hace relativamente muy pocos años, especialmente en vehículos de alta gama. Así, en el año 1998, Mercedes introdujo por primera vez en Europa el sistema ACC (Adaptive Cruise Control).

En la Figura 2 [5] se muestran algunos ejemplos de sistemas ADAS como son el ACC (Adaptive Cruise Control), el AFS (Adaptive Frontlighting System), LDW (Lane Departure Warning), LCA (Lane Change Assistant), TSR (Traffic Sign Recognition), Frenado de emergencia, Precrash y Sistema anticolidión entre otros.



Figura 2: Sistema ADAS.

A continuación, describimos algunos de los sistemas ADAS:



### 2.1.1. Sistema de detección de ángulo muerto.

El sistema de detección de objetos en ángulo muerto tiene como objetivo alertar al conductor si hay otro vehículo en el ángulo muerto o cerca de este.

Para ello, consta de sensores que vigilan constantemente la zona lateral próxima al coche. Generalmente son sensores radar de corto o medio a 24 GHz, o bien sistemas de procesado de imágenes. Estos sensores proporcionan información a una centralita de control que, en caso necesario, emite un aviso acústico, visual o táctil (o una combinación de varios).

Existen sistemas que pueden alertar de forma continua de la existencia de vehículos en el ángulo muerto independientemente de las intenciones del conductor, mientras que otros únicamente actúan cuando se expresa la voluntad de efectuar un cambio de carril mediante el uso del intermitente.

Generalmente, actúan por encima de un umbral de velocidad determinado y son capaces de realizar un filtrado de vehículos estacionados o de aquellos que circulan en sentido contrario, con el objetivo de minimizar las falsas alarmas. La zona de detección es de unos 10 metros por detrás del espejo retrovisor y por unos 4 de anchura, suficiente para cubrir el ángulo muerto.



Figura 3: Sistema de detección de ángulo muerto del Volvo XC90.

El primer vehículo en integrar el sistema de detección de objetos en ángulo muerto ha sido el Volvo XC90 (Otoño 2005), utilizando para ello un par de cámaras CMOS integradas en los espejos retrovisores exteriores como se muestra en la Figura 3 ([6]).

### **2.1.2. Asistente para cambios de carril.**

Es un sistema que amplía las posibilidades de funcionamiento del sistema de detección de objetos en ángulo muerto.



*Figura 4: Asistente para cambios de carril.*

La distancia de detección aumenta hasta 50 ó 60 metros por detrás del vehículo y en los carriles adyacentes al mismo. Tiene en cuenta, además, la velocidad relativa del vehículo detectado en dicha zona con respecto al propio. De esta forma, se está en disposición de alertar al conductor en caso de existir un cierto riesgo al efectuar la maniobra de cambio de carril debido a la aproximación de otro vehículo a gran velocidad.

El Audi Q7 ha sido el pionero en la utilización de un sistema de asistencia al cambio de carril, mediante el uso de radares de medio alcance ubicados en las esquinas de los paragolpes, como podemos observar en la Figura 4.

### 2.1.3. Visión Nocturna.

Con las luces de cruce normales, de noche la visibilidad para el conductor se reduce a unos 40 metros y la percepción de la profundidad y el color disminuye, lo que lleva a detectar los obstáculos y peligros demasiado tarde. Las luces largas deslumbran a los conductores que vienen de frente, y por ello su utilización esta restringida.

Un sistema de visión nocturna ofrece mejor visibilidad por la noche, gracias a unos sensores de infrarrojos próximos o lejanos cuyo alcance es equivalente al de las luces largas. El sistema no deslumbra al tráfico de frente, ya que los infrarrojos son invisibles para el ojo humano. La escena iluminada se muestra al conductor en una pantalla especial que ofrece una mejor visión de la carretera, incluidos otros vehículos y obstáculos distantes, como se puede observar en la Figura 5 ([7]).



*Figura 5: Sistema de visión nocturna de Bosch.*

Por consiguiente, el conductor puede detectar situaciones peligrosas con mayor antelación y reaccionar con mayor rapidez.

### 2.1.4. Sistema de aviso de cambio involuntario de carril (LDWS).

Vigila la posición del vehículo dentro del carril y avisa al conductor si se sale o está a punto de salirse. Los LDWS comercializados actualmente son sistemas avanzados, basados en la visión, que usan algoritmos para interpretar imágenes de vídeo y calcular la posición del vehículo (posición lateral, velocidad lateral, rumbo, etc.) y la alineación de la calzada (anchura del carril, curvatura de la carretera, etc.).

Otra variante del sistema utiliza sensores infrarrojos, ubicados en zonas que permitan ver las líneas de la carretera (por ejemplo debajo del parachoques anterior o en la parte inferior de los espejos retrovisores exteriores), emiten un pulso de radiación infrarroja de forma que el haz reflejado en el asfalto es detectada por la célula de recepción. La diferente reflectividad producida por las líneas de la carretera permite que sean fácilmente detectadas, como se aprecia en la Figura 6.

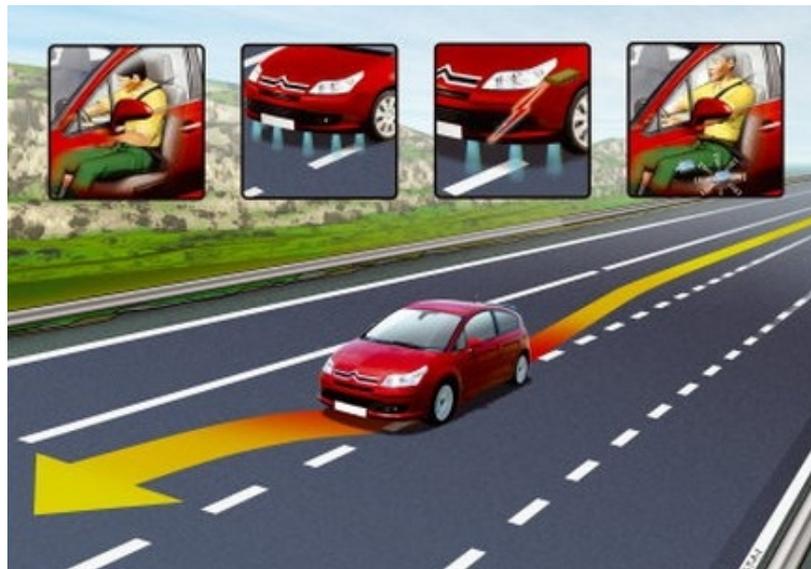


Figura 6: Sistema de alerta de cambio de carril involuntario.

El LDWS avisa al conductor del cambio de carril cuando el vehículo supera una determinada velocidad y no está activado el intermitente. Además, este sistema informa al conductor en caso de no poder detectar los carriles o mal funcionamiento del sistema.

### 2.1.5. Control de crucero adaptativo (ACC).

La tecnología de control de crucero adaptativo (ACC) mejora la función de control de crucero normal ajustando automáticamente la distancia y la velocidad en función de la marcha del vehículo que le precede. Esto se consigue con un detector de radar de gran alcance, un procesador de señales y un control longitudinal del vehículo. Si el vehículo que va delante reduce la velocidad o se detecta otro objeto, el ACC ajusta la velocidad del vehículo sin intervención del conductor. Cuando se haya despejado la carretera, el sistema volverá a acelerar el vehículo hasta la velocidad programada (Ver Figura 7 [6]). Al igual que ocurre con el control de crucero normal, el conductor puede desactivar el sistema cuando lo desee. Los actuales sistemas ACC son ante todo dispositivos de confort previstos para una gama de velocidades limitada.

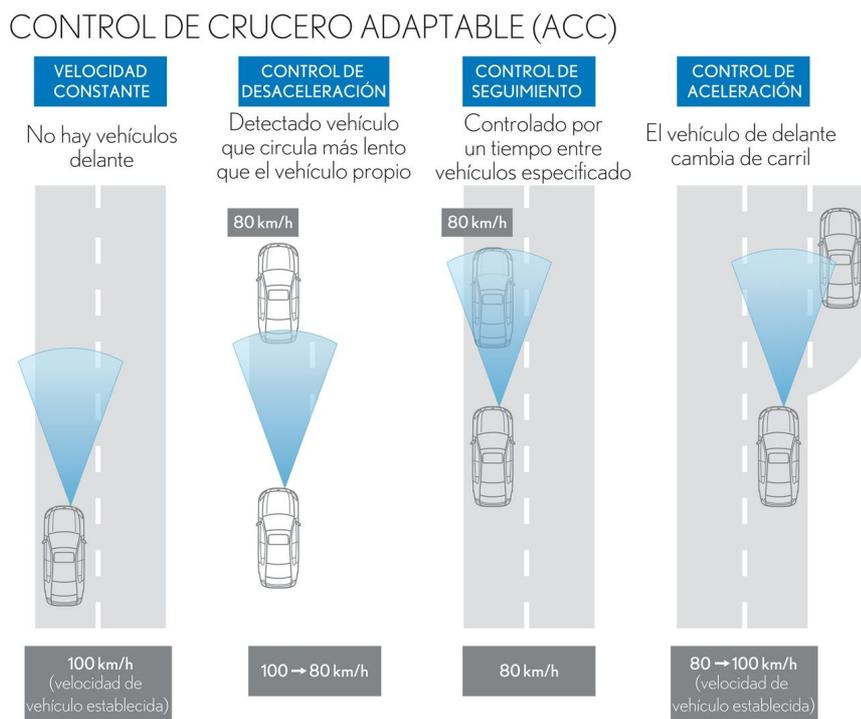


Figura 7: Control de crucero adaptable (ACC) de Volvo.

Un ACC que funcione a cualquier velocidad resulta más seguro e incluso de manejo más cómodo. Si es preciso, el sistema desacelerará el vehículo hasta detenerlo

completamente, empleando para ello toda su potencia de frenado, en lugar de desactivarse a una determinada velocidad, como ocurre en los sistemas actuales. El sistema también detecta si el coche de delante empieza a moverse de nuevo y avisa al conductor, generalmente por medio de una señal acústica. Entonces el vehículo acelera automáticamente hasta la velocidad programada, mantiene la distancia adecuada con el vehículo de delante y se adapta al ritmo del tráfico.

Este sistema mejorado, se ofrece en la marca Volvo con un radar que alcanza los 150 metros y una cámara con un rango de visión de 55 metros. Trabaja combinando los datos de ambos para una mejor eficiencia. La cámara sirve para que el detector no dé falsas lecturas ante coches estacionados o circunstancias momentáneas de la circulación, detectando asimismo las luces de freno del vehículo que nos antecede. Estos sistemas también tiene sus limitaciones, sobre todo visuales, como humo, niebla, nieve... que pueden hacerlo inutilizable por momentos.

#### ***2.1.6. Sistemas de control y alerta de detección de somnolencia.***

Pueden detectar la somnolencia del conductor de varias formas: atendiendo a la expresión facial y los movimientos de manos y pies o analizando el parpadeo y la posición de la cabeza, o incluso las alteraciones del ritmo cardíaco. Esta información – o la combinación de varios factores – se analiza constantemente y el conductor recibe una alerta en caso de somnolencia o distracción. Siemens ha desarrollado el Driver Attention System (VDO), este sistema de alarma incorpora una cámara de infrarrojos instalada en el salpicadero y apenas perceptible para el conductor. Con su luz infrarroja invisible, la cámara examina la cara del conductor incluso durante la noche. Un software evalúa la grabación en tiempo real y, en función de los parámetros de dirección de la mirada y parpadeo (número y duración), determina si el conductor está alerta y atento como se puede apreciar en la Figura 8 ([8]).



Figura 8: Sistema antisueño de Siemens.

### 2.1.7. Sistema de detección de señales.

Sistema incorporado al modelo Opel Insignia bajo el nombre, Traffic Sign Recognition, es el sistema que controla las señales de circulación a partir de una cámara situada entre el parabrisas y el espejo retrovisor interno. Simplemente analiza las imágenes y reconoce las señales hasta una longitud de 100 metros y las muestra en un display al conductor, como se puede observar en la Figura 9. Detecta diferentes tipos de señales pero dota de mayor prioridad a señales tan importantes como, por ejemplo, el fin de la zona de adelantamiento.



Figura 9: Sistema de detección de señales en el Opel Insignia.

### 2.1.8. Detección de peatones.

El sistema de detección de peatones con auto freno es una revolucionaria solución tecnológica aplicada por Volvo, este sistema puede detectar peatones que pasan por delante de el coche, advertir al conductor y activar automáticamente los frenos, si el conductor no reacciona a tiempo.

En caso de emergencia, el conductor es alertado por primera vez por una señal de advertencia combinada con una luz que parpadea en el limpiaparabrisas. Los frenos del coche son al mismo tiempo precargados. Si el conductor no reacciona a la advertencia y la colisión es inminente, el freno automático completo es activado. El sistema utiliza la información de un radar y una cámara avanzada que detecta las formas humanas y pautas de movimiento, ver Figura 10 ([6]).

Con el sistema de detección de peatones con frenado automático se puede evitar colisiones con peatones a velocidades de hasta 35 kilómetros por hora, si el conductor no reacciona a tiempo. A velocidades más altas, se trata de reducir la velocidad del coche lo más posible antes de la colisión, al bajar la velocidad en caso de colisión se reduce el riesgo de lesiones graves. Si la velocidad se reduce de 50 kilómetros por hora a 20 kilómetros por hora, la probabilidad de que los peatones sobrevivan aumenta en un 85 por ciento.

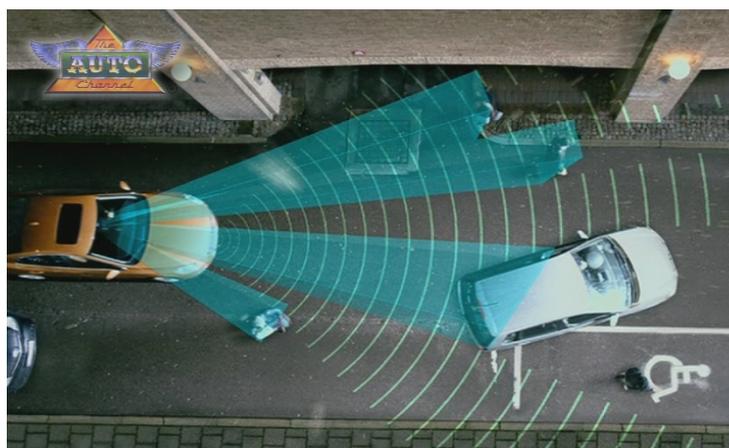


Figura 10: Sistema de detección de peatones de Volvo.

### 2.1.9. Asistente de Intersecciones.

Los accidentes en cruces se producen cuando los conductores realizan maniobras inadecuadas, no prevén las acciones de los demás conductores o no respetan las señales de tráfico. El asistente de cruces puede reducir el riesgo mediante dispositivos como los siguientes:

- Aviso de preferencia: El asistente en intersecciones se comunica con otros vehículos que están aproximándose a la intersección. El sistema evalúa los datos que llegan sobre la velocidad, la distancia a la intersección y las direcciones de las trayectorias junto con los datos pertenecientes al vehículo en cuestión. Si se detecta un riesgo de colisión, el conductor es alertado con señales visuales o sonoras y una suave deceleración del vehículo (ver Figura 11). La gran ventaja es que incluso cuando un accidente resulta ser inevitable, el hecho de reducir la velocidad en una fase temprana mitigará sus consecuencias. Si el conductor no puede evitar la situación por sus propios medios, el asistente en intersecciones puede preparar el sistema de frenos y ayudar a la acción de frenado del conductor. Un ejemplo de este sistema se detalla en el punto 2.2.6. .



Figura 11: Asistente de intersecciones.

- Asistente para semáforos: el semáforo transmite la información al vehículo por vía inalámbrica. La aplicación de seguridad instalada en el vehículo indica la luz del semáforo y sugiere al conductor la velocidad que debe mantener para poder cruzar en verde.

## 2.2. Proyecto PReVENT.

### 2.2.1. Introducción.

Aunque el tráfico de las carreteras europeas ha ido en constante aumento, el número de accidentes mortales se ha reducido en un 50% durante las últimas décadas. Este efecto positivo se puede atribuir sobre todo a los dispositivos de seguridad pasiva del automóvil, tales como: *airbag's*, mejora de los sistemas de frenado, la mejora de las estructuras de la carrocería del vehículo [9].

El análisis de los accidentes y las estadísticas indican una cifra de 40.000 muertos al año y un coste social de 2 millones de euros por año antes de la unión de los 15 estados miembros de la Unión Europea. Como las aplicaciones preventivas de seguridad pueden evitar accidentes y mitigar las consecuencias, la primera introducción de estas

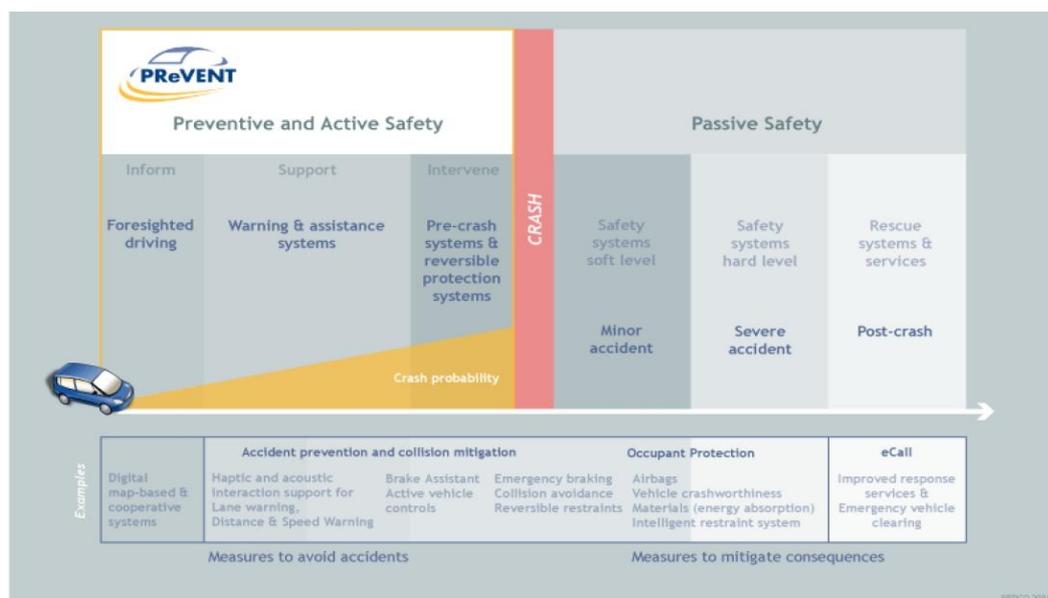


Figura 12: Fases de una posible colisión.



tecnologías es una prioridad. Una reducción significativa de las lesiones y muertes en las carreteras europeas sólo puede lograrse mediante un amplio despliegue de tecnologías asequibles de seguridad activa y pasiva en los vehículos.

Europa es líder mundial en el desarrollo de los sistemas inteligentes integrados de seguridad vial y las tecnologías pertinentes. PReVENT es un proyecto de la industria automovilística europea cofinanciado por la Comisión Europea para contribuir a la seguridad vial mediante el desarrollo de tecnologías y aplicaciones preventivas de seguridad, para ayudar a los conductores a evitar o mitigar un accidente mediante el uso de sistemas a bordo del vehículo, que tienen en cuenta la naturaleza e importancia del peligro y el estado del conductor. Este proyecto permitirá a la industria europea promover y mantener esta posición mediante la introducción de tecnologías de vanguardia necesarias para su realización, mientras que ayudara a reducir los accidentes de tráfico.

Dependiendo de la importancia y el momento de la amenaza, los sistemas de seguridad activa y preventiva deben:

- Informar al conductor lo antes posible de un posible peligro.
- Advertir al conductor si no hay reacción a la información suministrada.
- Y en última instancia, activar la ayuda o intervenir para evitar un accidente o mitigar sus consecuencias.

Las aplicaciones preventivas de seguridad también ayudan a los conductores a:

- Mantener una velocidad y distancia segura.
- Conducir dentro del carril.
- Evitar adelantamientos críticos.
- Ayuda a pasar con seguridad las intersecciones.

- Evitar colisiones con los usuarios vulnerables de la calzada.
- Y en último caso, pero no menos importante, reducir la gravedad de un accidente si se produce.

La seguridad preventiva hace uso de la información, las comunicaciones y las tecnologías de posicionamiento para ofrecer soluciones para mejorar la seguridad vial. Con esta tecnología - la cual puede funcionar de forma autónoma a bordo del vehículo o en cooperación basada en el vehículo a vehículo o comunicación de vehículo a infraestructura - el número de accidentes y su gravedad puede reducirse.

Al tomar una mirada más atenta a la seguridad preventiva a la hora de la colisión, se pueden identificar varias fases (ver Figura 12 [9]):

- Conducción.
- Información y alerta.
- Asistencia para evitar la colisión.
- Activación de los sistemas de seguridad.

### **2.2.2. Tecnología utilizada.**

Los sistemas preventivos de seguridad se basan en la inteligencia predictiva y se adaptan a los conductores para alcanzar los beneficios más altos de seguridad. La gama de tecnologías que se utilizan e integran en las aplicaciones de seguridad son:

- Tecnologías de detección para la percepción del ambiente (sensores infrarrojos, el video y la percepción de imagen de la cámara, LIDAR sensores de radar, sensores giroscópicos de detección de movimiento del vehículo y de la aceleración, sensores inerciales, como tacómetros y velocímetros). Procesamiento de los datos del sensor a través de los resultados de algoritmos matemáticos en un conocimiento virtual del entorno del vehículo - por ejemplo, la trayectoria y posición de los

usuarios vulnerables de la vía de otros vehículos en la infraestructura viaria.

- En el vehículo, los mapas digitales y tecnologías de posicionamiento (GPS, GNSS y Galileo) pueden ser percibidos como otros sistemas de detección para identificar con precisión la posición del vehículo e interpretar el entorno para ayudar a la predicción de la trayectoria de un vehículo, especialmente un vehículo que va delante.
- Tecnologías de comunicación inalámbrica: puede enviar información desde el vehículo a otros vehículos o a la infraestructura, así como permitir que la información de alto valor de seguridad, se difunda por el sistema para complementar aún más la información sobre las carreteras en tiempo real.

Además, la interfaz hombre-máquina (HMI) asegura que las aplicaciones de seguridad preventiva y activa operen de acuerdo con las expectativas y restricciones ergonómicas del conductor y su fisiología.

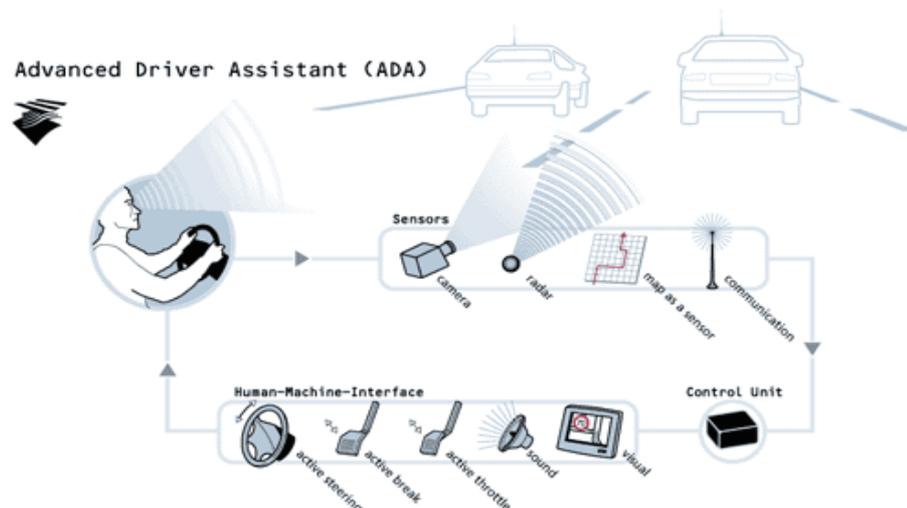


Figura 13: Base de funcionamiento de un sistema ADA.

El objetivo de las aplicaciones preventivas de seguridad es el de ayudar al conductor, cambiando así su comportamiento de conducción en determinadas situaciones. Predecir el comportamiento tanto del tráfico y de los usuarios de la carretera es de suma importancia, al no poner en peligro a las personas, contribuyen a la seguridad vial en general, así como para contribuir a un flujo de tráfico eficaz.

Los sistemas de seguridad preventiva y activa se nombran a menudo como Advanced Driver Assistance o sistemas de aplicaciones de la ADA.

La Figura 13 ilustra cómo la información de los entornos de la carretera, el vehículo y el conductor se recoge con diferentes tecnologías (cámaras, radares, mapas digitales, las comunicaciones del vehículo) y se procesa para ser interpretado y modelado. La aplicación de seguridad del vehículo lleva a cabo la evaluación del riesgo y toma de decisiones respecto a las advertencias de origen y las funciones de asistencia al conductor a través de la interfaz hombre-máquina. El conductor, como supervisor del sistemas de seguridad, puede ser adecuadamente advertido de los peligros para evitar o mitigar el accidente.

### **2.2.3. Objetivos de PReVENT.**

Los objetivo del proyecto *PReVENT* [9] son los de contribuir a:

- La seguridad vial de los accidentes un 50% menos en 2010 - como se especifica en el Libro Blanco para el transporte de la Unión Europea.
- Aumentar la competitividad de la industria automovilística europea.
- Crear una comunidad europea del conocimiento científico sobre la seguridad del transporte por carretera.
- La congregación y la cooperación de organizaciones europeas y nacionales y sus iniciativas de seguridad del transporte por carretera.

*PREVENT* prevé la pronta disponibilidad de generación avanzada, al lado de las aplicaciones de seguridad preventiva y activa y las tecnologías de apoyo, como un despliegue acelerado de las carreteras europeas. Con los objetivos anteriores, deberán promover:

- El desarrollo, demostración y evaluación de las aplicaciones preventivas de seguridad, utilizando sensores avanzados de comunicación y las tecnologías de posicionamiento integrado en los sistemas de a bordo para la asistencia al conductor.
- Facilitar la cooperación de todos los interesados para que con la mayor brevedad posible se produzca la implementación de sistemas de seguridad preventivos y activos en Europa.
- Ayudar al desarrollo tecnológico y la integración, así como disminuir los costes de los componentes.
- Contribuir a la rápida introducción y a la penetración del producto en el mercado, ayudando a superar las barreras más importantes, incluyendo la evaluación de riesgos y las cuestiones de responsabilidad.

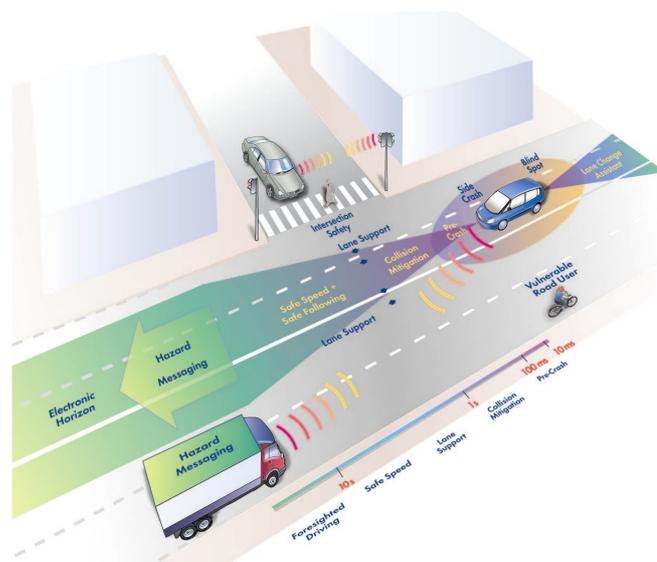


Figura 14: Proyecto *PREVENT*.

- Crear una mayor conciencia del enfoque de seguridad activa (planes de trabajo, sistemas, infraestructuras comunes, incluyendo arquitectura, eficiencia de costes y beneficios para los usuarios potenciales) que conduce a la demanda de los usuarios de una mayor seguridad para la prevención.

*PREVENT* permitirá a la industria europea de fortalecer aún más está posición mediante la introducción de tecnologías de vanguardia, mientras que ayuda a reducir los accidentes de tráfico.

*PREVENT* está dividido en 5 grandes grupos los cuales se centran en un campo de la seguridad vial, que pasamos a describir a continuación.

#### **2.2.4. Velocidad segura y distancia de seguridad.**

Dentro de este grupo hay dos proyectos principales, cada uno centrado en diferentes partes.

##### **2.2.4.1. SASPENCE.**

Las principales funciones de este proyecto [9] es evitar los accidentes por una velocidad y/o distancia inadecuadas para la vía para ello se propone:

- Proporcionar los elementos esenciales para la detección del entorno y comunicación con el entorno, así como informar al conductor, (incluyendo el radar con la parte de comunicaciones) para dotar a algunos escenarios críticos en los que pueden ser difíciles de utilizar sensores de detección.
- Proporcionar información a los usuarios. La comunicación con el conductor se centra principalmente mediante el pedal del acelerador que es interactivo y la información es reflejada en el cuadro de mando informando de los temas cruciales para evitar peligros.

- Evaluar el impacto en la seguridad vial de un sistema integrado para la conducción a una velocidad y distancia segura, teniendo en cuenta criterios nuevos, como: detección precisa del escenario externo (con sensor de integración de datos para analizar la situación) y los algoritmos de cálculo específicos de evaluación de hipótesis, las limitaciones técnicas, y la relación coste-rendimiento optimizado para diferentes niveles de complejidad del sistema.

Para conseguir estos objetivos se ha recurrido a la integración de cuatro diferentes elementos (radar, comunicación entre vehículos, GPS y una cámara) en el vehículo y la posterior fusión de los datos proporcionados por cada elemento permite decidir si hay que avisar al conductor de algún potencial peligro mediante señales visuales, sonoras y táctiles (vibración del pedal del acelerador), un esquema de este proceso se puede observar en la Figura 15.

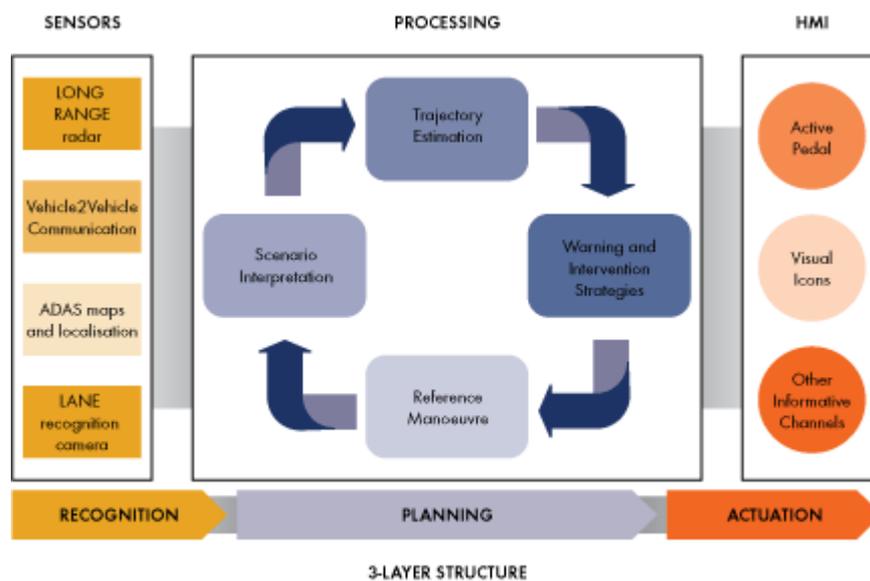


Figura 15: Esquema de funcionamiento de SASPENCE.

### 2.2.4.2. WILLWARN.

El objetivo principal de este proyecto [9] es evitar accidentes mediante la información previa gracias al conocimiento transmitido por otro vehículo de un peligro en la calzada, para conseguirlo las principales funciones de este proyecto son:

- Localizar y verificar la pertinencia de los riesgos a través del tráfico y el tiempo basado en sensores de a bordo y un sistema de posicionamiento como el GPS.
- Probar de un nuevo mensaje de advertencia del sistema de gestión para la transmisión, almacenamiento y distribución de las advertencias de peligro para garantizar que la información dada al conductor sea oportuna y correcta.
- Probar de un sistema local, vehículo a vehículo de comunicación autogestionada para el establecimiento de una red de comunicación descentralizada con los coches que se acercan y siguientes.

En la siguiente figura se puede observar el principio básico de este sistema.

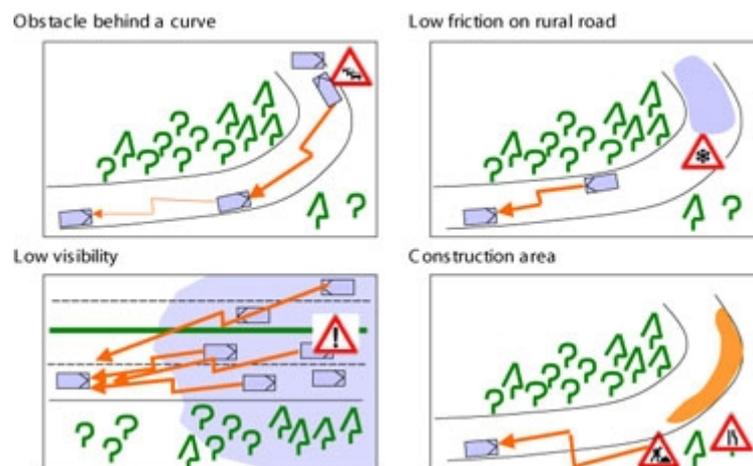


Figura 16: Funcionamiento del sistema WILLWARN.



### **2.2.5. Apoyo y vigilancia de los laterales del vehículo.**

Dentro de este grupo hay dos proyectos principales, cada uno centrado en diferentes objetivos.

#### **2.2.5.1. SAFELANE.**

Este proyecto [9] es para conseguir una nueva generación de adaptación carril de mantenimiento de sistema de apoyo, especialmente para su uso en situaciones en las que o bien faltan las marcas de los carriles o son ambiguas, y cuando la visibilidad es limitada, siendo adecuado para el uso en vehículos comerciales y de pasajeros en las autopistas y caminos rurales.

SAFELANE está desarrollando un sistema de apoyo que opera de forma segura y fiable en un rango amplio de situaciones adversas en la conducción. Si se produce una salida del carril involuntaria, ésta se detecta y un sistema de toma de adaptación activa emite una alerta al conductor o el sistema de dirección activa se activa para evitar un posible accidente.

El enfoque flexible y modular de SAFELANE se demostrará en los vehículos comerciales y de pasajeros en las pistas de prueba, autopistas y caminos rurales. Para ello se utilizará una cámara, bases de datos de mapas digitales y, opcionalmente, con visión de futuro de los sensores activos (por ejemplo, radar / lidar / láser).

El desarrollo se basa en los siguientes conceptos clave:

- La fusión de detección de carril basado en cámaras con una mejora de los datos de mapas digitales y calcular con precisión la trayectoria del vehículo.
- Adaptar el sistema de decisión basado en modelos para la comprensión de la situación y un sistema avanzado de autoevaluación.

- Componentes activos de dirección para la comunicación como son el conductor y la corrección de la dirección



Figura 17: Esquema del proyecto SAFELANE.

#### 2.2.5.2. LATERAL SAFE.

LATERAL SAFE [9] es la incorporación de un conjunto de aplicaciones de seguridad que contribuyen a la prevención de accidentes laterales y/o traseros y ayudan al conductor en condiciones de visibilidad adversas o bajas y en las zonas de ángulo muerto.

El principal objetivo de este proyecto es la reducción de accidentes mediante:

- El cambio de carril normal, que constituyen más del 38% de todos los accidentes de carril por lo cual el estudio de una zona de seguimiento en los laterales y posterior, mejora la percepción del conductor del riesgo de colisión en la zona lateral y trasera del vehículo - especialmente cuando la detección es muy difícil debido a la escasa visibilidad o una sobrecarga

importante en la atención del conductor.

- Prueba de un sistema de advertencia de colisión lateral, que detecta los obstáculos en el campo lateral y advierte al conductor sobre un riesgo inminente de accidente (colisión, salida por carretera o la unión de ambas situaciones). Esta aplicación puede ser independiente o mejorar el modelo desarrollado en torno a la monitorización.
- Prueba de un sistema de cambio de carril, con detección integrada de punto ciego que indique al conductor si existe un vehículo en el punto muerto en las maniobras de cambio de carril mientras se conduce en las carreteras de varios carriles.

Las aplicaciones *LATERAL SAFE* se basa en una plataforma común de varios sensores, los múltiples sistemas de sensores cubren 270° alrededor del vehículo (ver Figura 18).



Figura 18: Sensores instalados en *LATERAL SAFE*.

El módulo HMI (Human Machine Interface) da prioridad a la aplicación de advertencia / solicitudes de información y los dirige hacia un actuador o a la pantalla. Estos estímulos pueden ser:

- Seguimiento de objetivos dinámicos que avanzan hacia el vehículo.
- El conocimiento de las maniobras en la dirección de un obstáculo y maniobras de cambio de carril.
- La detección de los obstáculos a corta distancia.
- La detección de vehículos en el ángulo muerto.
- La detección de objetos críticos y no críticos en las zonas laterales y posterior.

#### **2.2.6. Seguridad en las intersecciones ( Proyecto Intersafe).**

Los accidentes en las intersecciones ocurren cuando los conductores realizan maniobras inadecuadas [9], no pueden anticipar las acciones de otros conductores, o no ven las señales de tráfico. El desarrollo de sistemas de sensores avanzados y algoritmos puede proporcionar la localización exacta del vehículo del conductor y predicción de la trayectoria de los usuarios de la carretera. Combinando esto con la comunicación del estado en el cual se encuentran los semáforos, será posible advertir al conductor de situaciones potencialmente peligrosas. Para ello se tienen los siguientes objetivos:

- Utilización de una función de alerta al conductor que hace recomendaciones de la velocidad al acercarse a una intersección mediante el color del semáforo para cruzar o girar en la intersección, lo que reduce el riesgo de colisión.
- Predicción de la trayectoria del propio coche y de otros vehículos cercanos utilizando un sensor escáner láser y un sensor de visión. Se utilizará un mapa sencillo y puntos de referencia para localizar la intersección.

- Desarrollo de un sistema de intersección de seguridad avanzadas, utilizando un entorno de simulador dinámico de la evaluación de las futuras aplicaciones de seguridad activa y el sensor de los requisitos del sistema. La funcionalidad del sistema y el potencial de un sistema específico para la prevención de accidentes y sus logros para mitigar accidentes se puede demostrar de una manera cuantitativa, sin riesgos y la capacidad de realizar experimentos reproducibles al ciento por ciento.
- Investigación de una intersección capaz de comunicarse bidireccionalmente con todos los vehículos que pasan la intersección. El semáforo es capaz de comunicar el retraso para el cambio de color, y el vehículo es capaz de comunicar una estimación del coeficiente de fricción con el fin de transmitir esta información a otros vehículos que llegan a la intersección.



Figura 19: Principio de funcionamiento del proyecto Interfase.

*Intersafe* está estudiando la prevención de accidentes y potencial de la capacidad de mitigarlos de un sistema integrado de seguridad preventiva para las intersecciones a través de dos enfoques paralelos:

- De abajo hacia arriba: Integración de los sensores y la infraestructura de comunicación dentro de un vehículo de demostración para explorar lo que las aplicaciones de asistencia al conductor pueden necesitar en el corto plazo.
- De arriba hacia abajo: Desarrollo de un sistema de intersección de seguridad avanzadas, utilizando un entorno de simulador de conducción dinámica, para evaluar las futuras aplicaciones de seguridad activa, y el sensor de los requisitos del sistema. Esto también permite acceder a los escenarios de alto riesgo de manera segura.

### **2.2.7. Percepción de los usuarios vulnerables de la vía y reducción de daños en caso de colisión.**

#### **2.2.7.1. UseRCams.**

*UseRCams* [9] se centra en el desarrollo de un sensor activo en 3D asequible, que es de vital importancia en la detección de obstáculos y mejora de la clasificación a corta distancia.

El sensor es especialmente adecuado para la reducción de daños en caso de colisión, protección de los usuarios vulnerables de la vía y la detección de obstáculos en el ángulo muerto. El primer prototipo se ha desarrollado sobre la base de un láser de nanosegundos de pulso y un sensor CMOS fotosensible personalizado con un tiempo corto de integración.

La cámara prototipo resultante se utilizará para el desarrollo de algoritmos de primera generación en el reconocimiento de los objetos del tráfico urbano. El *know-how* y la experiencia acumulada con el despliegue y la evaluación de este prototipo llevará al

diseño de una cámara CMOS personalizada que tiene por objeto la adaptación óptima a la precolisión y el ángulo ciego.

Los sensores ofrecen rangos de distancia de hasta 25 metros con una frecuencia de repetición de 10 milisegundos para pre-colisión y aplicaciones de punto ciego:

- Frontal / lateral rango de distancia (20-25 metros).
- Proximidad lateral de los camiones (vigilancia punto ciego).
- Algoritmos de clasificación en 3D para objetos (obstáculos, peatones).

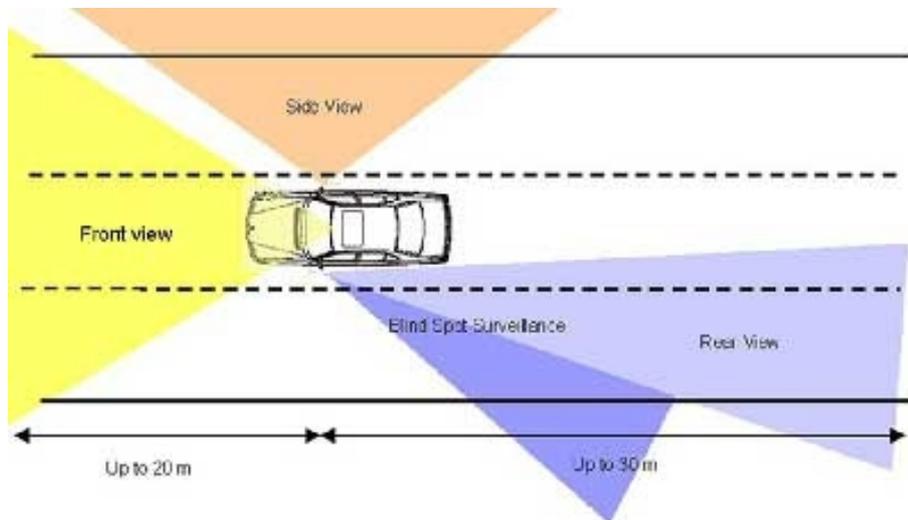


Figura 20: Requisitos del sistema UseRCams.

### 2.2.7.2. COMPOSE.

*COMPOSE* [9] tiene como objetivo principal la protección de los usuarios de la carretera fuera de los vehículos como los peatones, ciclistas y otros vehículos, para ello desarrolla y evalúa la reducción de daños en caso de colisión mediante el frenado autónomo para camiones y coches. Su enfoque está en choques por alcance y las colisiones con los usuarios vulnerables de la vía. Un innovador método de fusión de datos se ha empleado para alcanzar un alto grado de fiabilidad de la percepción, que es

obligatorio para este tipo de aplicaciones. Se hace especial hincapié en la protección de los usuarios de la carretera fuera del vehículo.

La aplicación *COMPOSE* explota el hecho de que los sistemas automáticos son capaces de reaccionar mucho más rápido que los conductores humanos. Esto permite una mejora esencial de la seguridad vial debido a estos sistemas innovadores, basados en la reducción del daño en caso de colisión del vehículo y los mecanismos de protección de usuarios de las carreteras por medio de frenado autónomo. En caso de una colisión, estos sistemas pueden reducir significativamente la energía cinética del impacto reduciendo de esta manera la gravedad de las lesiones y, posiblemente, contribuir a una mejora considerable de la seguridad vial, este sistema actúa en colisiones traseras y con los usuarios vulnerables de la vía,. Los sensores múltiples se utilizan con el fin de disponer de datos redundantes y complementarios para aumentar la robustez del sistema de percepción.

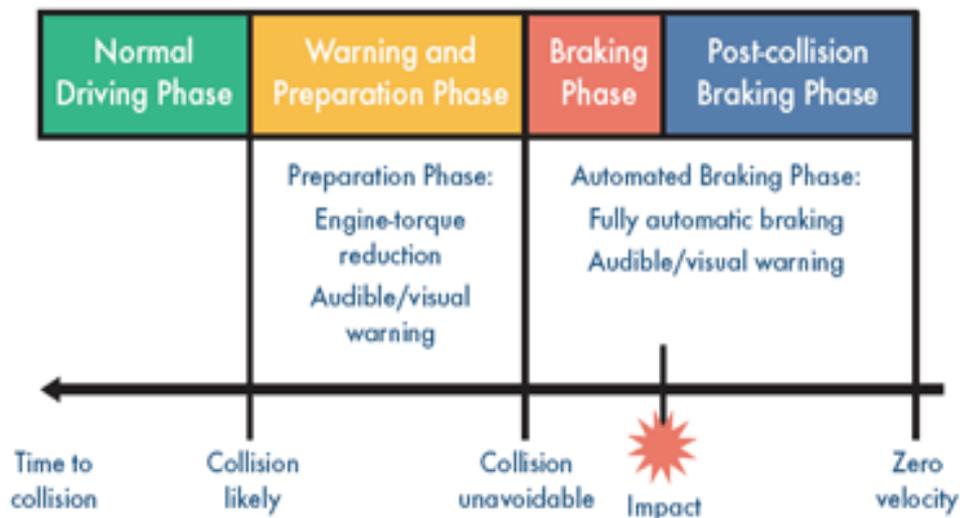


Figura 21: Fases de actuación de COMPOSE.

La evaluación de la situación se realiza con el fin de determinar cuando una colisión se convierte en probable, y accionar automáticamente el sistema de frenado para los accidentes inevitables. Dependiendo de si la colisión es frontal o trasera se

actuara de diferente forma para reducir al máximo posible la energía cinética del impacto.

El vehículo está equipado con varios sensores seleccionados específicamente para permitir la detección de objetos, seguimiento y clasificación de vehículos y usuarios vulnerables de la vía (ver Figura 22).



Figura 22: Sensores instalados en el vehículo.

### 2.2.7.3. APALACI.

*APALACI* [9] se centra principalmente en la protección de los ocupantes del vehículo previendo el accidente y actuando en el pre-accidente mediante un sistema de reducción de daños en caso de colisión aparte tiene la capacidad de clasificar a peatones.

*APALACI* está desarrollando un sistema de previsión de colisión y reducción de daños en caso de colisión, incluidas las técnicas innovadoras de la fusión de sensores. La aplicación *APALACI* se basa en la detección de un evento de colisión algunos casos antes de que ocurra para mejorar la intervención de los sistemas de a bordo y mejorar la protección de los ocupantes del vehículo, por lo tanto, reducir la gravedad de los accidentes inevitables. Para ello se han marcado los siguientes objetivos:

- Mejorar la protección de los ocupantes del vehículo mediante el desarrollo de intervenciones avanzadas antes de una colisión.
- Mejora de la eficacia de las maniobras de frenado de acuerdo con el escenario de la colisión detectada para mitigar la severidad de la colisión inevitable.
- Mejorar el control de los sistemas de retención para las intervenciones de los accidentes antes de una colisión.

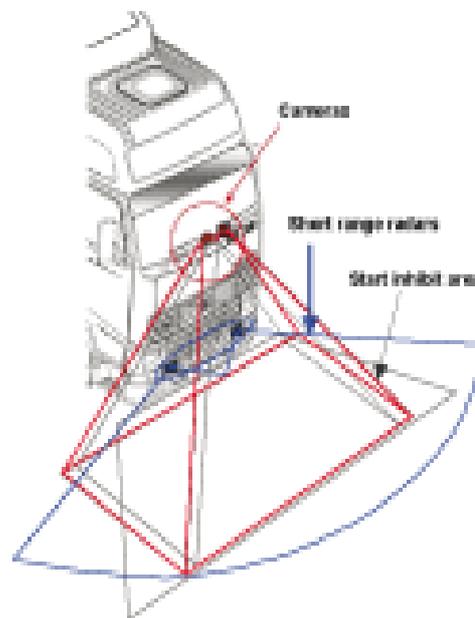


Figura 23: Sistema para camiones.

- Prevenir baja velocidad con obstáculos o peatones en la zona frontal de camiones mediante la inhibición del inicio de la marcha, de esta forma, se evitan accidentes a baja velocidad por el control de la zona frontal cerca del vehículo(ver Figura 23).

Se pueden dar diferentes tipos de intervenciones que se activan progresivamente en función del tiempo previsto para la colisión, para la reducción de daños en la colisión (maniobras de frenado, incluido el conductor en el circuito de decisión), la mejora del pretensado y control preestablecido para los sistemas de retención (ver Figura 24). Iniciar

la función de inhibición para los camiones.



Figura 24: Fases de acciones en el momento previo al accidente.

## 2.2.8. Proyectos multifuncionales de PReVENT.

### 2.2.8.1. RESPONSE3.

Tiene como objetivo la creación de un Código Práctico (CP) para el desarrollo y ensayo de ADAS para la industria europea. Este CP tendrá un enfoque específico para los sistemas integrados y los factores humanos. También tiene como objetivo el prestar asesoramiento sobre cuestiones jurídicas y de responsabilidad [9].

### 2.2.8.2. MAPS&ADAS.

Los mapas digitales tienen un gran potencial para la seguridad vial para mejorar o permitir que las aplicaciones de seguridad preventiva y activa mediante la ampliación del horizonte del conductor. Como un sensor llamado horizonte de predicción ADAS, los mapas digitales son una fuente adicional de información que proporciona la capacidad de anticipación para las aplicaciones de ADAS [9].

El subproyecto *MAPS&ADAS* es conducido por las necesidades identificadas por el Foro ADASIS en lo que respecta a la utilización de mapas digitales como sensores primarios y/o secundarios de ADAS.

El acceso a los datos de los mapas en otras aplicaciones de la navegación requiere de una interfaz estandarizada para evitar soluciones específicas dependientes de los fabricantes de los equipos originales y proveedores de las aplicaciones. Esto permitirá la reducción de los gastos de implementación en la futura introducción en el mercado. La producción de mapas ADAS requieren la adquisición de los parámetros ADAS.

### 2.2.8.3. ProFusion.

Tras varios años de investigación y desarrollo (I+D) en los que se ha mantenido el desarrollo y la mejora de equipos y funciones de seguridad preventiva. Los avances más recientes han dado lugar a un “acuerdo” sobre la utilización de conjuntos comunes de sensores para distintas aplicaciones de seguridad y fusión de datos para la mejora del rendimiento y la robustez de las funciones.

El principal objetivo de *ProFusion* [9] es impulsar las técnicas de fusión de datos de los sensores utilizados para los sistemas de asistencia al conductor más allá del estado actual del arte. Esto se hará mediante la creación de una arquitectura modular de fusión e interoperable para los sistemas de sensores múltiples, que integra diversos criterios (por ejemplo, sensores de alta y baja fusión de datos, algoritmos de refinamiento de situaciones, etc.).

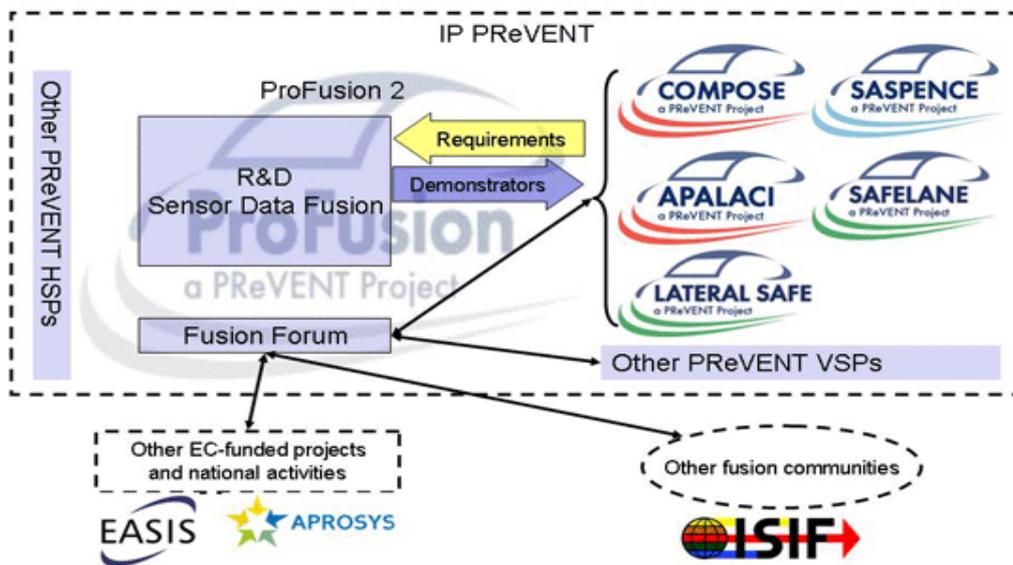


Figura 25: Esquema de ProFusion.

El sistema se basará en un modelo de entorno ampliado. Los objetivos son ofrecer una visión amplia del entorno a las aplicaciones (partiendo de representaciones más detalladas) y definir estructuras de datos para cada paso del proceso durante el proceso



de fusión (por ejemplo, los datos del sensor primario, las características de la señal, los objetos detectados en el entorno).

Para el refinamiento, *ProFusion* desarrollará algoritmos existentes y nuevos para el filtrado, la asociación de datos y clasificación de objetos. En especial, analizará las posibilidades de deducir información de confianza a partir de los datos de los sensores complementarios y redundantes para cada resultado de proceso. Además, el trabajo de investigación se centrará en los modelos nuevos de movimiento.

Los temas de investigación sobre el refinamiento de situación incluyen la clasificación y la predicción de la trayectoria de los objetos en la carretera, estimación de la trayectoria del vehículo basado en información de fuentes múltiples (por ejemplo, carril detectado, la dinámica del vehículo y los datos del mapa), así como la decisión sobre los componentes genéricos para la predicción de la intención del conductor.

El sistema de percepción del nuevo desarrollo, y especialmente de los métodos de fusión, se pondrá a prueba extensamente sobre la base de los subproyectos actuales. Los resultados serán comparados con los rendimientos de la percepción del entorno realizado en la VSP para mostrar los beneficios y desventajas de los nuevos enfoques.

## **CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO.**

El diseño del sistema de detección y seguimiento de la trayectoria de peatones mediante fusión sensorial, para un coche autónomo, está pensado para ser incluido en la plataforma IvvI 2.0 (Acrónimo en inglés de Vehículo Inteligente basado en Información Visual), por lo tanto, en este punto se explica el hardware necesario para su funcionamiento.

Se ha utilizado el IvvI 2.0 que es la tercera de las cuatro plataformas que dispone el Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la Universidad Carlos III de Madrid; se dispone del IvvI 1.0 y 2.0 y del iCab 1 y 2 (Intelligent Campus Automobile).

### **3.1. *IvvI 2.0.***

Su nombre viene del acrónimo en inglés de Vehículo Inteligente basado en Información Visual y el número indica que se trata del segundo vehículo en el que se han instalado los sensores y equipos necesarios para el desarrollo de Sistemas de Ayuda a la Conducción.

Además de actualizar el equipamiento respecto del IvvI 1.0 se ha buscado un diseño más acorde con lo que constituirán los futuros sistema de ayuda. Para ello tanto los ordenadores como los sensores o monitores están perfectamente integrados dentro del vehículo.

En el vehículo están instaladas cuatro cámaras en el espectro visible y dos en el infrarrojo. De las primeras, una está supervisando al conductor, vigilando que esté prestando atención a lo que ocurre delante del vehículo y atento a los primeros síntomas de sueño para avisarle. Otras dos cámaras están dedicadas a la detección de peatones y otros vehículos para evitar colisiones. La última cámara captura en color y detecta las señales de tráfico para comprobar que se están cumpliendo las normas y el vehículo no realiza maniobras peligrosas. Las dos cámaras de infrarrojo se encargan de la detección

de peatones en condiciones de baja visibilidad.

También tiene instalado un telémetro láser que permite la detección de posibles obstáculos a grandes distancias, tales como peatones, otros vehículos y objetos en el entorno del vehículo.

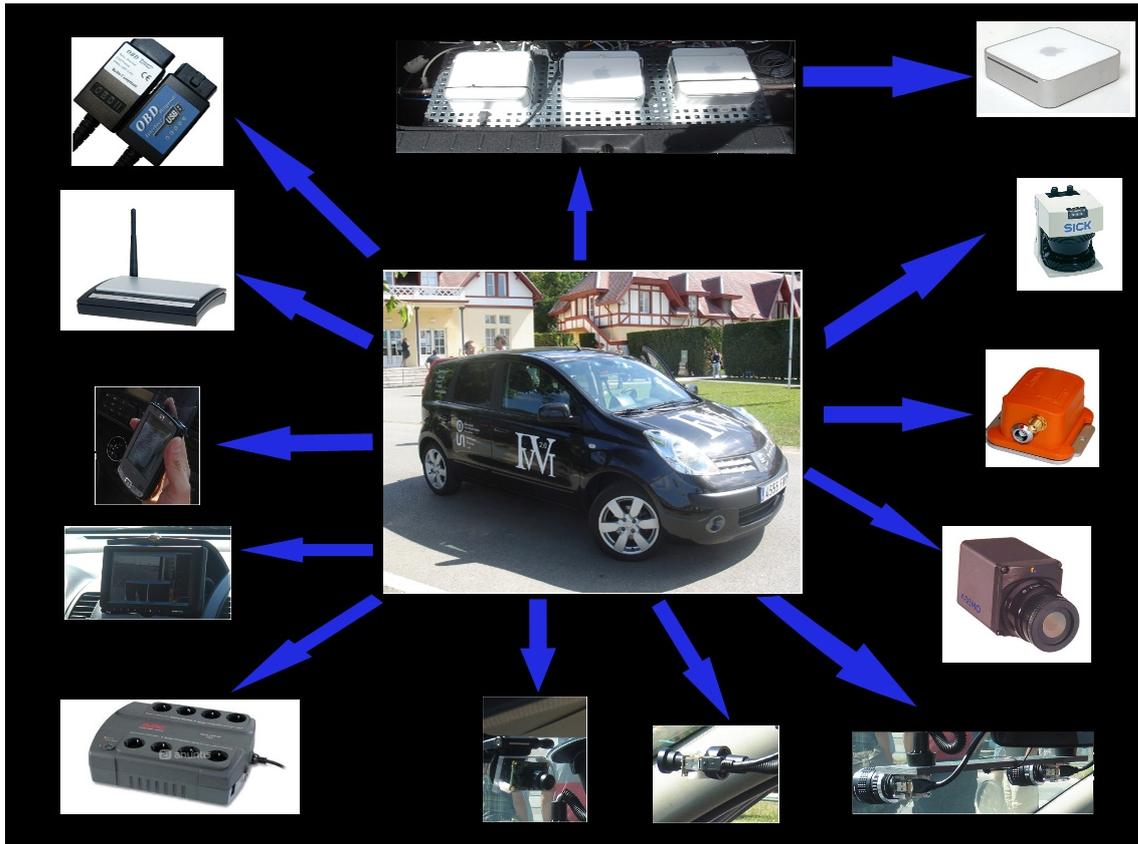


Figura 26: Dispositivos instalados en el Ivvl 2.0.

La información proveniente de los Sistemas de Ayuda a la Conducción solo se le comunica al conductor cuando el vehículo se encuentra en una situación real de peligro. Se evita así distraer al conductor con información inútil o redundante que solo sirva para distraerlo de su tarea y suponga un peligro o un estorbo más que una ayuda. Existen dos formas de hacer llegar esa información:

- A través de una señal sonora se le avisa del peligro y de la maniobra que debe realizar .
- A través de una pantalla que se encuentra integrada en el salpicadero se le muestra la información captada y analizada por los sensores.

Para determinar el estado del vehículo se dispone de una sonda CAN-Bus que obtiene información del funcionamiento del vehículo así como de un sistema GPS-IMU que da la información de la posición y velocidad del vehículo. Tres ordenadores situados en el maletero analizan la información sensorial. Al estar conectados en red pueden intercambiar información de sus respectivos módulos.

### **3.2. Telémetro láser.**

El telémetro láser utilizado es el modelo SICK LMS 291-S05 (ver Figura 27), capaz de leer un plano de 2 dimensiones con una resolución desde  $1^\circ$  hasta  $0,25^\circ$  y con un campo de visión configurable hasta los  $180^\circ$ . La distancia máxima es regulable desde los 8 metros hasta los 80 metros. El periodo de muestreo del láser es de 13 milisegundos.



*Figura 27: Telémetro láser SICK LMS 291-S05*

Para obtener los datos con los que se va a trabajar se ha empleado la configuración a  $0,25^\circ$  de resolución y una distancia de 80 metros, con un ángulo de visión de  $100^\circ$ . La particularidad de este telémetro, que le hace ideal para este tipo de sistemas, es su modo de funcionamiento a esta resolución: Para lograr la resolución deseada el láser realiza cuatro escaneos independientes de un grado cada uno de resolución, cada uno de ellos separado  $0,25^\circ$  con respecto al anterior escaneo. De esta forma, es posible conseguir una

resolución de  $0,25^\circ$  tras cuatro escaneos como se observa en la Figura 28.

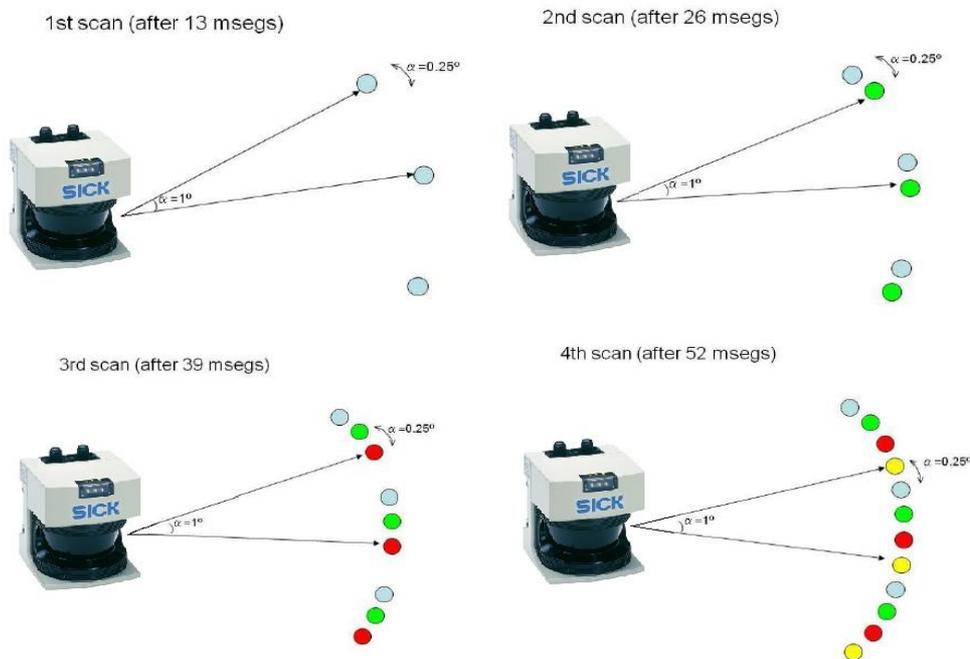


Figura 28: Comportamiento del láser para un escaneo simple de resolución  $0,25^\circ$ .

Este comportamiento hace que sea posible identificar cuando los objetos se están moviendo debido a su singular patrón que deja a lo largo de las 4 rotaciones consecutivas. Este patrón será proporcional al movimiento del objeto y su trayectoria a lo largo de las cuatro rotaciones.

El telémetro láser fue montado en el paragolpes del coche, mediante un anclaje que provee el fabricante adaptado para el anclaje del gancho para el remolcado del vehículo, como se puede observar en la Figura 29.



*Figura 29: Configuración final del telémetro láser en el paragolpes delantero.*

### **3.3. Adquisición y Procesado.**

El láser se comunica con un PC, dotado de un conversor USB-RS422 al cual hubo que diseñarle una interfaz electrónica específica porque la configuración de los pines era diferente de la que poseía el láser.

Este modelo permite conectarse al láser a la máxima velocidad de conexión que puede dar el puerto RS 422 del láser, 500 kbps. Pese a que la configuración de la velocidad del puerto no sigue el estándar de velocidades, fue posible la conexión a la máxima velocidad que resultó en una lectura de un escaneo cada 52 milisegundos, con una frecuencia mayor de 19 Hz. La tarjeta provee de dos puertos, por lo tanto, es posible conectar hasta dos telémetros láser al mismo tiempo.

### 3.4. Cámara Infrarroja.

La cámara infrarroja es una cámara Indigo Flir Omega con óptica de 18 mm de longitud focal, lo que nos proporciona unos ángulos de apertura del sensor de 28x19. Además tiene una sensibilidad espectral de 7.5 $\mu$ m a 13.5 $\mu$ m.



Figura 30: Cámara Indigo Flir Omega con óptica de 18mm.

Se ha elegido esta cámara por su gran capacidad de detección de temperaturas, pues tiene un rango de 14 bits, lo que equivale a que es capaz de diferenciar 16384 temperaturas distintas y como se puede ajustar a un rango determinado de temperaturas esto nos proporciona una gran versatilidad a la hora de detectar peatones por su temperatura corporal, además se eligió esta cámara por sus reducidas dimensiones como se puede observar en la Figura 31 y lo ligera que es, permitiéndonos que la colocación de ésta en el vehículo sea más sencilla.



Figura 31: Tamaño de la cámara infrarroja.

La cámara infrarroja fue montada delante del espejo retrovisor izquierdo del coche, mediante una pieza especialmente creada para tal fin, como se puede observar en la Figura 32.



*Figura 32: Configuración final de la cámara infrarroja en el retrovisor izquierdo.*

### **3.5. Visualización y E/S.**

La visualización del sistema, se realiza mediante una pantalla, modelo Xenarc 7" 705YV. Que permite la visualización de los resultados, y la interacción con los ordenadores de abordo.



*Figura 33: Pantalla táctil Xenarc 7" 700 TSV.*

### **3.6. Alimentación.**

El sistema de alimentación está compuesto por una batería de automóvil, de 12V, situada bajo el asiento del conductor y una SAI que realiza la conversión 12V DC/AC 220 V y salvaguarda los equipos de bajadas repentinas de voltaje o pérdidas de corriente producidas por el fallo de la batería. Los sistemas instalados consumen:



- Consumo de los ordenadores 3\*90 W.
- Consumo del sistema Telémetro Láser 20 W.
- Consumo de la cámara infrarroja 1,5 W.
- Consumo de la pantalla 10 W.

## **CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO.**

Para el desarrollo y el diseño del sistema de detección y seguimiento de la trayectoria de peatones mediante fusión sensorial para la plataforma de trabajo IvvI 2.0 se ha utilizado diferente software que pasamos a describir.

### **4.1. Microsoft Visual Studio 2008.**

*Microsoft Visual Studio* es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión net 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles.

### **4.2. MATLAB.**

*MATLAB* (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden



ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

## **CAPÍTULO 5: FUSIÓN SENSORIAL PARA LA DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE PEATONES.**

Los pasos necesarios para la realización del presente proyecto fueron:

1. Realizar una simulación de los dispositivos, para capturar la secuencia a analizar.
2. Análisis y obtención de los datos del programa de clasificación de objetos realizado durante el proyecto “Clasificación de elementos de entornos viarios basada en radar láser” [5] y [10].
3. Análisis y obtención de los datos de posicionamiento proporcionados por el programa de la cámara infrarroja [10].
4. Preprocesado de la información recopilada.
5. Fusionar los datos del telémetro láser y de la cámara infrarroja para la detección y seguimiento de peatones.

### **5.1. Captura de la secuencia.**

Para facilitar la captura y control de la secuencia se optó por realizar un montaje estático donde el telémetro láser y la cámara infrarroja se colocaron con una geometría y posición parecida a la del IvvI 2.0 como se muestra en la Figura 34. El telémetro láser y la cámara infrarroja se situaron 1 m y 1,40 m respectivamente desde el nivel del suelo. A continuación los dos sensores estuvieron capturando y almacenando diferentes secuencias de movimientos peatonales. Los datos fueron almacenados para su posterior análisis. Esta secuencia fue capturada en la Escuela Politécnica de Leganes de la Universidad Carlos III de Madrid en una zona controlada donde circulan los alumnos camino de las clases (itinerarios no predefinidos) y también se capturaron movimientos específicos (itinerarios predefinidos a diferentes distancias).

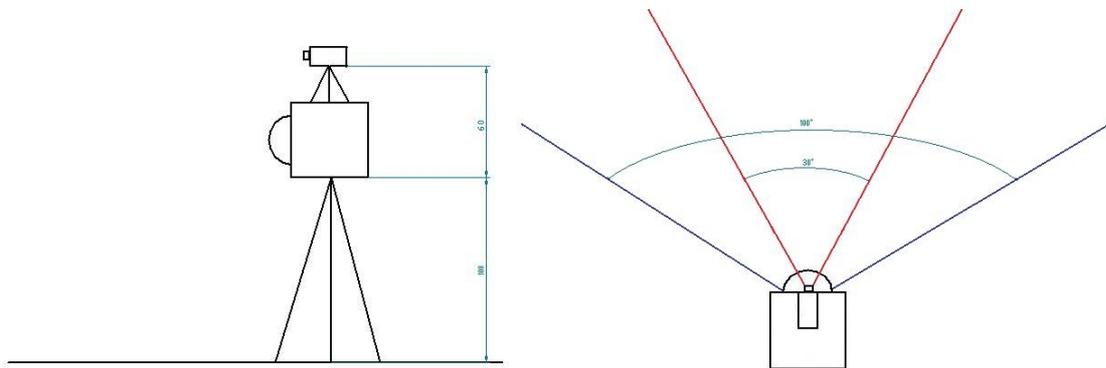


Figura 34: Esquema de posicionamiento del telémetro láser y de la cámara infrarroja.

## 5.2. Análisis y obtención de los datos del telémetro láser.

Los datos del telémetro láser los proporciona el programa “*Ladar3*” realizado anteriormente en el proyecto “Clasificación de elementos de entornos viarios basada en radar láser” [5]. En primer ha sido necesario realizar una librería mediante *Microsoft Visual Studio 2008* que permite almacenar estos datos en ficheros tipo texto. Posteriormente estos ficheros son leídos y estructurados para que sean procesables por el programa *MATLAB*.

### 5.2.1. Información proporcionada por *Ladar3*.

Este programa recoge los datos en bruto del telémetro láser y los estudia identificando los diferentes objetos de la calzada clasificándolos como:

- NOT\_CLASSIFIED: Objeto que no ha podido ser clasificado.
- ROAD\_BORDER: Paredes, guardarrailes...
- POSSIBLE\_PED: Posibles peatones.
- FIXED\_OBSACLE: Objetos fijos, como señales, arboles...
- MOBILE\_OBSACLE: Objetos móviles, como camiones coches motos...

- PEDESTRIAN: Peatones confirmados.
- L\_SHAPE: Objetos con forma de L, normalmente, son coches aparcados.

Para esta clasificación se tiene en cuenta las formas características de los objetos, lo primero que se hace es eliminar los puntos que no han conseguido formar un conjunto al considerarse errores de detección o no obtenerse la suficiente información, lo siguiente es unir los puntos entre sí, formando líneas de varios puntos que se denominan “*polylines*”, estas *polylines* dan forma una forma característica al obstáculo.

Una vez creadas las *polylines*, se agrupan dependiendo del tamaño y de la forma y se aporta la primera clasificación, se ha diferenciado entre objeto con forma de L, peatón, borde de carretera , objeto grande y objeto móvil, ver Figura 35.

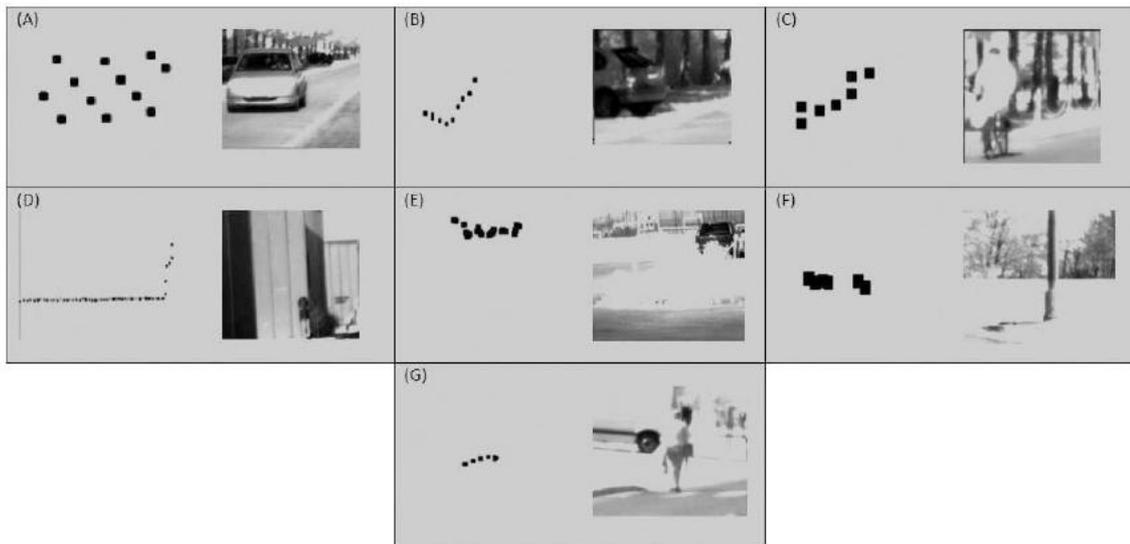


Figura 35: Diferentes patrones dados por el láser. (A) Coche en movimiento. (B) Coche aparcado.(C) Ciclista. (D) Edificio. (E) Arbustos. (F) Póster de luz. (G) Peatón.

De los objetos detectados se proporcionan además de su posición, la velocidad de éstos en el caso que sean móviles. La velocidad se calcula gracias a las características intrínsecas del escaneo.

### 5.2.2. **Obstáculo con forma de L.**

El patrón con forma de L es el típico patrón de los automóviles, cuando éstos no se están moviendo. El sistema computará el ángulo entre dos líneas de la *polyline*, si el obstáculo sólo tiene dos líneas y estas tienen un ángulo de separación de  $\pm 90^\circ$ , etiqueta este obstáculo como obstáculo con forma de L (Figura 35 (B)).

### 5.2.3. **Borde de carreteras.**

El borde de carreteras se corresponde con dos tipos de obstáculos:

- Si se encuentra un obstáculo de grandes dimensiones situado en los laterales de la carretera, se considerará como un borde de carretera. Este tipo de obstáculo serían muros o paredes (Figura 35 (D)).
- Por otro lado, si se encuentran numerosos obstáculos de tipo posible peatón en los bordes de la carretera estos se etiquetan como bordes de carretera ya que se pueden tratar de señales que limitan la carretera, setos, arbustos o árboles que bordean la carretera (Figura 35 (E)).

### 5.2.4. **Objeto Grande.**

Entran dentro de este conjunto de obstáculos todos aquellos que no hayan podido ser diferenciados en fases anteriores. Ya sea por su forma irregular, su tamaño u otros motivos.

### 5.2.5. **Objeto Móvil.**

Supone una de las partes más importantes de la aplicación y ha dado pie a varias publicaciones [11], [12], [13]. Se trata de hacer uso del especial comportamiento del telémetro láser, para aprovecharlo en la detección de objetos móviles, como en este caso, vehículos.

El retardo en cada una de las cuatro rotaciones que se realizan para un escaneo completo, hace que aquellos objetos que se están moviendo presenten un patrón característico, que es proporcional al movimiento del mismo. De esta forma, se puede detectar cuando un automóvil está moviéndose y la trayectoria del mismo. Una vez realizado el cálculo de las *polylines*, los objetos en movimiento representan una *polyline* con forma de dientes de sierra.

### 5.2.6. Posible Peatón.

Son etiquetados como posibles peatones aquellos obstáculos cuyo tamaño es pequeño. La naturaleza de los peatones hace que tengan un patrón de reflexión muy estrecho, ya que por norma general se detectan las piernas de los mismos. Por lo que es fácil confundirlos con obstáculos cuyo patrón se parece a éstos, como es el caso de señales de tráfico, árboles...

### 5.2.7. Peatones.

El patrón descrito por un peatón, es bastante diferenciable en ciertas ocasiones del resto de objetos que pueden aparecer en una vía normal. Con respecto al movimiento un peatón es más fácil de detectar si el mismo se dirige de cara hacia el telémetro láser o se aleja de él, y un poco más difícil si este tiene una dirección perpendicular u oblicua al telémetro láser. La detección del patrón de peatón varía con respecto a la distancia teniendo una mayor dificultad para diferenciarlo, cuanto mayor sea la distancia con respecto al láser.

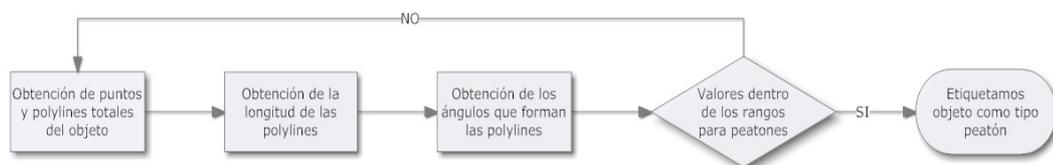


Figura 36: Algoritmo de detección del patrón del peatón



A partir de la observación de las secuencias dadas por el láser, podemos obtener los patrones de formas que identifican al peatón, y crear un algoritmo para su clasificación, el cual se puede observar en la Figura 36.

A continuación se va a realizar una explicación de lo que se realiza en cada etapa:

- Obtención de puntos y *polylines* totales del objeto: Recorriendo todos los puntos que forman el objeto y sumándolos, se obtiene el número total de puntos, de esta manera, también conocemos el número de segmentos que integran el objeto o también denominadas *polylines*, ya que éstos serán el número de puntos menos uno, los objetos de tipo peatón, tienen 4 ó 5 puntos en la gran mayoría de las ocasiones. Si el objeto tiene los puntos necesarios, se sigue con la comprobación, ya que así en caso negativo ahorramos el coste computacional de obtener la longitud y los ángulos que forman las *polylines* y verificar si están dentro de los rangos para ser un peatón.
- Obtención de la longitud total de las *polylines*. La longitud total se obtiene de la suma total de las longitudes de cada segmento que forma el objeto, obteniendo la longitud de un segmento a través de la fórmula 1.

$$LongSegm = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Donde  $x_n$  e  $y_n$  son las coordenadas en  $x$  e  $y$  en del punto  $n$ , donde  $n=[1,2]$ , ya que cada segmento solo puede tener dos puntos.

- Obtención de los ángulos que forman las *polylines*. Si la comprobación es positiva, se pasa a verificar los ángulos que forman los segmentos entre sí, dándose las siguientes posibilidades según el número de puntos y de la orientación de la figura que forma el peatón. Suponiendo unos ejes de

coordenadas como la Figura 37 y tomando los ángulos formados comprendidos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ . La fórmula para la obtención del ángulo formado entre las *polylines* se utiliza la ecuación 2.

$$\text{ángulo} = \tan^{-1}\left(\frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|}\right) \quad (2)$$

Con el valor absoluto del numerador y el denominador, lo que conseguimos es que los ángulos obtenidos estén entre el primer cuadrante y el segundo cuadrante, esto es, que el ángulo esté comprendido entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , para que la comprobación posterior de los ángulos sea más simple. Esta fórmula se aplicará a cada segmento del objeto.

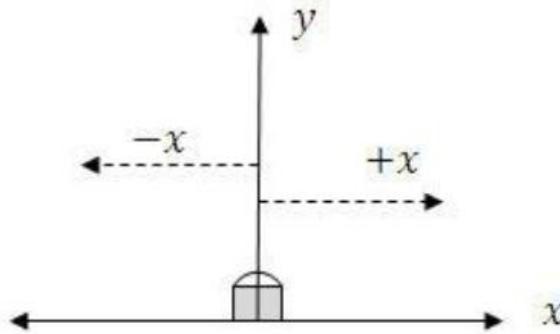


Figura 37: Representación de la toma de coordenadas.

- Etiquetación del objeto como tipo peatón. Si el objeto examinado tiene los ángulos de las *polylines* en el rango adecuado, es identificado como objeto de tipo peatón y clasificado como tal. A continuación se explican los posibles valores y formas que puede tener un peatón.

### 5.2.7.1. Peatón formado por 4 puntos y 3 segmentos, acercándose o alejándose del láser.

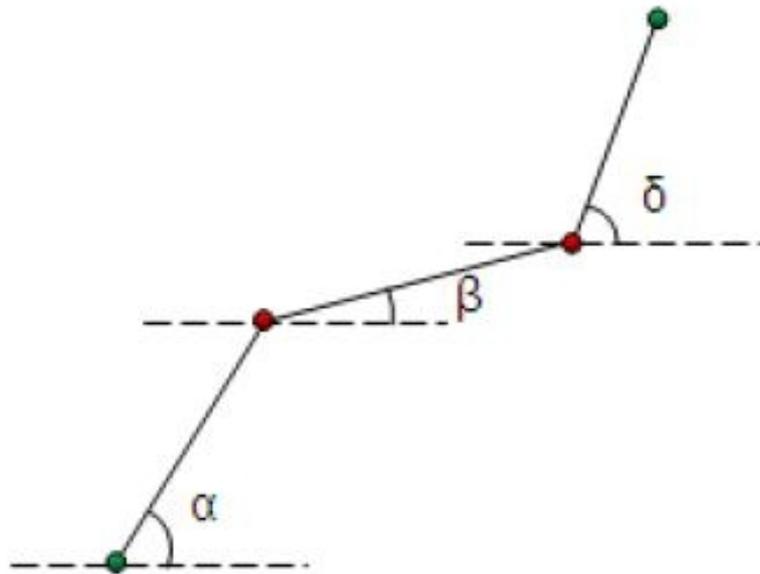


Figura 38: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

Donde los valores de los ángulos siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.

$$\alpha = [ 45^\circ, 90^\circ ]$$

$$\beta = [ 0^\circ, 55^\circ ]$$

$$\delta = [ 45^\circ, 90^\circ ]$$

El caso base corresponde a los ángulos  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$  y  $\delta = 90^\circ$  el cual es una representación ideal de la forma del peatón, este caso en raras ocasiones coincide, tiene muchas variaciones en la orientación de los segmentos y su longitud.

### 5.2.7.2. Peatón formado por 4 puntos y 3 segmentos, caminando perpendicularmente al láser.

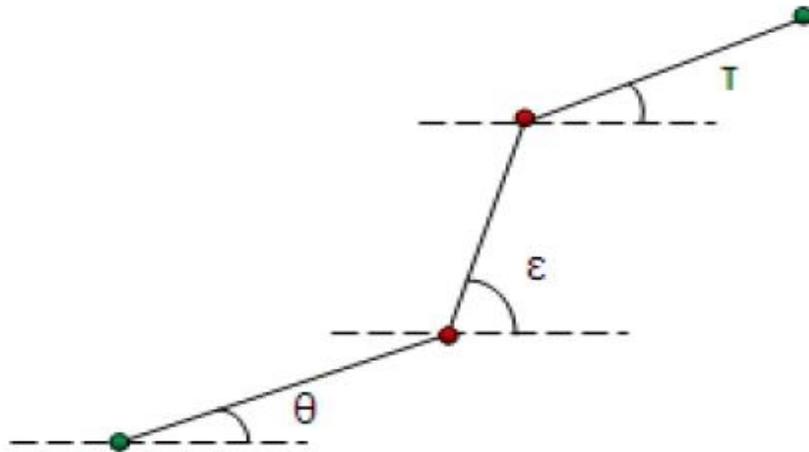


Figura 39: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

Donde los valores siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.

$$\theta = [ 0^\circ, 55^\circ ]$$

$$\varepsilon = [ 35^\circ, 90^\circ ]$$

$$\tau = [ 0^\circ, 55^\circ ]$$

Al igual que en el caso anterior, el caso base correspondiente a los ángulos  $\theta = 0^\circ$ ,  $\varepsilon = 90^\circ$  y  $\tau = 0^\circ$ , la cual es la representación ideal de la forma del peatón.

### 5.2.7.3. Peatón formado por 5 puntos y 4 segmentos.

En este caso no diferenciamos, si el peatón va caminando hacia el radar láser o perpendicular a él, ya que nos encontramos con el mismo patrón en los dos casos.

Tampoco obtenemos un caso base como para los casos anteriores de 4 puntos y 3 segmentos, debido a que no se encuentra una forma definida y estable, cuando el peatón es representado con esta configuración.

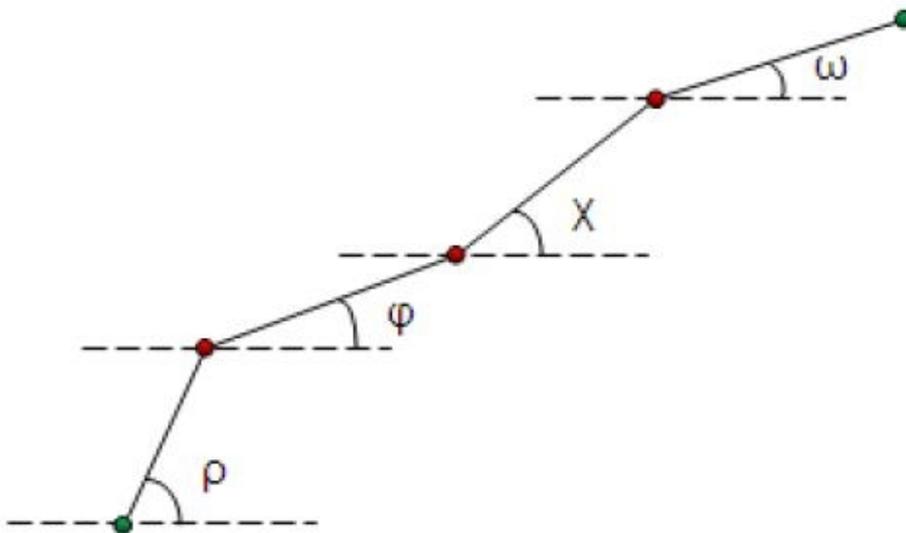


Figura 40: Figura que simula la imagen del peatón dada por el láser, con los ángulos formados por sus segmentos.

Donde los valores siguientes están entre los rangos posibles para que sea clasificado como peatón.

$$\rho = [ 35^\circ, 90^\circ ]$$

$$\varphi = [ 0^\circ, 45^\circ ]$$

$$\chi = [ 35^\circ, 90^\circ ]$$

$$\omega = [ 0^\circ, 45^\circ ]$$

O una configuración:

$$\rho = [ 0^\circ, 45^\circ ]$$

$$\varphi = [ 35^\circ , 90^\circ ]$$

$$\chi = [ 0^\circ , 45^\circ ]$$

$$\omega = [ 35^\circ , 90^\circ ]$$

#### 5.2.7.4. Secuencia de imágenes de un peatón alejándose del láser.

La Figura 41, corresponde a una secuencia de un peatón caminando en dirección contraria a la posición del telémetro láser. En la parte izquierda se muestra la imagen del telémetro láser, y a la derecha una representación de cómo sería en la realidad el peatón.

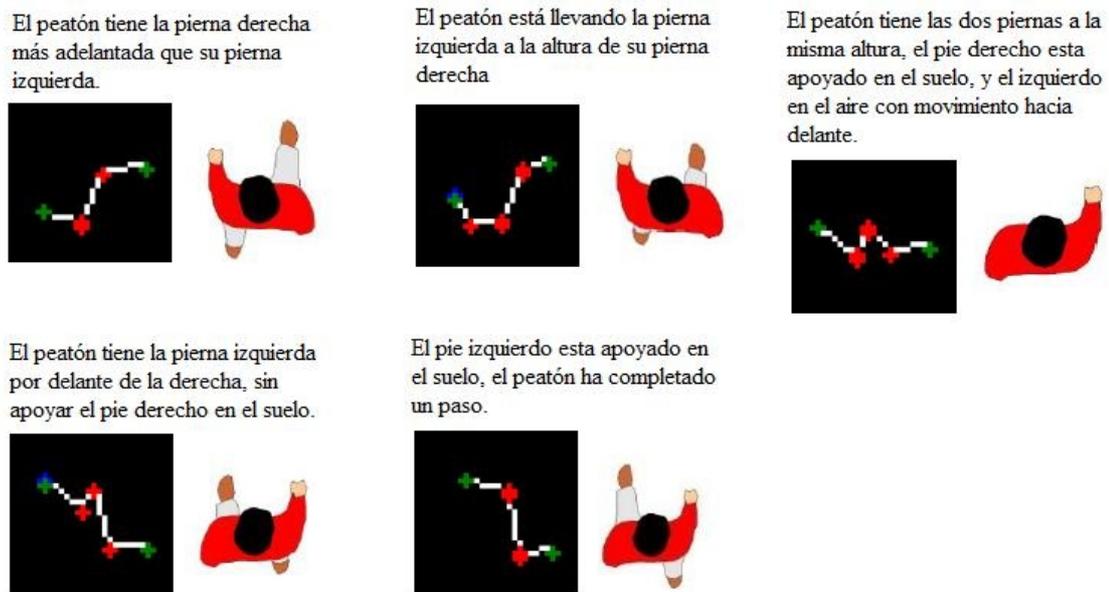


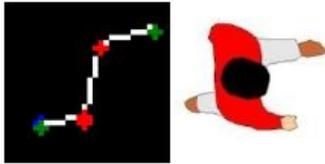
Figura 41: Secuencia de imágenes de un peatón alejándose del láser.

#### 5.2.7.5. Secuencia de imágenes de un peatón caminando perpendicularmente al láser.

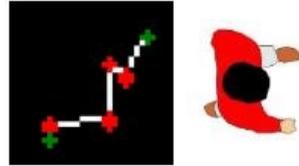
Las imágenes obtenidas corresponden a unas secuencias de un peatón caminando perpendicularmente al láser, en sentido izquierda-derecha. Como en el anterior caso en la parte izquierda se muestra la imagen del láser, y a la derecha una representación de

cómo sería en la realidad el peatón.

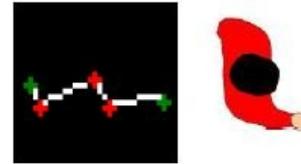
El segmento superior corresponde a la pierna izquierda y el segmento inferior corresponde a la pierna derecha.



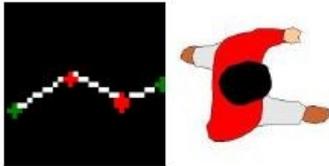
La pierna izquierda permanece quieta, mientras el pie derecho está avanzando.



El peatón tiene las dos piernas casi juntas, por lo que no se diferencia la izquierda de la derecha.



El peatón tiene la pierna derecha en una posición mas avanzada que la pierna izquierda, ha completado un paso.



La pierna izquierda avanza para volver a empezar un paso.

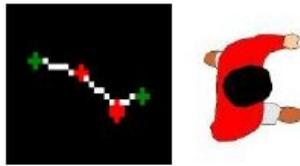


Figura 42: Secuencia de imágenes de un peatón caminando perpendicularmente al telémetro láser.

### 5.2.7.6. Asignación de la posición del peatón.

Una vez determinado que un objeto es un peatón, se le asigna una posición que corresponderá a las coordenadas medias de los puntos que definen la *polylines*.

### 5.2.8. Extracción de los datos recopilados.

Para la extracción de los datos recopilados se procedió a la creación una la librería “*imprimir.h*” y el archivo “*imprimir.ccp*” para la extracción de estos datos en archivos de texto independientes para que pudieran ser analizados y utilizados en otros programas.

Se realizó la implementación de la librería y del archivo en el programa “*Ladar3*” [5] y se ejecutó para la obtención de los archivos:

- NOT\_CLASSIFIED.las.
- ROAD\_BORDER.las.
- POSSIBLE\_PED.las.
- FIXED\_OBSTACLE.las.
- MOBILE\_OBSTACLE.las.
- PEDESTRIAN.las.
- L\_SHAPE.las.

### **5.3. Datos de la cámara infrarroja.**

Los datos recopilados de la cámara infrarroja fueron obtenidos dentro de un proyecto anterior [10]. Para este proyecto fue necesario transformar la estructura de datos y sincronizarlos con los datos recogidos del telémetro láser.

#### **5.3.1. Rango de medida de la cámara infrarroja.**

El rango de distancias es de 5 a 30 metros. La distancia máxima es determinada por el algoritmo de detección, a más de 30 metros, se estima que la información proporcionada no es suficiente para dar una buena detección. Por debajo de 5 metros, la cámara no es capaz de dar la forma completa de un peatón típico (Figura 43). Considerando que la altura media de un peatón ( $h$ ) es de 1,70 metros, de acuerdo con esta distancia y teniendo en cuenta un ángulo de visión de la cámara ( $\alpha$ ) ( $19^\circ$ ) y mediante la ecuación 3 se deduce que la distancia mínima ( $d$ ) es de 5 metros.

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{h}{2d} \quad , \quad d \approx 5 \quad (3)$$

Aunque la ecuación 3 es correcta cuando la persona a detectar está situada en el centro de la imagen de infrarrojos (FIR), en el mundo real no siempre se da esta situación, se comprobó en el proyecto referenciado que es una buena estimación de la distancia mínima para realizar la detección.

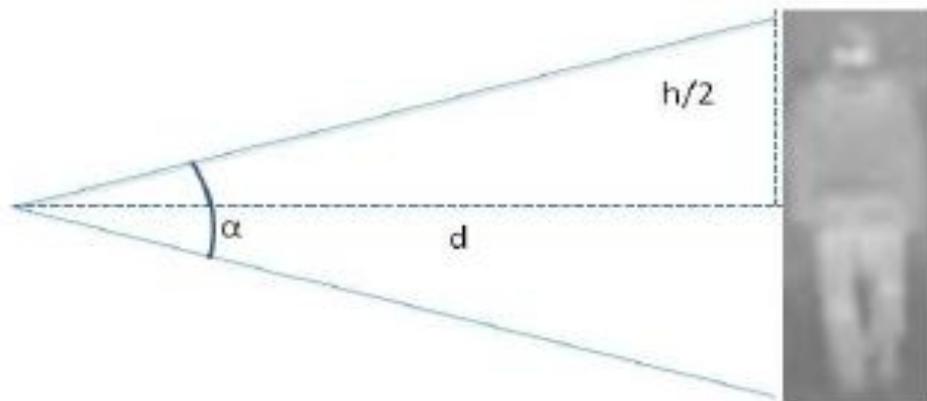


Figura 43: Estimación de la distancia de detección mínima de la cámara infrarroja.

### 5.3.2. Modelo de cámara.

El sistema hace uso de imágenes en bruto recogidas por los microbolómetros. El nivel de gris de cada *píxel* de estas imágenes representa la cantidad de energía radiante en el rango de infrarrojos que captura el sensor. La cámara referida anteriormente utiliza microbolómetros no refrigerados. Es necesario, entonces, calibrar la sensibilidad.

La cámara se calibra mediante un proceso de *pin-hole*. Las características intrínsecas son conocidas y también lo es la posición y orientación de la cámara.

### 5.3.3. Procesado de las imágenes (Regiones de interés).

El umbral de la cámara es para el rango normal de la temperatura del cuerpo humano. La imagen original es binarizada con un umbral que es la temperatura más baja establecida para el cuerpo humano, cuyo resultado es una imagen con *blobs* o conjunto de píxeles agrupados, que pueden representar partes del cuerpo humano con una diferencia de temperatura alta, con relación al fondo de la imagen, especialmente la

cabeza y las manos (Figura 44). La primera fase se busca la cabeza humana, sólo se tienen en cuenta los *blobs* en la mitad superior de la imagen. También los *blobs* que no tienen un tamaño razonable, también son excluidos.

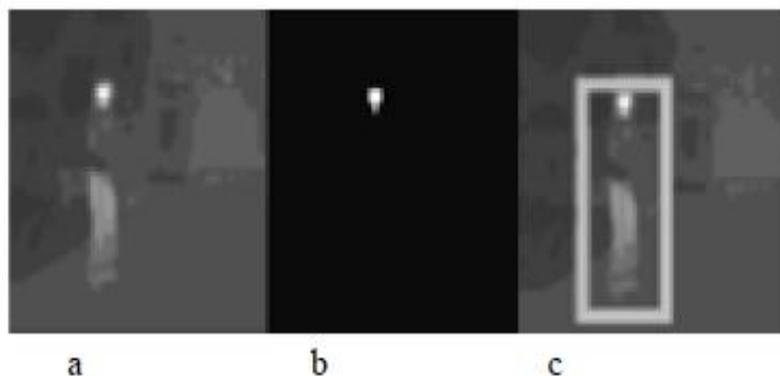


Figura 44: (a) imagen recibida de la cámara. (b) imagen con la binarización se muestra la cabeza. (c) retorno del cuadro de selección.

Una vez que se detecta la cabeza de los candidatos que han sido seleccionados, se genera una región de interés y se crea un cuadro delimitador. En la parte superior del cuadro se elige el punto más alto de la cabeza, mientras que el punto más bajo está en el punto más cercano al suelo de la imagen. De esta manera, todo el cuerpo del peatón se incluye en la caja, el ancho de los cuadros delimitadores se fija para ser  $3 / 7$  de la altura, ya que es una proporción normal del cuerpo humano. En una primera aproximación se supone que la cabeza está situada a 200 cm sobre el terreno en que el peatón camina. Mediante esta aproximación y la calibración efectuada a la cámara se calcula la distancia aproximada a la cámara.

Las regiones de interés generados a partir de la imagen original son binarizadas de nuevo con un umbral que es la temperatura más baja establecida para el cuerpo humano.

La simetría vertical de los peatones en las imágenes del infrarrojo son generalmente muy bien definidas sobre un fondo fresco. Los seres humanos presentan

una simetría vertical muy alta, por lo que se puede utilizar para separarlos del resto de objetos. Sólo se considera en las regiones de interés obtenidas en los pasos anteriores del algoritmo.

La verificación final de las regiones extraídas se realiza por medio de algunos modelos precalculados mediante la correlación de la cantidad de gris respecto al tamaño del cuadro. La correlación se lleva a cabo entre la región umbralizada y los modelos probabilísticos creados para esta aplicación. Para la creación de cada modelo se han utilizado 50 muestras de regiones.

Las regiones de interés que eventualmente contienen un peatón se agrupan en cuatro categorías diferentes según la posición de las piernas: abiertas, casi abiertas, casi cerradas y cerradas. Un ejemplo de estos modelos se pueden ver en la Figura 45 (A a D). Para reducir el número de cálculos a un quinto modelo se crea con una característica común de los peatones, la cabeza. Un ejemplo de este modelo se puede ver en la figura 8 (E). Para cada candidato, el tercio superior del cuadro límite se correlaciona con este modelo en la cabeza antes de continuar con los otros cuatro.

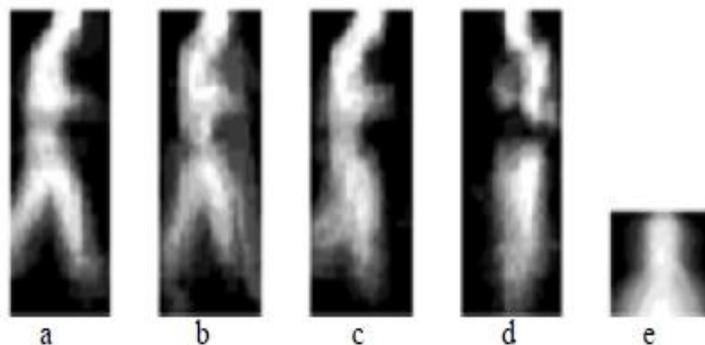


Figura 45: Modelos de peatón.

Además de mejorar el tiempo de cómputo, el uso de este modelo de cabeza puede prevenir detecciones malas debidas a oclusiones, es decir, el peatón está de pie detrás de un coche estacionado.

Para tener en cuenta todas las distancias, los modelos han sido creados para cuatro rangos de distancia: 5 a 15 metros, 15 a 25, 25 y 40 metros.

#### **5.3.4. Extracción de los datos recopilados.**

Una vez encontrados los peatones en la imagen, se calcula la posición respecto a la cámara (ver Figura 37) según la posición inferior del cuadro. Estos datos se almacenan en un archivo llamado “*resultado.IRfus*”.

#### **5.4. Tratamiento de los datos recopilados.**

Es necesaria transformar la estructura de los datos recopilados en los archivos “*PEDESTRIAN.las*” y “*resultado.IRfus*” para que puedan ser exportados a *MATLAB*. Para ello se han creado los archivos “*laser.matlab.puntos.txt*” y “*ir.matlab.puntos.txt*” que añaden ceros en los campos no utilizados de forma que se crea una estructura matricial compatible con esta aplicación.

#### **5.5. Fusión de los datos del telémetro láser y de la cámara infrarroja.**

En un primer momento se intentó crear un árbol de decisiones por lo cual se empezó a crear los ejemplos positivos y negativos necesarios para tal fin, mediante un entrenamiento manual, que consiste en ir asociando todos los datos de los *frames* del telémetro láser y de la cámara infrarroja, mediante un programa, creado a tal fin, que iba asociando los puntos entre si. El problema fue que tener una sola secuencia con insuficientes ejemplos positivos y negativos, quedando descartada esta posibilidad.

Para esta parte del proyecto se utiliza *MATLAB* pues es un programa muy potente a la hora de manejar matrices y funciones.

Observando los datos recogidos de los dos dispositivos se observa que las coordenadas de localización de los peatones son diferentes para los dos tipos de sensores. Siendo las diferencias en el eje  $Y$  mucho más acusadas que en el eje  $X$ , esto es debido a que la precisión en la medida de profundidad de la cámara infrarroja es baja, lo que provoca que la detección tenga mucha variación en el eje  $Y$ . La altura del peatón con la que se calcula la profundidad, varía mucho si se elige un *pixel* arriba o un *pixel* abajo, incrementándose notablemente el error según aumenta la distancia el peatón encontrado. Por esta razón el seguimiento (*tracking*) de la posición de los peatones se

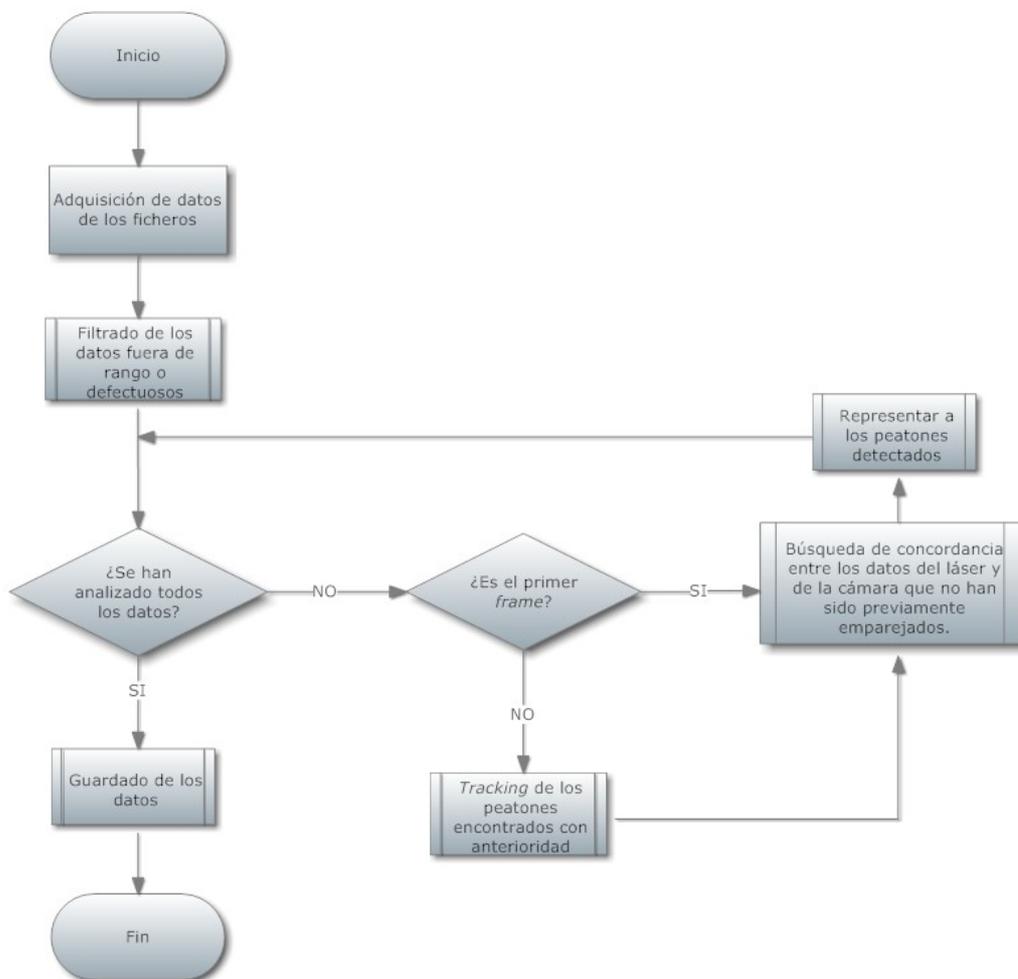


Figura 46: Esquema de la fusión entre telémetro láser y cámara infrarroja

basará principalmente en los datos proporcionados por telémetro láser sirviendo los datos proporcionados por la cámara infrarroja como apoyo y verificación.

En la Figura 46 se puede observar los pasos necesarios para la fusión de los datos del telémetro láser y de la cámara infrarroja. Estos pasos son:

1. Adquisición de los datos de los ficheros.
2. Filtrado de los datos.
3. Concordancia entre los datos del láser y del infrarrojo.
4. *Tracking* de los peatones encontrados.
5. Representación de los peatones encontrados.
6. Almacenamiento de los datos.

#### **5.5.1. Adquisición de los datos.**

Se parte de la estructura de los ficheros: “*laser.matlab.puntos.txt*” y “*ir.matlab.puntos.txt*”, cada línea corresponde al resultado de la detección en un instante o *frame*, que se toman cada 0.052 segundos y cada dato está separada por un tabulador. La estructura de los datos de los dos ficheros se muestra a continuación:

### 5.5.1.1. Descripción del fichero *laser.matlab.puntos.txt*.

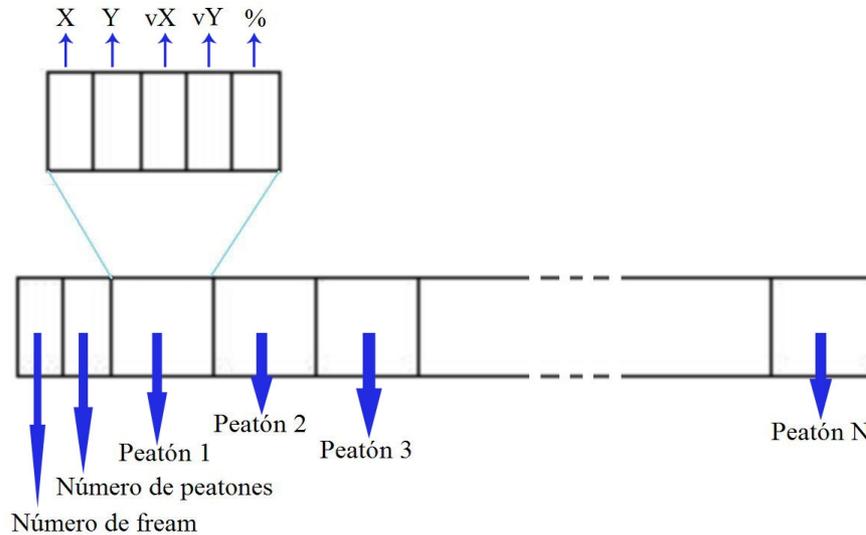


Figura 47: Descripción de cada fila del archivo *laser.matlab.puntos.txt*

- El primer dato es la identificación del *frame*.
- El segundo dato es el número de peatones identificados en el *frame*.
- Los siguientes datos son las características guardadas de los diferentes peatones, cada peatón cuenta con cinco datos que son los siguientes datos dados en orden de aparición: posición en el eje  $X$ , posición en el eje  $Y$ , velocidad en el eje  $X$ , velocidad en el eje  $Y$  y grado de certeza de que la detección sea buena en tanto por ciento.

### 5.5.1.2. Descripción del fichero *ir.matlab.puntos.txt*.

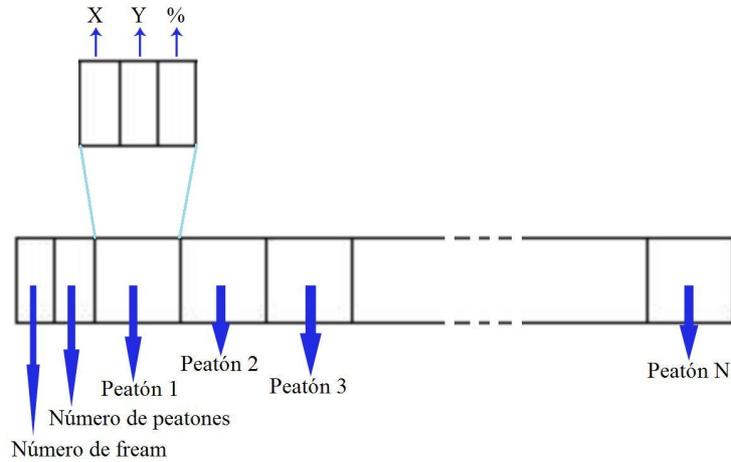


Figura 48: Descripción de cada fila del archivo *ir.matlab.puntos.txt*.

- El primer dato es la identificación del *frame*.
- El segundo dato es el número de peatones identificados en el *frame*.
- Los siguientes datos son las características guardadas de los diferentes peatones, cada peatón cuenta con tres datos que son los siguientes dados en orden de aparición: posición en el eje *X*, posición en el eje *Y* y grado de certeza de que la detección sea buena en tanto por ciento.

### 5.5.1.3. Estructura matricial inicial de los datos.

Se crean 8 matrices en las cuales se almacenan los datos que contienen los archivos anteriores, cada fila de la matriz representa un *frame* y cada columna corresponde a un peatón según el orden de aparición. Las matrices creadas son:

- *xlas*: Esta matriz almacena la posición *X* del peatón detectado por el láser.
- *ylas*: Esta matriz almacena la posición *Y* del peatón detectado por el láser.



- vxlas: Esta matriz almacena la velocidad en el eje  $X$  del peatón detectado por el láser.
- vylas: Esta matriz almacena la velocidad en el eje  $Y$  del peatón detectado por el láser.
- perlas: Esta matriz almacena la certeza de la detección del peatón en tanto por ciento, detectado por el láser.
- xir: Esta matriz almacena la posición  $X$  del peatón detectado por el infrarrojo.
- yir: Esta matriz almacena la posición  $Y$  del peatón detectado por el infrarrojo.
- perir: Esta matriz almacena la certeza de la detección del peatón en tanto por ciento, detectado por el infrarrojo.

#### 5.5.1.4. Estructura matricial final de los datos.

Una vez que se haya realizado la fusión sensorial, los datos obtenidos se almacenarán en una matriz cúbica llamada *PEDESTRIAN*, donde cada fila corresponderá a un *frame*, cada columna corresponderá a un peatón detectado, y la profundidad corresponderá a los diferentes parámetros obtenidos mediante la fusión sensorial, cuyo índice, denominación y descripción aparecen a continuación:

1. NPED: Es el número de identificación del peatón encontrado en la secuencia.
2. XL: Es la posición en el eje  $x$  del láser.
3. YL: Es la posición en el eje  $y$  del láser.
4. DIFFXL: Es la diferencia entre el punto teórico y el real en el eje  $x$  del láser.

5. DIFFYL: Es la diferencia entre el punto teórico y el real en el eje  $y$  del láser.
6. XI: Es la posición  $x$  del infrarrojo.
7. YI: Es la posición  $y$  del infrarrojo.
8. DIFFXI: Es la diferencia entre el punto teórico y el real en el eje  $x$  del infrarrojo.
9. DIFFYI: Es la diferencia entre el punto teórico y el real en el eje  $y$  del infrarrojo.
10. VX: Es la velocidad en el eje  $x$  del láser.
11. VY: Es la velocidad en el eje  $y$  del láser.
12. PERL: Es el porcentaje de seguridad de detección del láser.
13. PERI: Es el porcentaje de seguridad de detección del infrarrojo.
14. NFLI: Es el número del último *frame* donde fue detectado por el láser y el infrarrojo.
15. NFL: Es el número del último *frame* donde se ha detectado por el láser.
16. NFI: Es el número del último *frame* donde se ha detectado por el infrarrojo.
17. NDETEC: Es el contador de detecciones de ese peatón desde su aparición.

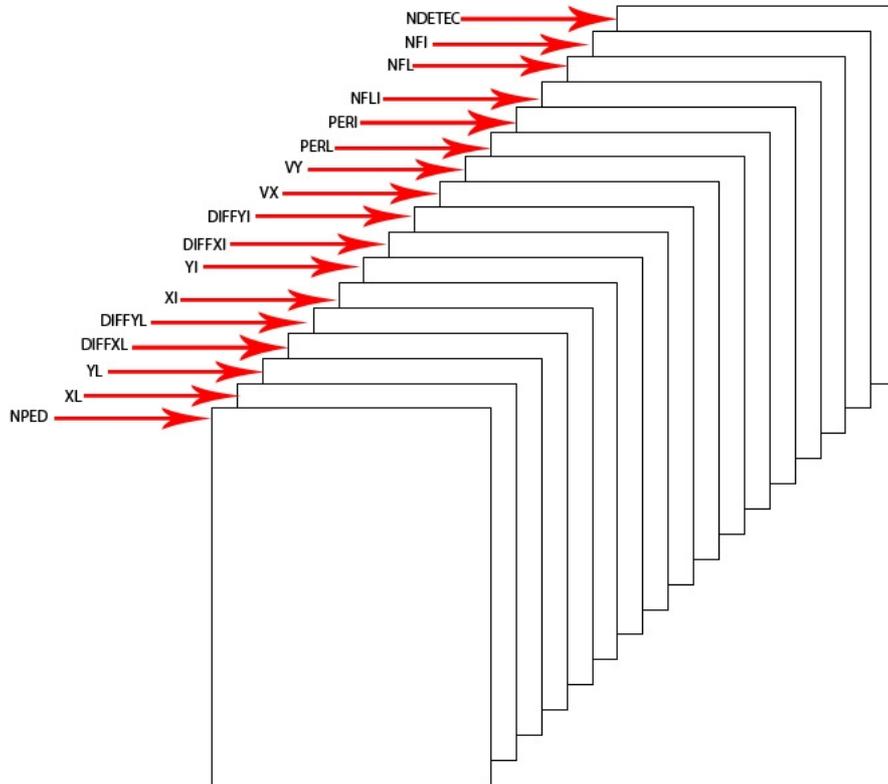


Figura 49: Esquema de la matriz de almacenamiento de los datos de los peatones encontrados.

## 5.5.2. Filtrado de los datos fuera de rango o defectuosos.

### 5.5.2.1. Datos fuera de rango.

Como el telémetro láser y la cámara infrarroja tienen diferentes rangos de captura como se puede observar en la Figura 34 se eliminan todos los datos que no están comprendidos en ambos rangos. El telémetro láser tiene un rango de  $100^\circ$  de barrido y una distancia de 80 metros, mientras que la cámara infrarroja tiene un rango de  $30^\circ$  de barrido y un rango de distancias de 5 a 30 metros por lo cual los datos del telémetro láser que están fuera de estos rangos son eliminados.

### 5.5.2.2. Datos defectuosos por doble detección.

Aunque la posición de los peatones se considera puntual, se establece una zona de exclusión de 50 centímetros alrededor del mismo, donde se considera que no puede localizarse otro peatón en el mismo *frame*. Por consiguiente, si se localiza otro peatón en la zona de exclusión se considera que se ha producido una doble detección del mismo peatón y se eliminan los datos de las otras detecciones.

### 5.5.3. Búsqueda de concordancia entre los datos del láser y la cámara que no han sido previamente emparejados.

En el primer *frame* de la secuencia se busca la asociación entre todos los peatones detectados con el láser e infrarrojo. En los sucesivos *frames* se busca la asociación entre los peatones que no han sido previamente asociados en el proceso de *tracking*.

Como el número de peatones detectados puede ser diferente según el sensor, actuamos de forma diferente:

- Igual número de peatones detectados por el láser y por el infrarrojo: Se inicia la búsqueda de concordancia.
- No hay ninguna detección de la cámara infrarroja: Almacenamos directamente los datos del láser en *PEDESTRIAN*, indicando que no tiene infrarrojo.
- Hay menos detecciones del infrarrojo que del láser: Actuamos normalmente almacenando los datos emparejados en *PEDESTRIAN* y cuando no haya más puntos del infrarrojo almacenamos el resto de los puntos del láser, indicando que no tiene infrarrojo.
- Hay más detecciones de infrarrojo: Actuamos normalmente almacenando los datos emparejados en *PEDESTRIAN* y cuando no haya más puntos del láser descartamos el resto de puntos del infrarrojo.

- No hay ninguna detección del telémetro láser: Descartamos todos los puntos del infrarrojo.

La concordancia entre la información que proporciona el láser y la cámara para cada uno de los *frames* se basa en la proximidad entre la posición de los peatones detectados por cada uno estos sensores. Para ello se usará la distancia entre las coordenadas de posición. El procedimiento seguido se muestra en el esquema de la Figura 50 y se realiza mediante los siguientes pasos:

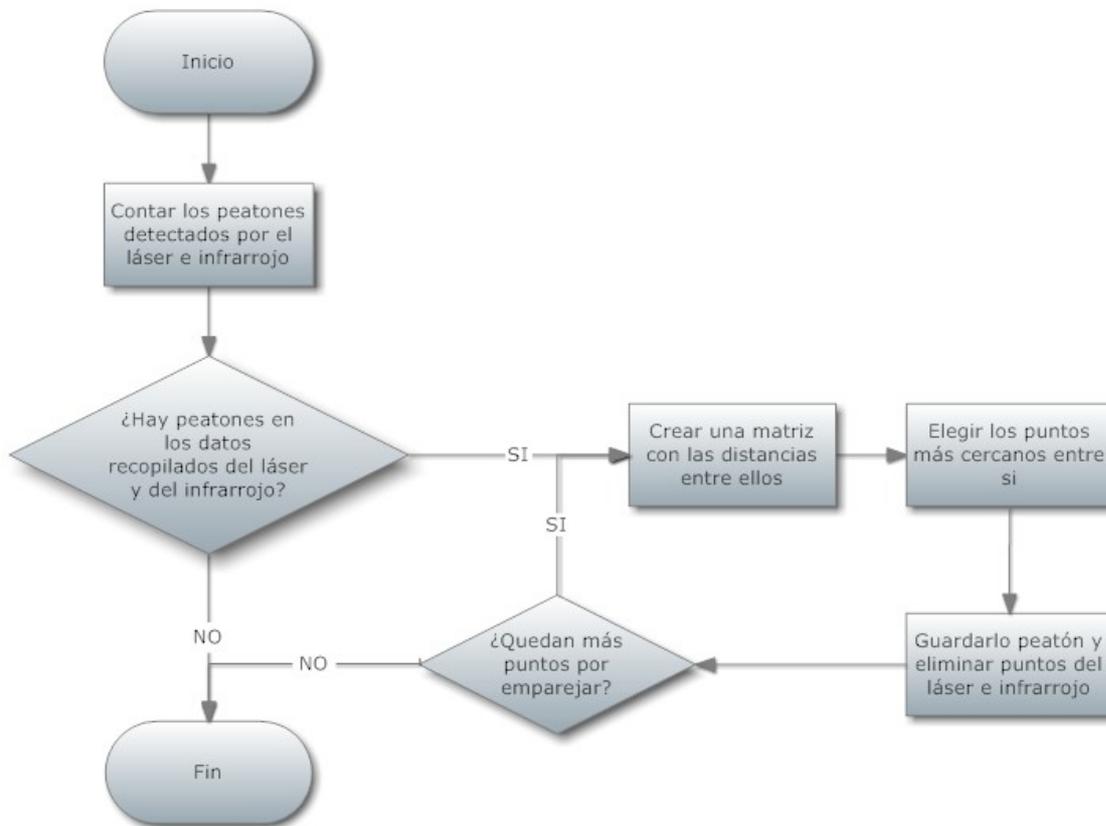


Figura 50: Esquema

### 5.5.3.1. Contar los peatones.

Se recorren los vectores del *frame* correspondiente de *xlas* y *xir* contando cuantos peatones ha detectado el telémetro láser y cuantos la cámara infrarroja.

### 5.5.3.2. Crear la matriz de distancias.

Con los datos recopilados en el apartado anterior se crea una matriz, que contiene las distancias de cada uno de los peatones detectados por el telémetro láser a cada uno de los peatones detectados por la cámara infrarroja.

### 5.5.3.3. Elección de puntos cercanos.

La problemática del emparejamiento de los peatones detectados entre los sensores es que hay muchos casos posibles y no es posible desarrollar un algoritmo de emparejamiento utilizando una simple asignación por mínima distancia. En la Figura 51 se muestran tres ejemplos simplificados. En a) este algoritmo funcionaría perfectamente asignando a peatón detectado por el láser su correspondiente peatón detectado por infrarrojo. Sin embargo en b) y c) la asignación sería incorrecta ya que se asignaría por orden de asignación b) 3x-1o, 2x-2o y 1x-3o y c) 1x-1o, 3x-2o y 2x-2o.

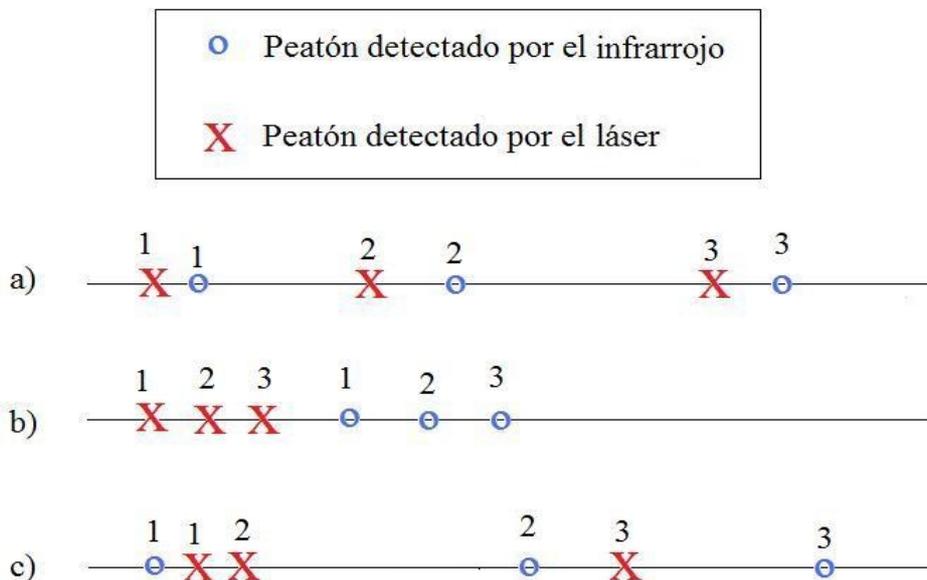


Figura 51: Posibles posiciones de los puntos en el eje x



Para solucionarlo se desarrolló un algoritmo más complejo que cubre la mayor parte de los casos que se puedan dar. El procedimiento de asignación es el siguiente:

1. Se selecciona el peatón con menor  $x_{las}$ .
2. Se comprueba que todas las  $x_{ir}$  son superiores a éste. En ese caso se le asigna el peatón del infrarrojo a menor distancia y se pasa al siguiente punto.
3. En el caso de que en el paso anterior exista algún  $x_{ir}$  menor. Se intenta seleccionando el peatón con mayor  $x_{las}$ . Se comprueba que no existe ningún  $x_{ir}$  mayor que este, si es cierto se le asigna el peatón detectado con infrarrojo más cercano y se pasa al siguiente punto.
4. Si no se ha cumplido ninguno de los pasos anteriores se realiza el mismo procedimiento pero empezando por los peatones detectados por infrarrojo.

#### **5.5.3.4. Almacenamiento de los datos.**

Una vez que se han relacionado los datos de la cámara infrarroja y del telémetro láser se procede al almacenado de estos en *PEDESTRIAN* en la posición que le corresponda, según orden de aparición.

A continuación se procede a la eliminación de estos datos de las matrices que contienen los datos del láser y del infrarrojo para evitar que reaparezcan y de la matriz de distancias eliminando la columna y fila correspondiente.

Empezando de nuevo en el caso de que hayan puntos sin asignar.

#### **5.5.4. Tracking de los peatones ya detectados.**

El *tracking* es la utilización de los *frames* anteriores para determinar donde estará el peatón anteriormente identificado en el *frame* actual. Para la consecución del *tracking* se necesita conocer la historia previa del peatón. Tipo de detección, sensores

que captaron por última vez al peatón: láser, infrarrojo o ambos y en el último *frame* donde se detectó al peatón.

Este procedimiento determinará en primer lugar si el peatón está en el actual *frame*, en caso afirmativo se le asignará su nueva posición y el tipo de detección que se ha producido.

Si el peatón no está desaparecido durante el último segundo seguido, 20 *frames* aproximadamente, no se volverá a buscar ese peatón en sucesivas búsquedas pues se considera que ya no está en el campo de visión.

Si una detección del actual *frame* corresponde a dos peatones del *frame* anterior quiere decir que ambos peatones son el mismo.

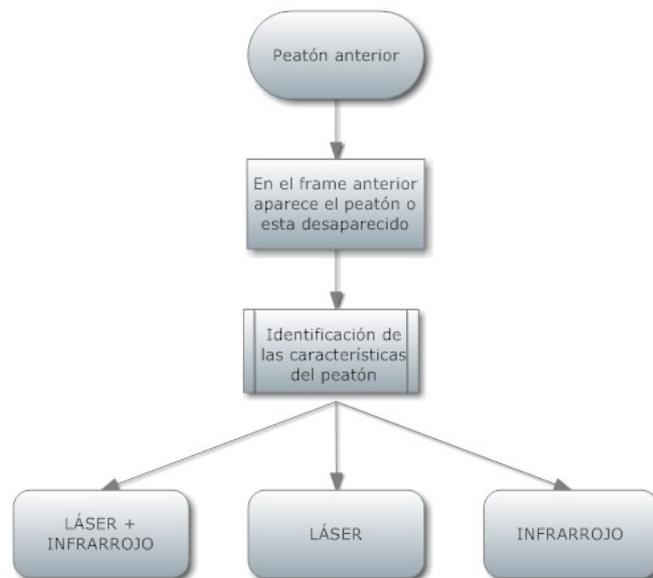


Figura 52: Algoritmo de clasificación del peatón y diferenciación

Según el tipo de detección en el *frame* anterior se realizan diferentes acciones (Figura 52), que se describen en los siguientes puntos.

### 5.5.4.1. El peatón tenía detección en el láser e infrarrojo.

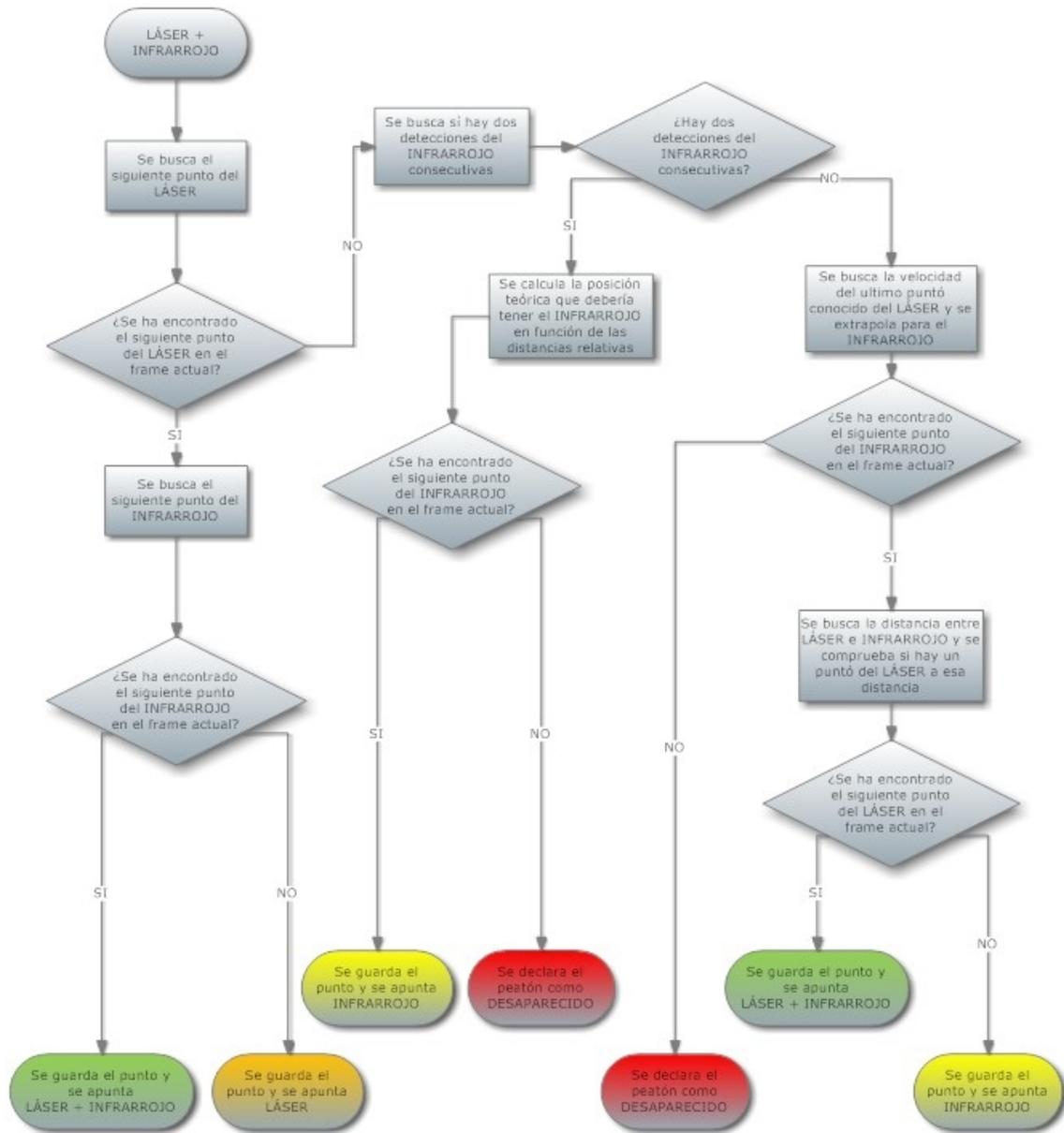


Figura 53: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay detección del láser y del infrarrojo

Para comprobar si se encuentra concordancia entre algún punto con el peatón hallado en el anterior *frame* se siguen los pasos descritos en la Figura 53. En el apartado 5.5.4.4. se explican detalladamente como se realizan algunos de estos pasos.

**5.5.4.2. El peatón tenía solamente detección en el láser.**

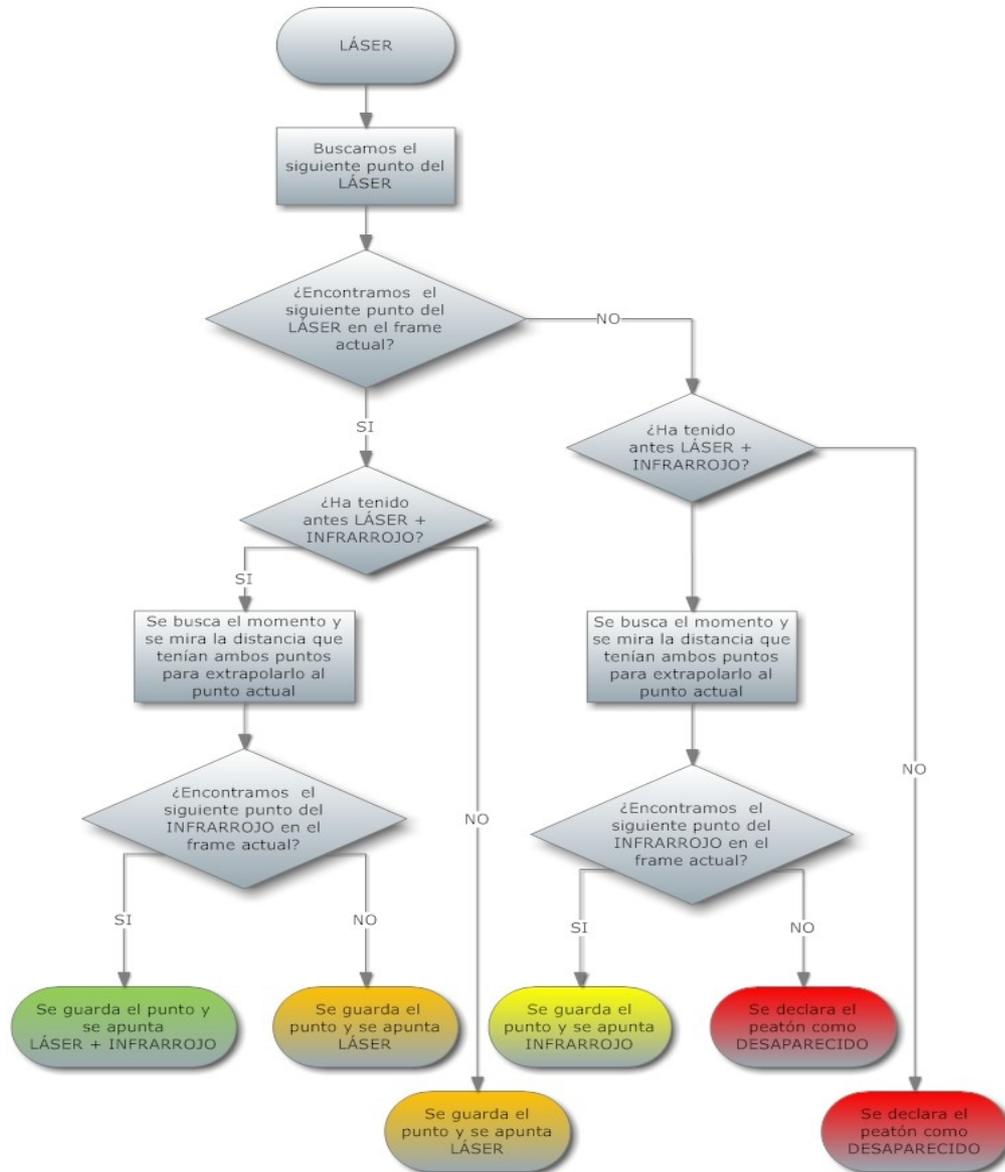


Figura 54: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del láser.

Para comprobar si se encuentra concordancia entre algún punto con el peatón hallado en el anterior *frame* se siguen los pasos descritos en la Figura 54. En el apartado 5.5.4.4. se explican detalladamente como se realizan algunos de estos pasos.

### 5.5.4.3. El peatón tenía solamente detección en el infrarrojo.

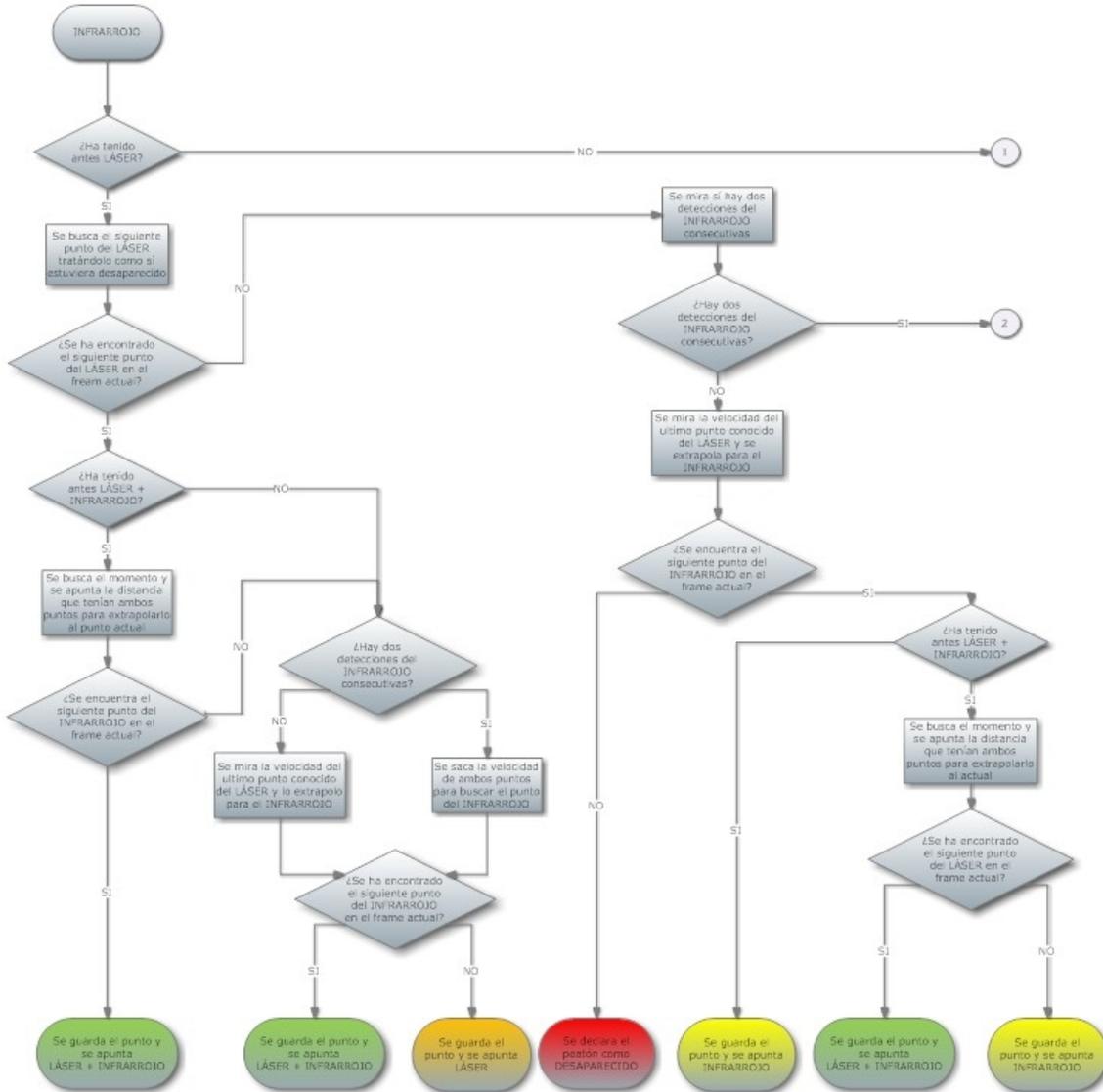


Figura 55: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del infrarrojo (1)

Para comprobar si se encuentra concordancia entre algún punto con el peatón hallado en el anterior *frame* se siguen los pasos descritos en las Figura 55 y Figura 56. En el apartado 5.5.4.4. se explican detalladamente como se realizan algunos de estos pasos.

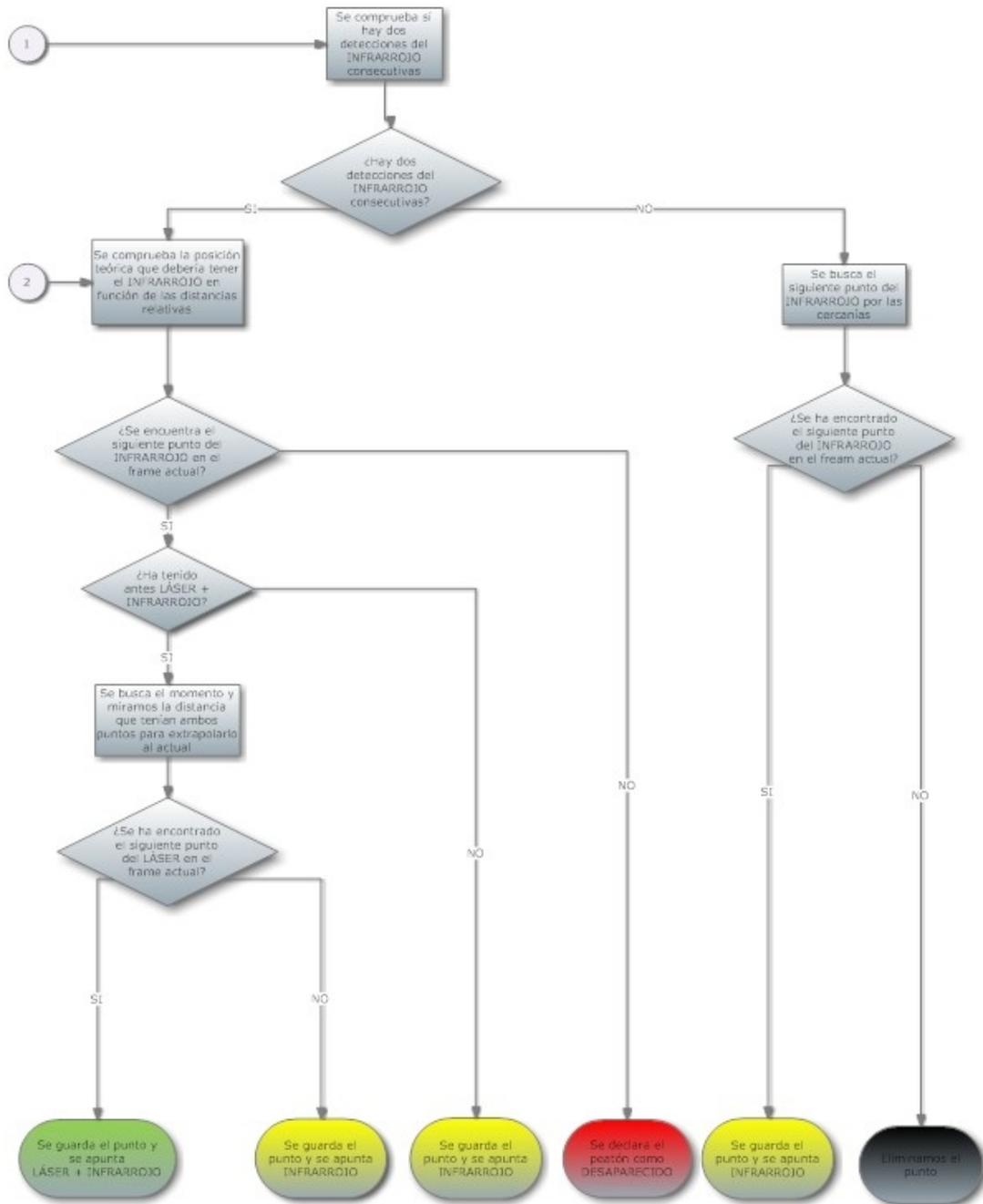


Figura 56: Esquema de decisión en el caso de que en el anterior frame hay sólo detección del infrarrojo (2)



#### 5.5.4.4. Descripción de las diferentes funciones.

Para cada una de las funciones descritas a continuación se ha creado su propio *archivo.m* independiente que facilita la escalabilidad del programa, y hace más sencillo su entendimiento.

*Identificación de las características del peatón en el anterior frame.*

Analizando algunos de los valores de *PEDESTRIAN* del *frame* anterior, concretamente *XL*, *XI*, *NFLI*, *NFL* y *NFI*, se puede determinar las características del peatón.

- Tipo (láser e infrarrojo, sólo láser o sólo infrarrojo): Esto se realiza mediante *NFLI*, *NFL* y *NFI*:
  - Si *NFLI* tiene el valor del último *frame* donde aparecía el peatón es del tipo láser e infrarrojo.
  - Si *NFL* tiene el valor del último *frame* donde aparecía el peatón y *NFLI* no, es del tipo láser.
  - Si *NFI* tiene el valor del último *frame* donde aparecía el peatón y *NFLI* no, es del tipo infrarrojo.
- Estado (desaparecido o presente en el anterior *frame*): esto se realiza con *XI* y *XL*, si alguno de los dos tiene un valor dentro del rango de actuación de los sensores se considera presente, pero si ambos no están en el rango se considera desaparecido.

El comportamiento de las siguientes funciones varía un poco dependiendo de las características del peatón y el momento de la búsqueda.

*Búsqueda del siguiente punto del láser.*

Teniendo en conocimiento los datos del láser de la última posición y velocidad del peatón a buscar y el tiempo entre *frames*, se hace una estimación de la posición del peatón en el momento actual, con un cierto margen de error en el punto de 20 centímetros alrededor del punto.

En el caso de que el peatón estuviera desaparecido en el anterior *frame*, y conocida su última posición, se realiza una media ponderada de las velocidades de las últimas 20 detecciones positivas si las hubiera o de las detecciones positivas disponibles, para evitar posibles datos erróneos. Posteriormente se calcula la posición actual teniendo en cuenta el número de *frames* en los que ha estado desaparecido. El margen de error permitido se aumenta en función del tiempo que ha estado desaparecido.

*Búsqueda del siguiente punto del infrarrojo.*

Como los datos recogidos por la cámara infrarroja no detallan la velocidad relativa del objeto, la detección del siguiente punto del infrarrojo se tiene que basar en la historia reciente del peatón. Por lo cual la forma de actuar en la búsqueda del siguiente punto del infrarrojo varía dependiendo de la historia de detecciones del peatón. Estas son las opciones, si no se cumple la primera se pasará a la siguiente:

- Hay dos detecciones consecutivas del infrarrojo, se puede determinar la velocidad y dirección que llevaba el peatón y extrapolarlo al momento actual. Todo punto que tenga un margen de error de 40 centímetros alrededor del punto teórico se da como bueno.
- Si hay o ha habido detección de láser e infrarrojo, se calcula la distancia existente entre ambos puntos y se extrapola para el momento actual. Si ya hay un punto del láser adjudicado se calcula la posición actual a partir de



éste, si no lo hay se estima la posición que tendría la detección del láser y se calcula la posición del infrarrojo a partir de ésta. Todo punto que tenga un margen de error de 40 centímetros alrededor del punto teórico se da como bueno.

#### *Búsqueda de dos detecciones del infrarrojo consecutivas.*

Se recorren los datos históricos del peatón comprobando si hay dos detecciones positivas del infrarrojo y se indica cuando ha sido, para su posterior extracción de las características de este punto, siempre se hace del momento más reciente al más antiguo.

#### *Almacenamiento de los datos del peatón.*

Dependiendo de las características detectadas se le asigna un valor diferente a cada dato:

- Detección del peatón por parte del láser y del infrarrojo. Se almacenan los datos proporcionados por estos dos sensores donde les corresponda y todos los datos creados por el programa para la identificación de las características del peatón y los datos de apoyo.
- Detección del peatón por parte del láser. Se guardan los datos proporcionados por el láser donde les corresponda y donde deberían estar los datos del infrarrojo se guarda un dato característico que indica que no se ha detectado infrarrojo y así poder identificarlo cuando se este analizando este peatón en el próximo *frame*, también se guardan todos los datos creados por el programa para la identificación de las características del peatón y los datos de apoyo.
- Detección del peatón por parte del infrarrojo. Se guardan los datos proporcionados por el infrarrojo donde les corresponda y donde deberían estar los datos del láser se guarda un dato característico que indica que no

se ha detectado infrarrojo y así poder identificarlo cuando se esté analizando este peatón en el próximo *frame*, también se guardan todos los datos creados por el programa para la identificación de las características del peatón y los datos de apoyo.

#### **5.5.5. Representación de los peatones detectados.**

Una vez finalizado el análisis de cada *frame* se procede a la representación de los peatones de una forma visual, para que un peatón sea representado se tienen que cumplir dos condiciones:

- Haber sido detectado más de un segundo, aproximadamente 20 *frames*.
- No estar en ese instante desaparecido.

Por cada peatón detectado se crea una ventana donde se va representando la trayectoria que sigue el peatón. En esta existen tres zonas diferenciadas, la zona de peligro que comprende 5 metros por delante y 1,5 metros a los lados del vehículo, la zona de precaución que comprende 10 metros por delante y 2 metros a los lados del vehículo y la zona de seguridad. En cada sección la trayectoria se pinta de diferente color para distinguirlas, rojo en la zona de peligro, amarillo en la zona de precaución y azul en la zona de seguridad. (Figura 57).

Cada segundo se representa la posición probable que tendrá el peatón dentro de un segundo, por medio de un círculo rojo, esta estimación se realiza mediante una media ponderada de la velocidad que ha tenido el peatón en el último segundo, dando más peso a los datos recientes que a los antiguos. Se aplicó una estimación mediante un filtro de *kalman* pero los resultados de la estimación eran muy parecidos a los obtenidos mediante la media de la velocidad y se optó por esta última por el menor costo computacional.

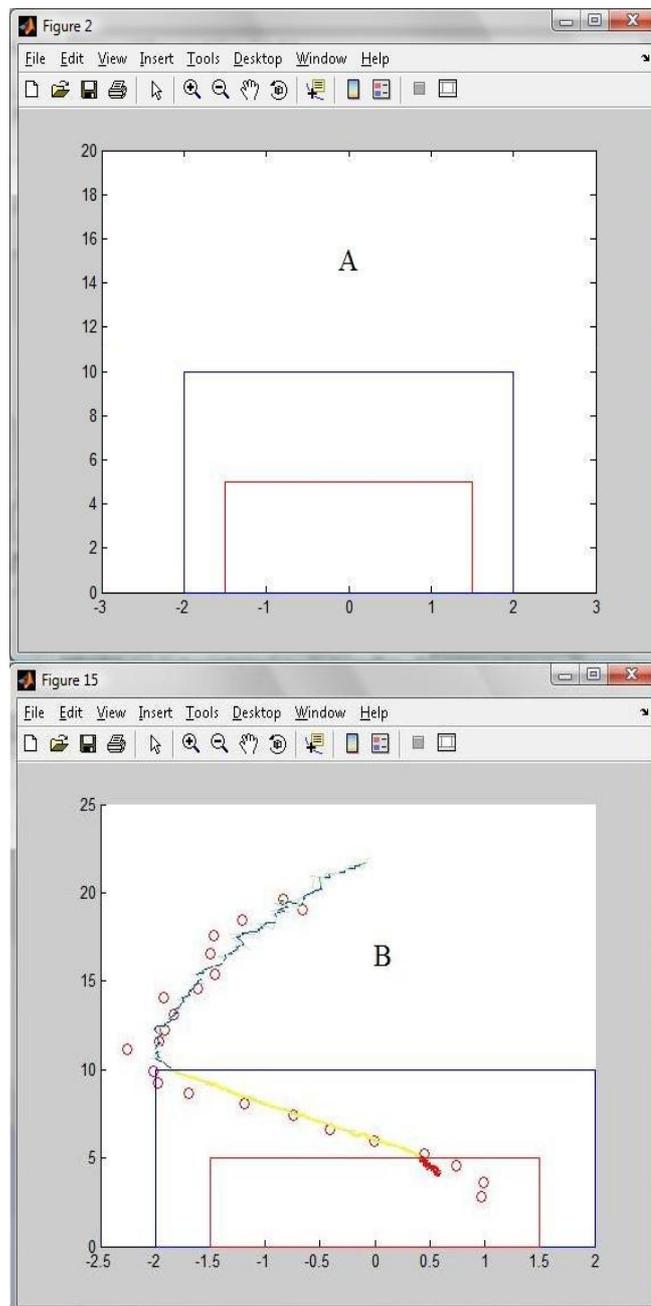


Figura 57: A) Zonas de seguimiento, B) Seguimiento de un peatón

Si en un momento se pierde su detección y después se le vuelve a localizar, se continua representando la trayectoria en esa ventana y el espacio existente entre ambos momentos se rellena con una línea de un color más apagado al que correspondería en esa zona.

### **5.5.6. Almacenamiento de los datos.**

Una vez finalizado el análisis de todos los datos proporcionados por el telémetro láser y la cámara infrarroja, se procede a guardar todos los datos recopilados sobre los diferentes peatones. Por una parte se guarda toda la matriz *PEDESTRIAN* y por otra se guarda cada peatón detectado individualmente.

#### **5.5.6.1. Almacenamiento de *PEDESTRIAN*.**

Como el almacenamiento de toda la matriz en un solo fichero sería muy engorroso a la hora de posteriores análisis se ha optado por crear un fichero por cada tipo de dato guardado.

#### **5.5.6.2. Almacenamiento de los datos de cada peatón.**

En este caso los datos guardados sólo corresponden a los de un peatón almacenándose en un archivo con su número de identificación.

La estructura básica es: cada fila representa un *frame* y hay tantas filas como en *frames* ha sido detectado. En cada fila están apuntados los datos, separados por tabuladores, que se han almacenado de cada peatón en el orden que tiene *PEDESTRIAN*.



## CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 6.1. Introducción.

Para probar la aplicación se realizaron una serie de pruebas con una captura de 7600 *frames* aproximadamente, un análisis visual de la escena nos da: 26 peatones y 7 bicicletas. Se consideran peatones o bicicletas cada uno de los que entran en el campo visual de la cámara infrarroja. Realizan movimientos diferentes en diversas situaciones, en las que se intentó probar la utilidad y fiabilidad de los algoritmos de detección y seguimiento.

### 6.2. Análisis de la secuencia.

El análisis detallado de la secuencia refleja los siguientes datos.

Se analizó mediante el algoritmo todos los *frames* de la secuencia, el número total de peatones detectados durante el análisis fue de 158. De estos, 70 peatones se consideraron repeticiones por tener posiciones en común con otros por lo que se fusionaron, por lo cual no se tienen en cuenta a la hora de el análisis de los resultados. Los 88 peatones restantes forman parte del seguimiento realizado a lo largo de la secuencia.

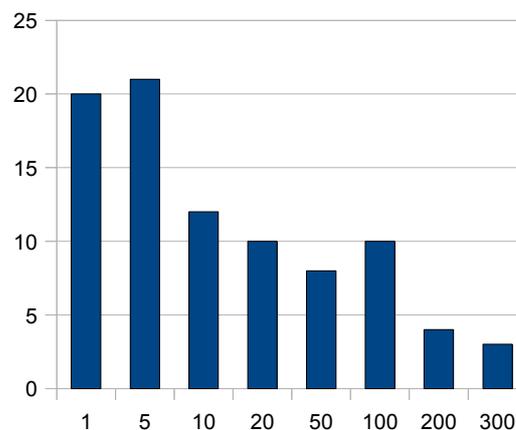


Figura 58: Frecuencia de las detecciones



El número de *frames* donde se han detectado los 88 peatones varia entre 1 y 281 *frames*. Los tiempo medio de detecciones es de 40,5 *frames*. En la Figura 70 se puede observar las frecuencia que tienen las detecciones.

Para probar la eficiencia del algoritmo ante diferentes comportamientos de los peatones se individualizaron algunas trayectorias, es decir se paso el algoritmo a partes concretas de la secuencia: un peatón acercándose, un peatón alejándose y un peatón moviéndose lateralmente, con los resultados reflejados en la Tabla 2. Se puede observar en los movimientos verticales del peatón que si esta centrado en la escena la detección es más extensa que si esta escorado ya que se salen antes de la zona de visión. También se puede observar que los movimientos perpendiculares a la cámara tienen menos detecciones, debido a que los movimientos son más pequeños que los verticales.

Tabla 2: Análisis de trayectorias simples.

Peatón acercándose a la cámara.	
Descripción del movimiento.	Numero de <i>frames</i> detectados.
Centrado en la escena (Figura 59).	253
Centrado en la escena (Figura 60).	196
Peatón alejándose a la cámara.	
Descripción del movimiento.	Numero de <i>frames</i> detectados.
Centrado en la escena (Figura 61).	234
Escorado a al izquierda (Figura 61).	41
Centrado en la escena (Figura 62).	117
Escorado a al izquierda (Figura 63).	79
Escorado a al izquierda (Figura 63).	75
Peatón caminando perpendicularmente a la cámara.	
Descripción del movimiento.	Numero de <i>frames</i> detectados.
Peatón moviéndose de derecha a izquierda (Figura 64).	87
Peatón moviéndose de izquierda a derecha (Figura 65).	64

Peatón moviéndose de derecha a izquierda (Figura 66).	33
Peatón montado en bicicleta moviéndose de izquierda a derecha (Figura 67).	42
Peatón montado en bicicleta moviéndose de derecha a izquierda (Figura 68).	34

Tabla 3: Medias de detecciones de trayectorias simples.

Tipo	Media de <i>frames</i> detectados.
Peatón acercándose a la cámara.	224,5
Peatón alejándose a la cámara.	109,2
Peatón caminando perpendicularmente a la cámara.	52

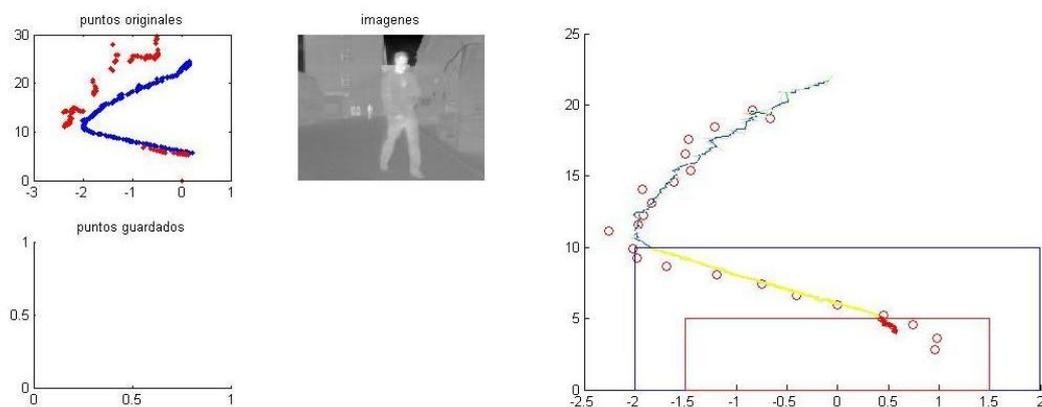


Figura 59: Peatón acercándose a la cámara.

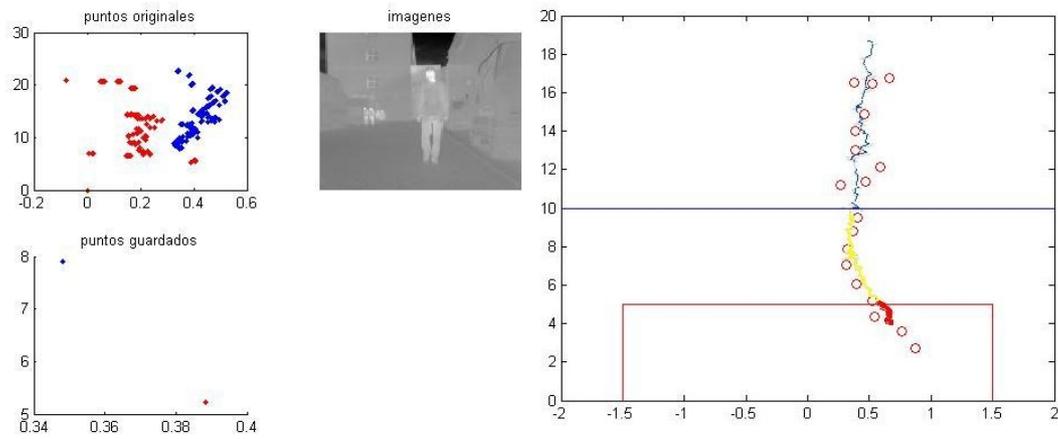


Figura 60: Peatón acercándose a la cámara.

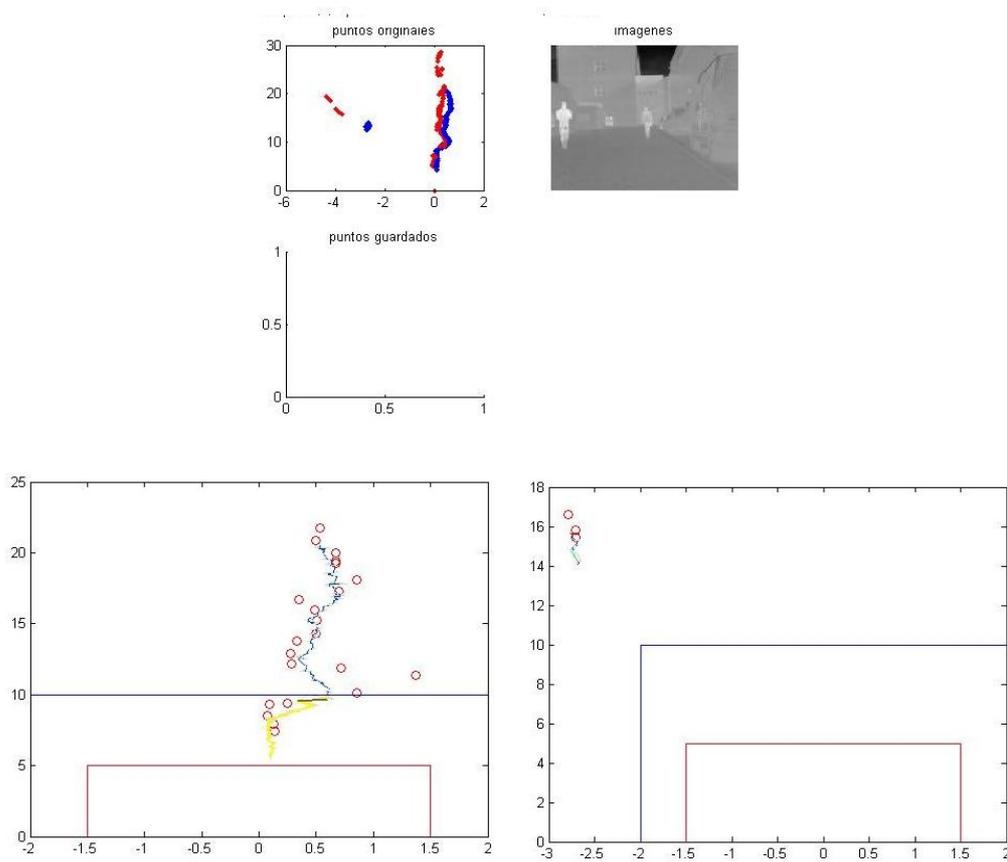


Figura 61: Peatones alejándose a la cámara.

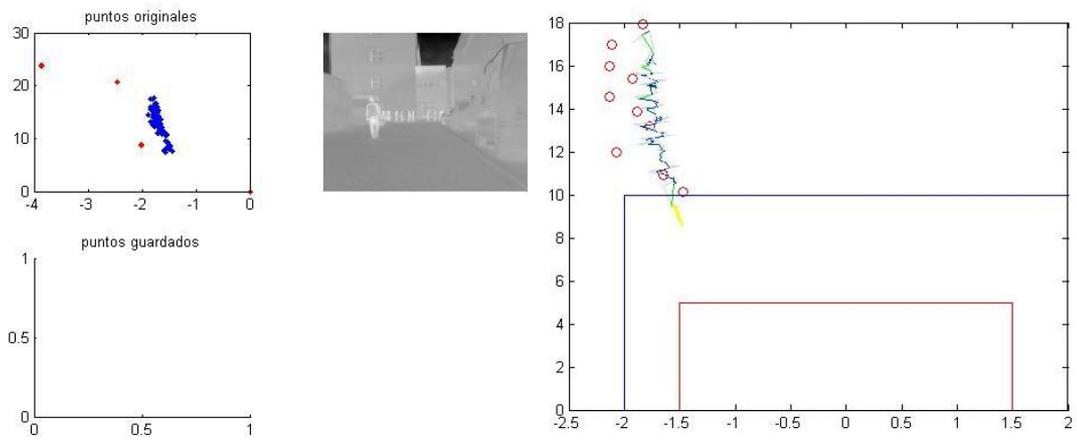


Figura 62: Peatón alejándose de la cámara.

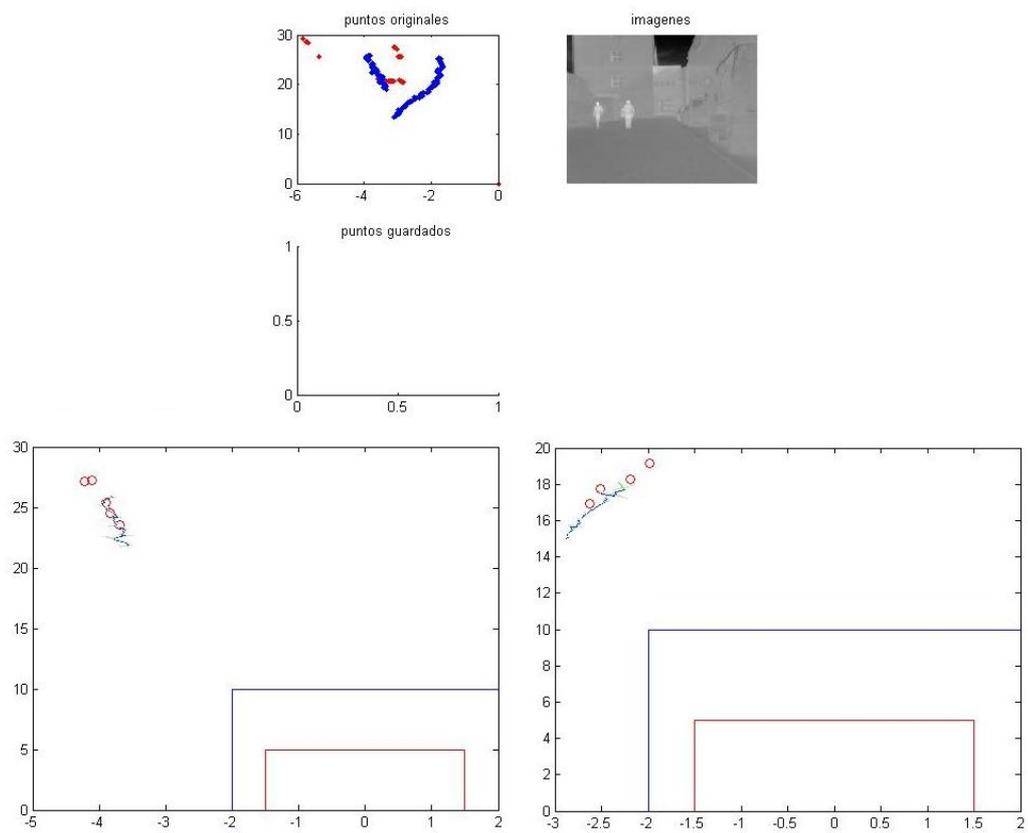


Figura 63: Peatones alejándose de la cámara.

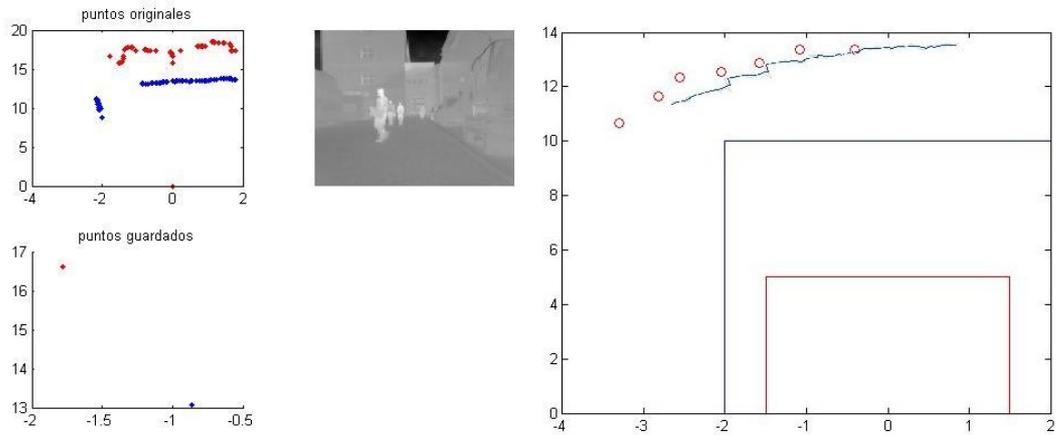


Figura 64: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.

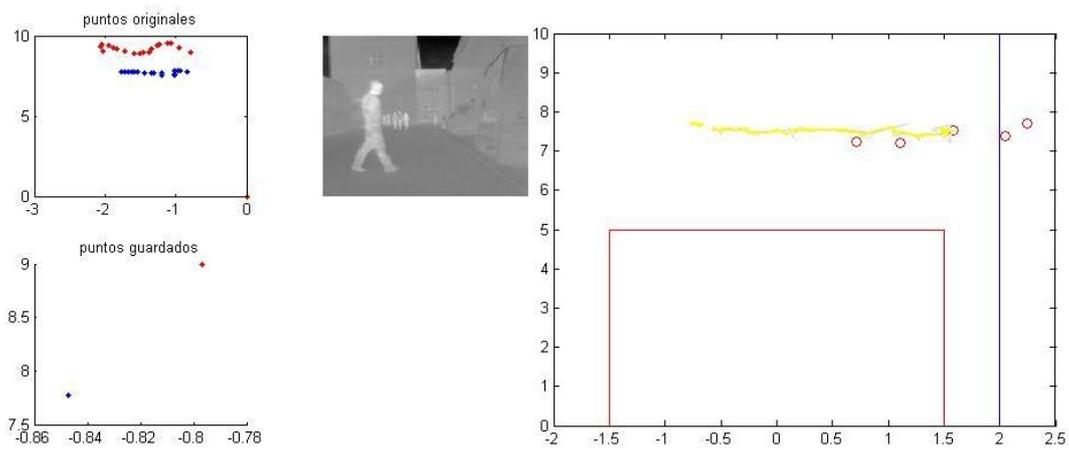


Figura 65: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de izquierda a derecha.

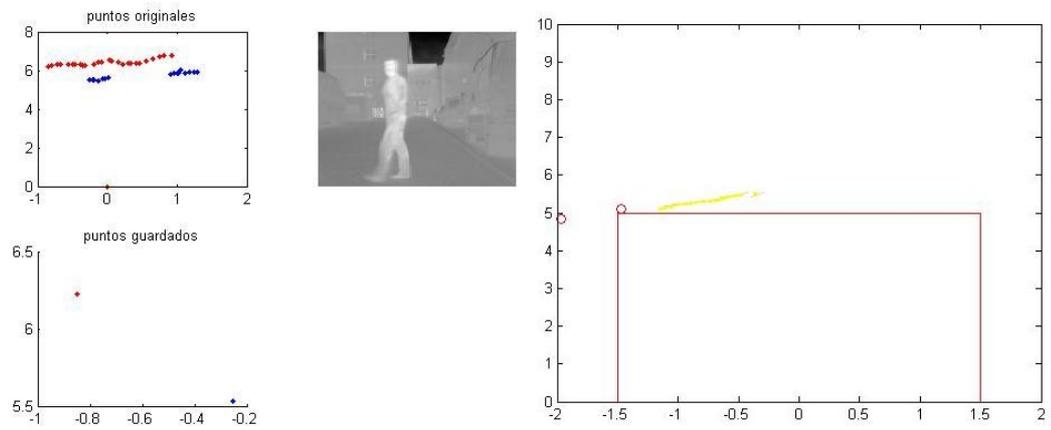


Figura 66: Peatón caminando perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.

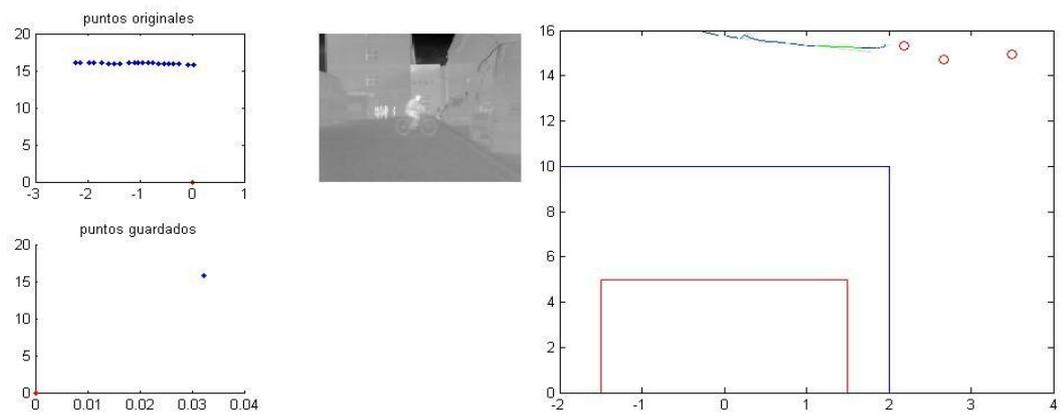


Figura 67: Bicicleta moviéndose perpendicularmente a la cámara de izquierda a derecha.

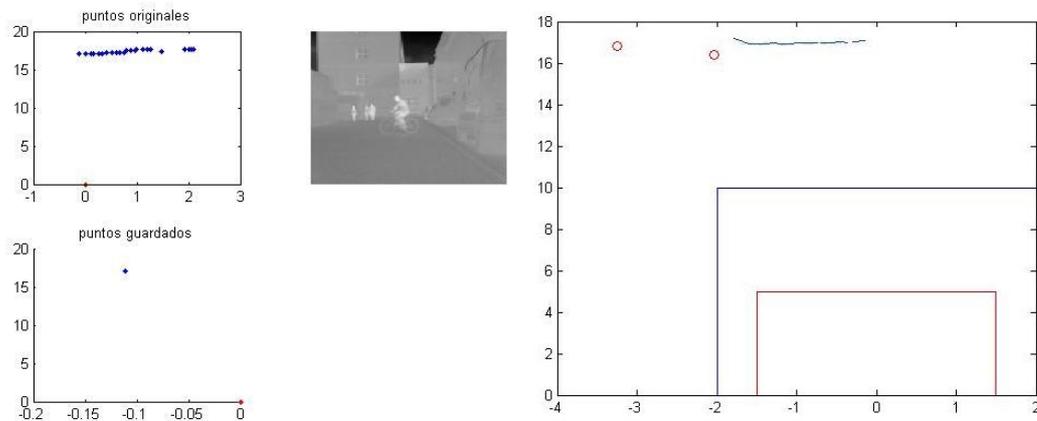


Figura 68: Bicicleta moviéndose perpendicularmente a la cámara de derecha a izquierda.

Tabla 4: Resultado del análisis de la secuencia

Peatones: 33

Peatones detectados:	26 (79%)
Peatones a pie:	20
Peatones en bicicleta:	6
Peatones no detectados:	7 (21%)

De los 7 peatones no detectados 3 iban en grupo, 3 estaban muy alejados y uno estaba montado en bicicleta.

En el caso del grupo la detección y seguimiento no es bueno pues a los sensores les cuesta mucho distinguir a los peatones individualmente. El láser no clasifica a los peatones como tales. El infrarrojo proporciona una nube de puntos que el algoritmo desarrollado no logra resolver (ver Figura 69).

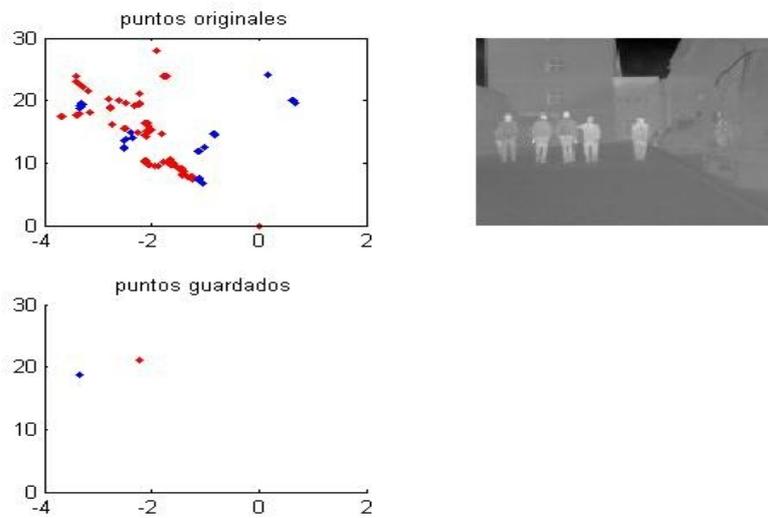


Figura 69: Grupo de tres peatones.

En el caso cuando están alejados el numero de detecciones tanto por el láser como por los infrarrojos no es suficiente para realizar un seguimiento (ver Figura 70).

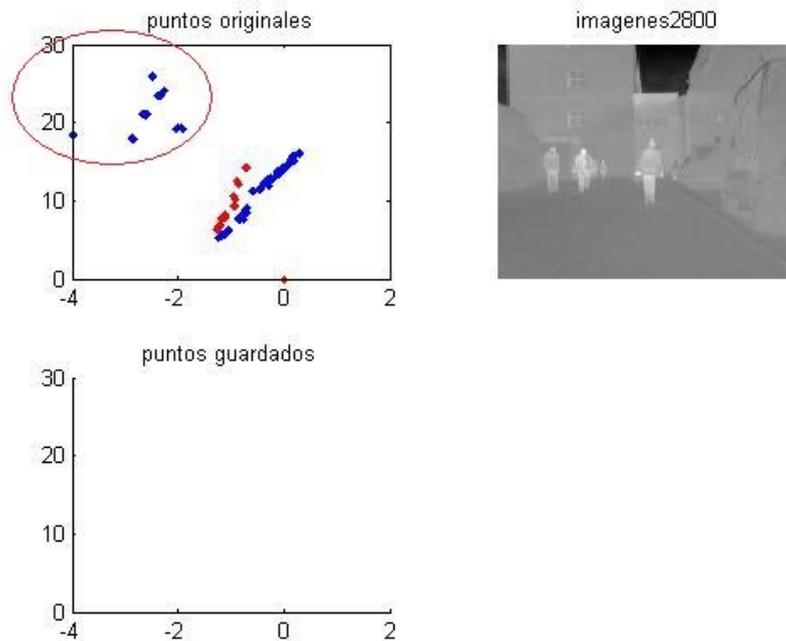


Figura 70: Peatones lejos



En relación a la velocidad de procesamiento del algoritmo de fusión se ha comprobado que es capaz de trabajar en tiempo real si no imprime los resultados por pantalla. Estas pruebas se han realizado en un ordenador con un procesador Intel Core 2 Duo a 2,26 Ghz.

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.**

### **7.1. Conclusiones.**

Se ha presentado y demostrado que es posible realizar un sistema de detección y seguimiento de peatones mediante la fusión de los datos recopilados por un telémetro láser y una cámara infrarroja.

El sistema puede hacer el seguimiento a múltiples peatones con cruces entre ellos siempre que no conformen un grupo.

Se ha comprobado que mediante la fusión sensorial se gana una gran efectividad a la hora de posicionar y seguir a los peatones.

Adicionalmente se ha comprobado que se puede hacer el seguimiento a peatones montados en bicicleta.

El algoritmo creado es capaz de suministrar respuestas en tiempo real.

### **7.2. Trabajos Futuros.**

Los posibles trabajos futuros serian:

Probar el sistema en entornos donde las condiciones climatológicas sean adversas y lo más extremas posibles, niebla, lluvia, nieve u otras situaciones que se pueden presentar en los entornos viarios como humo y polvo denso. En conclusión, circunstancias donde la visión sea mínima para comprobar en que casos puede ser fiable y ser de una gran ayuda al conductor.

Posibilidad de incorporar nuevos sensores a la fusión sensorial, para conseguir más información redundante. Como por ejemplo: implementar un sistema infrarrojo binocular para mejorar las medidas de profundidad y así podernos fiar mucho más de



los resultados obtenidos de este sensor a la hora de hacer el *tracking*.

Hacer que las zonas de seguimiento sean adaptativas a la velocidad del coche, implementar una alarma de peligro en las zonas de seguridad para avisar al conductor.

Mejorar y afinar el algoritmo de búsqueda de concordancia entre los datos del láser y la cámara que no han sido previamente emparejados.

Intentar mejorar el algoritmo para encontrar grupos de peatones, tanto a nivel bajo como a nivel de seguimiento.

## CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO.

### 8.1. Coste de material.

En este apartado se muestran todos los equipos y materiales necesarios para la construcción del sistema de fusión, así como su coste.

Tabla 5: Coste de material

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Total
Telómetro Láser	3.500 €	1	3.500 €
<i>Microsoft Visual Studio 2008</i>	260 €	1	260 €
<i>MATLAB</i>			
Portátil Fujitsu-siemens amilo	500 €	1	500 €
Cámara Indigo Flir Omega	7000 €	1	7000 €
Convertor serie-usb	60 €	1	60 €
TOTAL			11.320 €

### 8.2. Costes de personal.

En este apartado se muestra el coste del personal involucrado en el desarrollo del proyecto durante el tiempo de desarrollo del mismo.

Tabla 6: Costes de personal

Concepto	Coste unitario	Cantidad	Total
Ingeniero Industrial	3.000 €/mes	8	24.000 €
TOTAL			24.000 €



### 8.3. Presupuesto total.

Tabla 7: Presupuesto total

Concepto	Total
Coste de material	11.320 €
Costes de personal	24.000 €
<b>TOTAL</b>	<b>35.320 €</b>

## CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA.

1: Servicio de Estadística. Observatorio Nacional de Seguridad Vial, "Anuario estadístico de accidentes 2009", Ministerio del interior, DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO, 2009.

2: U. Hofmann, A. Rieder, and E.D. Dickmanns, "Radar and vision data fusion for hybrid adaptive cruise control on highways", in Proc. Int. Conf. Comput. Vis. Syst., Vancouver, BC Canada, 2001, pp. 125-138

3: A. Sole, O. Mano, G. Stain, H. Kumon, Y. Tamatsu, and A. Shashua, "Solid or not solid: Vision for radar target validation," in Proc. IEEE Intell. Vehicles Sym. Parma Italy, Jun 2004, pp. 819-824.

4: Ofer, A.S., Mano, O., Stein, G.P., Kumon, H., Tamatsu, Y., Shashua, A.: Solid or not solid: Vision for radar target validation. In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 819-824, 2004.

5: Fernández, I. "Clasificación de elementos de entornos viarios basada en radar láser" Proyecto Final de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Leganes 2009.

6: <http://www.volvoforlife.es>, nov 2010

7: <http://www.Bosch.com>, nov 2010

8: <http://www.siemens.com>, nov 2010

9: <http://www.prevent-ip.org>, nov 2010

10: Garcia, F.; Olmeda, D.; Armingol, J.M.; de la Escalera, A.; , "Hybrid fusion scheme for pedestrian detection based on laser scanner and far infrared camera," Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE , vol., no., pp.1134-1139, 21-24 June 2010



- 11: F.García, P. Cerri, A. Broggi, J. M. Armingol and A. de la Escalera, "Vehicle Detection Based on Laser Radar". Lecture Notes in Computer Science. Computer Aided System theory. Eurocast 2009.393-397.
- 12: Urazghildiiev, I., Ragnarsson, R., Ridderström, P., Rydberg, A., Öjefors, E. Wallin, K., Enochsson, P., Ericson, M., Löfqvist. G., "Vehicle Classification Based on the Radar Measurement of Height Profiles". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, No. 2, June 2007.
- 13: Alessandretti, G., Broggi, A., Cerri, P.: Vehicle and guard rail detection using radar and vision data fusion. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on 8(1), 95-105, March 2007.

